

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ARQUITETURA, URBANISMO E PAISAGISMO**

Débora Cristiele Kummer

**Proposta Metodológica de Análise Regional para Escolha de Locais com Maior
Potencial de Inserção de Parques Fotovoltaicos**

Santa Maria, RS

2021

Débora Cristiele Kummer

**PROPOSTA METODOLÓGICA DE ANÁLISE REGIONAL PARA ESCOLHA DE
LOCAIS COM MAIOR POTENCIAL DE INSERÇÃO DE
PARQUES FOTOVOLTAICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo**.

Orientadora: Prof^a. Dra. Ísis Portolan dos Santos

Santa Maria, RS
2021

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

KUMMER, DÉBORA CRISTIELE
PROPOSTA METODOLÓGICA DE ANÁLISE REGIONAL PARA ESCOLHA
DE LOCAIS COM MAIOR POTENCIAL DE INSERÇÃO DE PARQUES
FOTOVOLTAICOS / DÉBORA CRISTIELE KUMMER.- 2021.
175 p.; 30 cm

Orientador: Ísis Portolan dos Santos
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, RS, 2021

1. Energia Fotovoltaica 2. Desenvolvimento Regional
3. Sistema de Informação Geográfica (SIG) 4. Apoio
Multicritério de Decisão (AMD) I. Santos, Ísis Portolan
dos II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, DÉBORA CRISTIELE KUMMER, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Débora Cristiele Kummer

**PROPOSTA METODOLÓGICA DE ANÁLISE REGIONAL PARA ESCOLHA DE
LOCAIS COM MAIOR POTENCIAL DE INSERÇÃO DE
PARQUES FOTOVOLTAICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo**.

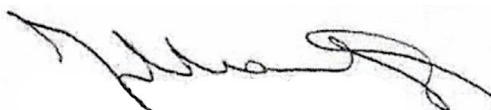
Aprovado em 26 de outubro de 2021:



Ísis Portolan dos Santos, Dra. (UFSM) – Videoconferência
(Presidente/Orientadora)



Ana Caroline Paim Benedetti, Dra. (UFSM) – Videoconferência



Jair Urbanetz Junior, Dr. (UFSM) – Videoconferência

Santa Maria, RS
2021

DEDICATÓRIA

A minha família e meu namorado Vanderlan. Dedico também à minha mãe Reili Maria Kummer e minha irmã Deise Cristina Kummer Nunes (in memoriam), que foram exemplos de luta, amor dedicado e humildade que, hoje, fortalecem e referenciam meu caminho.

AGRADECIMENTOS

Ao fim deste trabalho, sem dúvidas muitas recordações passam em minha mente pois, desde muito antes de dar início a esta pesquisa, muitas pessoas colaboraram com a minha formação enquanto ser e pesquisadora. Dessa forma, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram em minha jornada e, de uma maneira especial, agradeço:

- à Deus pela oportunidade de seguir no meio acadêmico e de me descobrir enquanto pesquisadora;
- à minha família pelo apoio incondicional ao longo de toda minha formação compreendendo, por vezes, minha ausência;
- ao meu namorado Vanderlan pelo suporte e incentivo, pela paciência, pela compreensão e por sempre acreditar no meu potencial;
- aos colegas que embora tenham compartilhado dos mesmos desafios, estiveram sempre dispostos a trocar ideias e ensinamentos;
- à minha orientadora pela paciência e confiança depositada em meu trabalho, demonstrando-me que pesquisa pode ser feita de forma pragmática e serena;
- a banca pelas contribuições as quais viabilizaram uma associação entre as áreas de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Elétrica e Engenharia Florestal;
- aos professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo (PPGAUP-UFSM) pelos ensinamentos e disponibilidade em auxiliar ao longo desse processo;

Por fim, à todos que fazem parte da minha vida, e torcem por meu crescimento pessoal e profissional, assim como por minhas conquistas.

Humilde é aquela pessoa que sabe que não sabe tudo, que sabe que outra pessoa sabe o que ela não sabe, que ela e outra pessoa saberão muitas coisas juntas, que ela e outra pessoa nunca saberão tudo que pode ser SABIDO.

(Mario Sergio Cortella)

RESUMO

PROPOSTA METODOLÓGICA DE ANÁLISE REGIONAL PARA ESCOLHA DE LOCAIS COM MAIOR POTENCIAL DE INSERÇÃO DE PARQUES FOTOVOLTAICOS

AUTORA: Débora Cristiele Kummer

ORIENTADORA: Ísis Portolan dos Santos

À medida que o incentivo global para a utilização de energias renováveis cresce, a energia solar fotovoltaica tem desempenhado um papel crucial nesse desenvolvimento. Nos últimos anos, os investimentos em parques solares aumentaram, principalmente, devido à redução do custo dos módulos fotovoltaicos. No entanto, a seleção do local apropriado para essas instalações é uma das principais preocupações, em especial, devido ao uso extensivo do solo, sendo essa uma questão crítica, que precisa ser previamente analisada para manter o princípio de sustentabilidade atribuído a energia solar. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo identificar áreas com maior potencial para instalação de parques fotovoltaicos (FV) montados sobre o solo na região abrangida pelo Conselho Regional de Desenvolvimento (COREDE) Central, localizado no estado do Rio Grande do Sul (RS) – Brasil. Esta pesquisa tem como embasamento o uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) em conjunto com técnicas de Apoio Multicritério a Decisão (AMD). Os métodos AMD utilizados foram o Processo Hierárquico Analítico (AHP) e a Técnica Difusa para Preferência de Ordem por Similaridade à Solução Ideal (TOPSIS), combinadas no método AHP-TOPSIS-2N. No SIG, dois tipos de critérios foram utilizados: (i) os critérios restritivos e; (ii) os critérios de ponderação. Os critérios restritivos são áreas não indicadas para a instalação de parques FV, neste estudo considerou-se: os centros urbanos e os povoados rurais, o sistema viário, a hidrografia, as áreas com declividade superior a 20%, as encostas orientadas ao sul, sudeste e sudoeste, as áreas de preservação permanente (APP) e as áreas úmidas e passíveis de inundação. Já os critérios de ponderação são áreas passíveis de instalação, contudo, entre essas áreas há as mais ou menos aptas para a inserção dos parques FV, os critérios de ponderação são: as áreas com declividade de até 20%, o índice de irradiação solar, a orientação solar das encostas, a concentração populacional e a proximidade ao sistema viário, aos centros urbanos e povoados, a subestação e as redes de transmissão de energia. Para a ponderação dos critérios utilizou-se o método AHP-TOPSIS-2N que avalia os critérios e as alternativas por meio de comparações pareadas, bem como do grau de proximidade com a solução ideal. Posteriormente, os pesos encontrados foram aplicados em um SIG que, por sua vez, é responsável pela análise que irá gerar o resultado espacializado das áreas mais aptas para a instalação do sistema FV. Assim, com base na análise do COREDE Central identificou-se que do total de 12.384,40 km² da região, 7.335,63 km² (59%) apresentam algum tipo de restrição para a instalação de parques FV. Dos 5.044,06 km² disponíveis 850,30 km² são altamente adequados, 1.503,09 km² mais adequados, 1.334,38 km² moderadamente adequados, 978,24 km² marginalmente adequados e 378,05 km² são considerados os locais menos adequados. Sendo assim, esta abordagem sistemática de apoio à tomada de decisão pretende auxiliar planejadores regionais e estaduais, bem como investidores na seleção apropriada de locais para a instalação de projetos de geração centralizada de energia solar fotovoltaica, de modo a direcionar os investimentos a locais mais assertivos.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica. Desenvolvimento Regional. Sistema de Informação Geográfica (SIG). Apoio Multicritério de Decisão (AMD).

ABSTRACT

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR REGIONAL ANALYSIS TO CHOOSE PLACES WITH GREATEST POTENTIAL FOR INSERTION OF PHOTOVOLTAIC PARKS

AUTHOR: Débora Cristiele Kummer

ADVISOR: Ísis Portolan dos Santos

As the global incentive to use renewable energy grows, solar photovoltaics have played a crucial role in this development. In recent years, investments in solar parks have increased, mainly due to the reduction in the cost of photovoltaic modules. However, the selection of the appropriate location for these installations is one of the main concerns, in particular, due to the extensive use of the land, this being a critical issue that needs to be previously analyzed to maintain the sustainability principle attributed to solar energy. Thus, this work aims to identify areas with greater potential for installation of photovoltaic parks (PV) mounted on the ground in the region covered by Conselho Regional de Desenvolvimento (COREDE) Central, located in the state of Rio Grande do Sul (RS) - Brazil. This research is based on the use of the Geographic Information System (GIS) together with Multicriteria Decision Support (MDS) techniques. The MDS methods used were the Analytical Hierarchical Process (AHP) and the Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution (TOPSIS), combined in the AHP-TOPSIS-2N method. In the GIS, two types of criteria were used: (i) the restrictive criteria and; (ii) the weighting criteria. The restrictive criteria are areas not suitable for the installation of PV parks, this study considered: urban centers and rural villages, the road system, hydrography, areas with a slope greater than 20%, slopes oriented to the south, southeast and southwest, the permanent preservation areas (APP) and the wetlands and susceptible to flooding. The weighting criteria are areas that can be installed, however, among these areas there are those more or less suitable for the insertion of PV parks, the weighting criteria are: areas with a slope of up to 20%, the solar irradiation index, the solar orientation of the slopes, the population concentration and the proximity to the road system, urban and populated centers, the substation and the energy transmission networks. To weight the criteria, the AHP-TOPSIS-2N method was used, which evaluates the criteria and alternatives through paired comparisons, as well as the degree of proximity to the ideal solution. Subsequently, the weights found were applied in a GIS which, in turn, is responsible for the analysis that will generate the spatialized result of the most suitable areas for the installation of the PV system. Thus, based on the analysis by COREDE Central, it was identified that out of the total of 12.384,40 km² in the region, 7.335,63 km² (59%) have some type of restriction for the installation of PV parks. Of the 5.044,06 km² available 850,30 km² are highly suitable, 1.503,09 km² most suitable, 1.334,38 km² moderately adequate, 978,24 km² marginally adequate and 378,05 km² are considered the least suitable locations. Therefore, this systematic approach to decision support is intended to assist regional and state planners, as well as investors in the appropriate selection of locations for the installation of centralized solar photovoltaic energy generation projects, in order to direct investments to more assertive locations.

Key-words: Photovoltaic Energy. Regional Development. Geographic Information System (GIS). Multicriteria Decision Support (MDS).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - Participação de fontes de baixo carbono e carvão na geração mundial de eletricidade, 1971-2021.....	24
Figura 2–Matriz elétrica brasileira	26
Figura 3 - Tecnologias fotovoltaicas.....	29
Figura 4 - Aplicações de sistemas fotovoltaicos. [A] Building-Applied Fotovoltaics (BAPV); [B] Building Integrated Fotovoltaics (BIPV); [C] Usinas tradicionais; [D] Land Integrated Fotovoltaics (LIPV).....	31
Figura 5 - Capacidade global solar fotovoltaica e adições anuais, 2010-2020.....	33
Figura 6 - Planta tradicional modificada, planta vertical e planta elevada, respectivamente.	35
Figura 7 - Irradiação solar no plano inclinado média anual no território brasileiro.....	36
Figura 8 - Potência instalada a nível estadual de energia solar FV de geração distribuída.....	41
Figura 9 - Potência instalada a nível estadual de energia solar FV de geração centralizada.....	43
Figura 10– Macrorregiões com base no processo histórico de desenvolvimento do RS	45
Figura 11 - Conselhos Regionais de Desenvolvimento (COREDES).....	46
Figura 12 - Regiões Funcionais de Planejamento sobrepostas aos COREDES	48
Figura 13 - Síntese das etapas do Planejamento Estratégico.....	49
Figura 14 - Representação gráfica da matriz FOFA regional	50
Figura 15 - Síntese de eixos temáticos e subgrupos de análise	51
Figura 16 - Atlas do potencial eólico do Rio Grande do Sul	54
Figura 17 - Potencial de utilização de termelétricas movidas a biomassa	55
Figura 18 - Irradiação solar total anual no plano inclinado no RS	56
Figura 19 - Tecnologias de Geoprocessamento.....	60
Figura 20 - Representação gráfica vetorial e matricial, respectivamente.	62
Figura 21 - Componentes do SIG.....	65
Figura 22 - Características da Pesquisa Operacional	67
Figura 23 – Estrutura hierárquica AHP.....	69

Figura 24 - Escala de Saaty (1980) com os pesos fundamentais para o julgamento comparativo.....	70
Figura 25 – Sequência para a aplicação do método AHP	71
Figura 26 - Sequência para a aplicação do método TOPSIS	72
Figura 27 - Metodologia aplicada na pesquisa	79
Figura 28 - Sistema energético centralizado nos COREDES do Rio Grande do Sul	81
Figura 29 - Sistema energético de geração distribuída nos COREDES do Rio Grande do Sul	87
Figura 30 - COREDE Central, ênfase municípios com predomínio de população Rural	88
Figura 31 - Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana (RQCII)	92
Figura 32 - Geração de energia elétrica centraliza no COREDE Central	94
Figura 33 - Potência instalada de geração distribuída solar FV no COREDE Central	95
Figura 34 - APP de acordo com o Código Florestal Brasileiro (2012)	102
Figura 35 - Tipos de Solo no COREDE Central	108
Figura 36 - Parâmetros Projeção Equivalente de Albers/SIRGAS2000	111
Figura 37 - Representação de uma APP de topo de morro	115
Figura 38 – Estrutura geral hierarquica dos critérios de ponderação	120
Figura 39 - Aplicação da ferramenta <i>weighted overlay</i> nos critérios de ponderação	122
Figura 40 - Centros urbanas e povoados rurais no COREDE Central	124
Figura 41 - Ferrovia no COREDE Central	125
Figura 42 - Rodovias no COREDE Central	126
Figura 43 - APP com declividade superior a 45°	127
Figura 44 - Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA) no COREDE Central..	128
Figura 45 - APP dos trechos de drenagem no COREDE Central.....	129
Figura 46 - Trechos de massas d' água no COREDE Central	130
Figura 47 - Ilhas e massas d' água.....	131
Figura 48 - Áreas úmidas no COREDE Central	132
Figura 49 - Áreas passíveis de inundação no COREDE Central.....	133
Figura 50 - Áreas com declividade superior a 20% no COREDE Central	134

Figura 51 - Encostas orientadas ao Sul, Sudeste e Sudoeste no COREDE Central	135
Figura 52 - COREDE Central com aplicação das camadas restritivas	136
Figura 53 - Análise dos critérios restritivos sobre o COREDE Central	138
Figura 54 - Índice de irradiação solar anual no plano inclinado no COREDE Central	139
Figura 55 - Orientação das encostas no COREDE Central.....	140
Figura 56 - Distância euclidiana do sistema viário no COREDE Central.....	141
Figura 57 - Análise da declividade do COREDE Central.....	142
Figura 58 - Distância euclidiana da subestação	143
Figura 59 - Concentração populacional nos municípios do COREDE Central	144
Figura 60 - Distância euclidiana dos centros urbanas e povoados	145
Figura 61 - Distância euclidiana das linhas de transmissão do COREDE Central ..	146
Figura 62 - Mapa ponderado sem a aplicação dos critérios restritivos.....	147
Figura 63 - Mapa ponderado com aplicação dos critérios restritivos.....	148
Figura 64 - Comparação entre a representação do COREDE Central em <i>shapefile</i> e <i>raster</i>	150

QUADROS

Quadro 1 - Crescimento histórico da potência adicionada anualmente no Brasil, em MW.....	38
Quadro 2 - Distribuição da potência instalada em GD fotovoltaica por classe de consumo.....	42
Quadro 3 – Consumo energético do Rio Grande do Sul	52
Quadro 4 - Matriz de comparação par a par.....	70
Quadro 5 - Fórmulas de Normalização	74
Quadro 6 - Critérios restritivos utilizados em estudos similares	76
Quadro 7 - Critérios de ponderação utilizados em estudos similares.....	77
Quadro 8 - Instalações de Geração Distribuída (GD) no Rio Grande do Sul	86
Quadro 9 - VAB setorial, PIB e PIB per capita por município do COREDE Central ..	90
Quadro 10 - Distribuições das classes de declividade em percentual.....	99
Quadro 11 - Simulação de um parque FV (1 MW) em Santa Maria-RS	101

Quadro 12 - Número de habitantes por município do COREDE Central.....	105
Quadro 13 - Ranqueamento dos critérios de ponderação.....	121
Quadro 14 - Exemplificação dos dados para a alternativa subestação.....	123
Quadro 15 - Critérios restritivos e suas respectivas áreas no COREDE Central	137
Quadro 16 - Somatório das áreas ponderadas no COREDE Central.....	149
Quadro 17 - Diferença entre o somatório dos critérios restritivos.....	149

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
AEEE	Anuário Estatístico de Energia Elétrica
AHP	Processo Hierárquico Analítico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ALOS	<i>Advanced Land Observing Satellite</i>
AVNIR -2	<i>Advanced Visible and NearInfrared Radiometer</i>
APP	Área de Preservação Permanente
BAPV	Sistemas Fotovoltaicos Aplicados à edificação
BEN	Balanco Energético Nacional
BERS	Balanco Energético do Rio Grande do Sul
BIPV	Sistemas Fotovoltaicos Integrados à edificação
COREDE	Conselho Regional de Desenvolvimento
CRESESB	Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio Brito
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FV	Fotovoltaico
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-hora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Agência Global Energy Review
LIPV	Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Terra
AMD	Apoio Multicritério de Decisão
MDE	Modelos Digitais de Elevação
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora
NBR	Norma Brasileira
PALSAR	<i>Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar</i>
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PF	Parque Fotovoltaico
PRISM	<i>Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping</i>
PO	Pesquisa Operacional
REN	Relatório de Status Global das Renováveis
RS	Rio Grande do Sul
SEMA	Secretária do Meio Ambiente e Infraestrutura
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGA	Sistema de Informações de Geração da ANEEL
SIRGAS	
SISGD	Sistema de Geração Distribuída
TOPSIS	Técnica para Ordem de Preferência por Similaridade com a Solução Ideal
TWh	Terawatt-hora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA.....	19
1.2	OBJETIVOS.....	22
1.2.1	Objetivo Geral	22
1.2.2	Objetivos Específicos.....	22
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1	CONTEXTO ENERGÉTICO INTERNACIONAL E BRASILEIRO	23
2.2	ENERGIA SOLAR	27
2.3	PARQUES FOTOVOLTAICOS (FV) LAND INTEGRATED PHOTOVOLTAICS (LIPV) / AGRIVOLTAIC.....	33
2.4	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	36
2.5	DESENVOLVIMENTO REGIONAL NO RIO GRANDE DO SUL	44
2.6	CONTEXTO E POTENCIAL ENERGÉTICO NO RIO GRANDE DO SUL	52
2.7	GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	57
2.8	PESQUISA OPERACIONAL (PO) E APOIO MULTICRITÉRIO DE DECISÃO (AMD)	66
2.8.1	Processo Hierárquico Analítico (AHP).....	69
2.8.2	Técnica para Ordem de Preferência por Similaridade com a Solução Ideal (TOPSIS)	71
2.8.3	Software AHP-TOPSIS-2N.....	73
2.9	TRABALHOS RELACIONADOS.....	75
3	METODOLOGIA.....	79
3.1	LEVANTAMENTO DOS EMPREENDIMENTOS DE ENERGIA CENTRALIZADA E DISTRIBUÍDA NOS COREDES DO RIO GRANDE DO SUL.....	80
3.1.1	Empreendimentos de Energia Centralizada no RS.....	80
3.1.2	Empreendimentos de Energia Distribuída no RS	85
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: COREDE CENTRAL	88
3.2.1	Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul ..	91
3.2.2	Sistema Energético do Corede Central.....	94

3.3	DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS UTILIZADOS.....	97
3.3.1	Identificação e Elaboração do Banco de Dados Espacial dos Critérios Restritivos	98
3.3.2	Identificação e Elaboração do Banco de Dados Espacial dos Critérios de Ponderação	103
3.4	ELABORAÇÃO DO MAPEAMENTO EM SIG.....	111
3.4.1	Elaboração do mapeamento em ambiente SIG das Camadas Restritivas	112
3.4.2	Elaboração do mapeamento em SIG das Camadas de Ponderação	118
4	RESULTADOS	124
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	151
	REFERÊNCIAS.....	156
	APÊNDICES	168
	ANEXOS	171

1 INTRODUÇÃO

A energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2014), e um dos principais meio para o desenvolvimento econômico global. Com base no estudo de Werlang (2018), o qual avaliou a correlação entre o consumo de energia elétrica e o PIB de 146 países, no período de 1990 a 2014, constatou-se que há um crescimento polinomial entre ambos, isto é, o consumo de energia elétrica per capita apresenta um crescimento mais acentuado em relação ao PIB per capita, quando este último apresenta valores mais baixos, característica observada, principalmente, em países em desenvolvimento.

No entanto, tal crescimento no consumo de energia elétrica vai desacelerando gradualmente conforme o PIB per capita vai aumentando, até estagnar ou até tornar-se negativo, comportamento característico de países com alto nível de desenvolvimento, onde a população apresenta crescimento nulo ou decrescente e a eficiência energética é mais alta (WERLAND, 2018). Observou-se, então, que não há uma correlação de crescimento linear entre o PIB e consumo de energia elétrica nos países, contudo, não pode-se negligenciar a relação causal entre ambos que é evidenciada desde a metade do século XIX, período o qual fontes energéticas como o petróleo e a eletricidade foram responsáveis pela grande evolução no desenvolvimento da humanidade (WERLAND, 2018).

Ainda hoje, a maior parte dos países tem seu desenvolvimento embasado em energia proveniente de combustíveis fósseis, conforme o relatório disponibilizado pela Global Energy Review (IEA, 2021), no final de 2020, essa fonte representava 71% da matriz elétrica mundial. No entanto, Hinrichs, Kleinbach e Reis (2014), destacam que em 1973 a energia renovável (com exceção da energia hidrelétrica) era quase desconhecida, e que desde então está em constante crescimento tanto nos países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

A matriz elétrica brasileira possui características específicas que a difere da maioria dos países e da matriz mundial, uma vez que, de acordo com o Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA, 2021), 83,25% é proveniente de fontes renováveis. Isso se dá, principalmente, pela fonte de origem hídrica que representa 62,00%, até o fim do primeiro semestre de 2021. Outras fontes que suprem a demanda do país são as termelétricas (25,45%), eólica (10,60%), fotovoltaica (1,94%) e, ainda

a nível de estudo, a energia proveniente das marés com uma potência associada de 50kW (SIGA, 2021).

Sobre a energia solar fotovoltaica, essa passou a ser inserida com maior destaque no país a partir de 2011, quando a empresa MPX Energia pertencente ao Grupo EBX, do empresário Eike Batista instalou o primeiro parque fotovoltaico (PF), com uma potência inicial de 1MW, no município de Tauá no estado do Ceará (ERENO; OLIVEIRA, 2011). Já no ano de 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa Nº 482, que estabeleceu as condições gerais para acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de energia elétrica, bem como o sistema de compensação de energia.

Desde então, o sistema teve grande adesão tanto pela população com o sistema de geração distribuída, ou seja, pequenas instalações particulares, quanto por empresas e investidores com o sistema de geração centralizada. Até julho de 2021 havia uma potência de 6,3 GW para as instalações particulares (SISGD, 2021) e 3,4 GW na geração centralizada (SIGA, 2021). Contudo, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE, 2019) prevê que, em 2029, a potência instalada de energia solar FV na forma de geração centralizada chegue a 10,6 GW, e dos 12,0 GW previstos na forma de geração distribuída, instalados no país, 85% do montante final seja advindo de módulos solares FV (PDE, 2019).

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (AEEE, 2021), a região Sudeste (Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo) é a que mais demandou energia no país com o consumo de 233.032 GWh, no ano de 2020. Este valor é seguido pela região Sul com um consumo de 87.906 GWh no mesmo ano. Com ênfase ao estado do Rio Grande do Sul, este consumiu 29.620 GWh sendo que os setores de maior consumo foram: o industrial com uma demanda de 9.399 GWh, seguido do residencial com 9.194 GWh, do comercial 4.450 GWh e do rural com um consumo de 4.289 GWh (AEEE, 2021).

Entretanto, esse consumo de energia elétrica não é homogêneo no estado, sendo que os locais de maior consumo, geralmente, estão associados aos municípios que apresentam maior desenvolvimento socioeconômico. Nesse sentido, com o objetivo de proporcionar um desenvolvimento mais igualitário no território gaúcho, ainda no ano de 1991, por meio de uma iniciativa do governo estadual começaram a se constituir os Conselhos Regionais de Desenvolvimento (COREDES). Conforme o Balanço Energético do Rio Grande do Sul (BERS, 2015), os municípios que possuem

uma demanda energética mais acentuada, são: Pelotas e Rio Grande no COREDE Sul; Caxias e Bento Gonçalves no COREDE Serra; Porto Alegre, Guaíba e Gravataí no COREDE Metropolitano Delta do Jacuí; Canoas, Novo Hamburgo, São Leopoldo e Sapucaia do Sul no COREDE Vale do Rio dos Sinos; Charqueadas no COREDE Centro-Sul; Lajeado no COREDE Vale do Taquari; Passo Fundo no COREDE Produção e Santa Maria no COREDE Central (BERS, 2015).

Assim, o recorte dado a presente pesquisa é no COREDE Central, busca-se identificar, neste local, as áreas com maior potencial para instalação de parques fotovoltaicos, considerando tanto aspectos energéticos quanto ambientais. Cabe destacar que, no Rio Grande do Sul, a energia solar FV de geração centralizada ainda é pouco explorada, visto que, até maio de 2021, contava com 11 instalações registradas no Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA, 2021), as quais somam uma potência de 4,31 MW e, desse total, nenhuma instalação estava localizada na área de abrangência do COREDE Central.

Dessa forma, busca-se realizar uma análise para a ampliação e diversificação do sistema elétrico do COREDE Central através do uso da fonte alternativa renovável solar fotovoltaica. Isso, de modo que, seja possível atender a demanda energética da região sem competir com outras questões que também são imprescindíveis para seu desenvolvimento como, por exemplo, as áreas de infraestrutura, recursos hídricos, Áreas de Preservação Permanente (APP), dentre outras.

1.1 JUSTIFICATIVA

O aumento acelerado da demanda de energia elétrica em todo o mundo, a necessidade de diminuir a dependência de combustíveis fósseis e a preferência por fontes de energia menos poluentes têm levado à busca de novas fontes de energia para geração de eletricidade (VILLALVA, 2015). Como uma das fontes alternativas tem-se a energia proveniente do sol, que pode ser utilizada para produzir eletricidade pelo efeito fotovoltaico, ou seja, pela conversão direta da luz solar em energia elétrica.

O território brasileiro recebe bons índices de irradiação solar apesar das suas diferenças climáticas, conforme Pereira e Martins (2018), as regiões Nordeste e Centro-Oeste possuem o maior recebimento de irradiação solar. A região Norte embora esteja próxima da linha do Equador tem sua média anual de irradiação solar

global comparável a região Sul, sendo que no período do verão a região sul apresenta índices maiores, e no período de inverno a região norte recebe a maior incidência.

Isso se deve à climatologia da região amazônica que apresenta nebulosidade e precipitação elevadas no verão, e na região Sul devido às incursões de frentes frias provenientes da região Antártica, no período do inverno. No entanto, ainda assim essas regiões possuem índices de irradiação solar maiores que outros países, principalmente os europeus, que empregam largamente o sistema solar fotovoltaico.

Os módulos fotovoltaicos podem ser usados de forma *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV) nos telhados, nas fachadas, como brises ou pérgolas, sendo esse um sistema que parte desde a concepção do projeto. Ou também, na forma *Building-Applied Photovoltaics* (BAPV), que é a aplicação de módulos sobre o telhado, por exemplo. Esse vem posteriormente com a necessidade de aplicação do sistema fotovoltaico, sendo uma espécie de *retrofit*, ou seja, uma adaptação energética na edificação já existente. Destaca-se que ambos os sistemas são modelos de geração distribuída de energia (RÜTHER, 2004).

Outro sistema de geração de energia fotovoltaica é por meio da construção de parques fotovoltaicos geradores de eletricidade, sendo esse um modo de geração de energia centralizada. Estudos como os Giostra (2013) e Scognamiglio (2015), trabalham com o conceito *Land Integrated Photovoltaics* (LIPV), que consiste em projetar os parques fotovoltaicos de forma integrada com o uso da terra.

Merrouni et al. (2018), destacam que antes da instalação de um parque fotovoltaico em uma dada região, deve-se conduzir um estudo de pré-viabilidade, em que deve ser levado em consideração tanto o potencial solar quanto as diferentes ocupações do solo. Além de ser bem irradiado, o local escolhido para a implantação de uma planta de energia solar, deve ser acessível e pouco íngreme. As questões ambientais também merecem atenção como a preservação de florestas nativas, as áreas protegidas, as áreas com potencial agrícola, os locais de interesse especial da paisagem, dentre outras.

Até o mês de julho de 2021, o Brasil contava com 4.283 parques fotovoltaicos em operação, muitos desses implantados por meio dos leilões favorecidos pela política energética nacional proporcionando, assim, um crescimento na potência instalada a qual soma, atualmente, mais de 3 GW (SIGA, 2021). No entanto, a principal preocupação ambiental com os parques fotovoltaicos é a área de terra necessária para sua implantação. Chiabrando; Fabrizio; Garnero, (2009), dizem que

devido à grande área de terra necessária para a instalação do sistema fotovoltaico (FV) se reduz a viabilidade da tecnologia. Porém, reconheceu-se por Chiabrando; Fabrizio; Garnero (2009) e Kaldellis et al. (2013), que a seleção cuidadosa da concepção e do local permitem que os impactos ambientais sejam mitigados.

Com isso, os parques fotovoltaicos podem ser um meio para ampliar a potência instalada e diversificar a matriz elétrica no território gaúcho e, conseqüentemente, no Brasil por meio de uma fonte renovável. Entende que um meio para analisar o Rio Grande do Sul no setor energético é fazendo uso das divisões regionais dos COREDES pois, assim, é possível identificar os condicionantes e limitações de cada região, em uma avaliação global das mesmas. Assim, esta pesquisa fará a análise do COREDE Central do estado do RS, aspirando identificar áreas com maior potencial para a instalação de parques fotovoltaicos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia de análise regional visando a identificação de áreas com maior potencial para inserção de parques fotovoltaicos no COREDE Central-RS a partir de sua relação com aspectos energéticos e ambientais.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a distribuição do sistema energético no estado do Rio Grande do Sul e do COREDE Central para verificar as condições de atendimento e demanda do mesmo;
- Identificar e classificar critérios que interferem na seleção de locais para instalação de parques fotovoltaicos para criar uma metodologia de análise regional;
- Verificar a partir de técnicas de Apoio Multicritério de Decisão (AMD), e da ponderação dos critérios em SIG, quais as áreas com maior potencial para instalação de parques FV no COREDE Central.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONTEXTO ENERGÉTICO INTERNACIONAL E BRASILEIRO

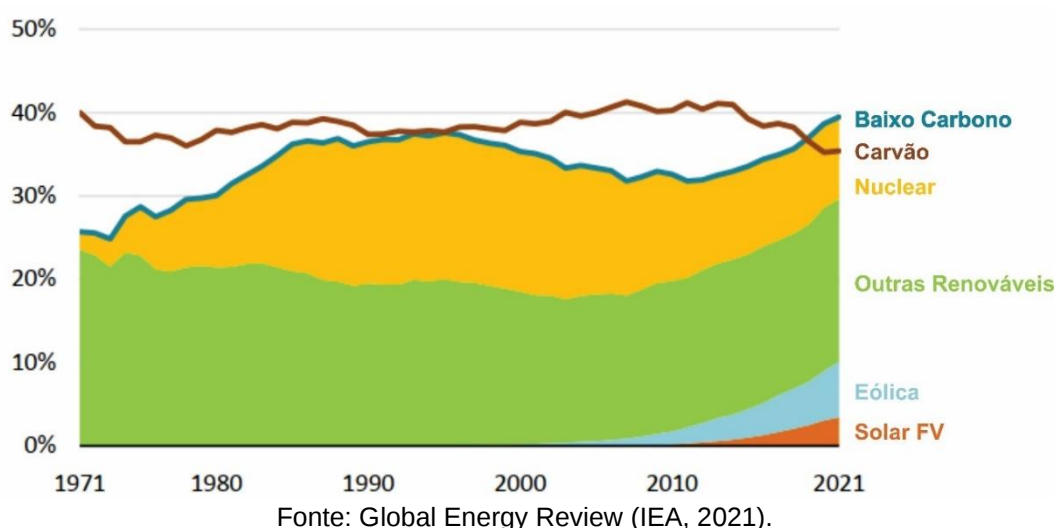
O consumo de energia está fortemente atrelado ao desenvolvimento econômico e social de um país (PES; MARTINS; PEREIRA, 2018). Com isso, entender a energia significa entender os recursos energéticos e suas limitações, bem como as consequências ambientais da sua utilização. Energia, meio ambiente e desenvolvimento econômico estão intimamente conectados (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2014). De acordo com Pes, Martins e Pereira (2018), países desenvolvidos consomem grande quantidade de energia não apenas para garantir a continuidade de suas atividades econômicas, mas também para oferecer acesso aos serviços sociais básicos como a saúde, educação e entretenimento, mantendo a qualidade de vida de sua população.

No entanto, esse consumo de energia tem sido apontado como uma das principais causas de problemas ambientais que ocorrem nas diversas regiões do planeta como, por exemplo, a poluição atmosférica e o aquecimento global (PES; MARTINS; PEREIRA, 2018). Isto decorre de que a maior parte dos países ainda tem seu desenvolvimento embasado em energia proveniente de combustíveis fósseis. Segundo o relatório disponibilizado pela Global Energy Review (IEA, 2020), cerca de 71% da energia elétrica global não é renovável. Somado a isso, no período de 2000 (6,1 bilhões) à 2021 (7,8 bilhões) houve um crescimento de 27,8% da população mundial (ONU, 2021). E apesar da pandemia do Covid-19 que, até o início do mês de outubro de 2021, resultou na morte de cerca de 4.820.630 pessoas (WORDOMETER, 2021), entende-se que esse cenário tende a não alterar de maneira significativa as estimas da ONU (2019), período anterior a pandemia, que prevê que a população mundial chegue a 8,6 bilhões no ano de 2030.

Em 2020, a procura global de eletricidade caiu cerca de 1% devido a pandemia do COVID-19, no entanto, espera-se que em 2021 essa demanda aumente cerca de 4,5%, apoiada pela recuperação da atividade econômica e pelo rápido crescimento nas principais economias emergentes, como a China. Além disso, o ano de 2020 foi marcado por um crescimento recorde nas energias renováveis liderado pela energia eólica (12%) e a solar fotovoltaica (23%), já as fontes de combustíveis fósseis tiveram uma redução de mais de 3% (IEA, 2020).

As emissões globais de CO₂, apontado como principal responsável pelo aumento da temperatura no planeta e por mudanças climáticas observadas em todo o globo terrestre, diminuíram 5,8% em 2020 (IEA, 2020). Destaca-se que essa redução superior a demanda de energia se dá devido à queda acentuada no consumo por petróleo e carvão, enquanto as energias renováveis aumentaram sua participação (Figura 1). Contudo, prevê-se um crescimento de 4,8% nas emissões para o ano de 2021 acompanhando a recuperação econômica e, conseqüente, demanda energética (IEA, 2020).

Figura 1 - Participação de fontes de baixo carbono e carvão na geração mundial de eletricidade, 1971-2021



Assim como os demais países, em 2020, o Brasil também apresentou uma redução na demanda de energia elétrica, se comparado ao ano de 2019, com um consumo de 475 TWh (-1,4%). Essa redução também se deve a Pandemia Covid-19, visto que, houve queda na demanda em cinco das oito classes de consumo, sendo elas: industrial com 166.335 GWh (-0,8%), comercial com 82.522 GWh (-10,4%), poder público¹ com 12.764 GWh (-19%), iluminação pública com 15.463 GWh (-2,4%) e no consumo do próprio sistema com 3.138 GWh (-3,7%) (AEEE, 2021).

Já as classes que obtiveram crescimento na demanda energética foram residencial com 148.173 GWh (3,8%), rural com 30.908 GWh (7,1%) e serviço público² com 16.345 GWh (2,4%) (AEEE, 2021). É perceptível o reflexo do isolamento social

¹ Corresponde a todos os poderes que competem ao Estado (Legislativo, Judiciário, Executivo) na sua atuação perante a sociedade em diferentes esferas (ALEXANDRINO; PAULO, 2011).

² Atividades essenciais e necessárias a sociedade, exemplo: saúde, educação, transporte e segurança pública. Pode ser exercido por particular, via concessão ou permissão (MARCONDES, 2021).

em que a população passou a estar mais tempo em casa, assim como, o crescimento na demanda pelos serviços públicos (destaque aos serviços de saúde), classe que se demonstra imprescindível no combate e controle da propagação do vírus.

O território brasileiro é privilegiado no que diz respeito a sua extensão e diversidade ambiental e, conseqüentemente, na possibilidade de explorar diferentes fontes energéticas. De acordo com o Relatório REN21 (2021), o Brasil se encontra na terceira posição em termos de capacidade acumulada de energia renovável com 150 GW, atrás apenas da China (908 GW) e dos Estados Unidos (313 GW). No entanto, isso ocorre devido a exploração da fonte de origem hídrica, uma vez que, a China (338,7 GW) e o Brasil (109 GW) são os dois países com a maior capacidade hídrica mundial instalada (REN21, 2021).

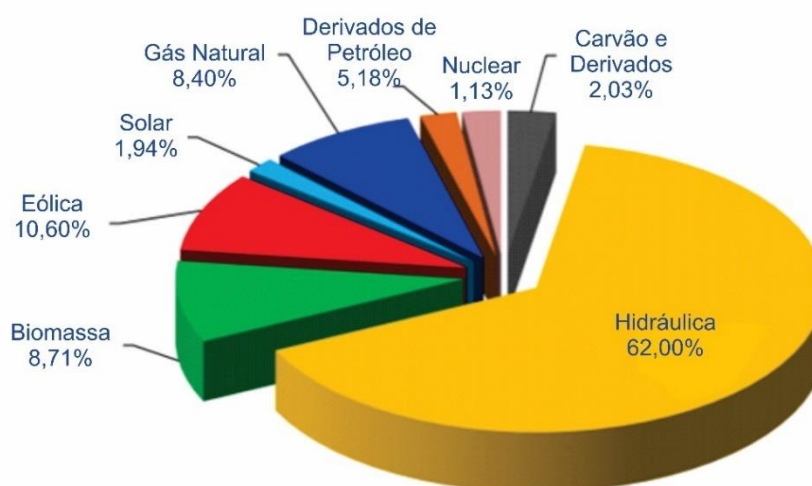
Assim, em 10 de julho de 2021, dos 83,25% da matriz renovável do Brasil 62,00% era de origem hídrica (SIGA, 2021). Porém, é necessário primar pela diversificação deste sistema, Moran et al. (2018), destacam que o sistema hídrico apresenta significativos impactos socioambientais como o desmatamento, perda da biodiversidade aquática e terrestre, liberação de gases do efeito estufa, deslocamento da população residente nas áreas inundadas, perda de área agricultável, etc. Outro fator é a vulnerabilidade do sistema hidrelétrico devido a dependência dos índices pluviométricos, comprometendo a segurança energética e a garantia de oferta de energia para a população (KONRAD et al., 2016).

Essa dependência do sistema foi o que ocasionou, entre junho de 2001 e fevereiro de 2002, conforme ANEEL (2008), a maior crise de abastecimento motivada pelas condições hidrológicas extremamente desfavoráveis no Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. Cenário o qual está sendo presenciado novamente no ano de 2021, sendo essa uma das maiores estiagens vivenciadas na região Sul e Sudeste dos últimos 91 anos (ALBUQUERQUE, 2021). Em julho de 2021, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) lançou uma nota técnica em que destaca a necessidade de tomar medidas preventivas para garantir o abastecimento energético nacional, pois na perspectiva atual, com relação ao atendimento aos requisitos de potência, observam-se sobras bastante reduzidas no mês de outubro, com o esgotamento de praticamente todos os recursos no mês de novembro (ONS, 2021).

Visando minimizar os impactos dessa estiagem, houve um aumento na utilização da energia proveniente das termelétricas, em julho de 2021, esse sistema representava 25,45% (44,89 GW) da matriz elétrica nacional, sendo que desses

16,74% eram de origem fóssil e 8,71% de biomassa. Com ênfase nas fontes de energia renovável, observa-se na Figura 2, a participação da energia eólica 18,69 GW (10,60%), da fotovoltaica 3,42 GW (1,94%) e, a nível de estudo, destaca-se a energia proveniente das marés (Undi-elétrica) com uma potência associada de 50kW (SIGA, 2021).

Figura 2–Matriz elétrica brasileira



Fonte: SIGA (2021).

Na última década, o consumo de energia elétrica cresceu 25,47% no Brasil (AEEE, 2011 e 2021), diante dessa crescente demanda salienta-se a importância de diminuir a dependência da fonte hídrica buscando não só garantir o abastecimento energético a população, mas um abastecimento por meio de fontes renováveis alternativas sem a necessidade do uso emergencial de termelétricas movidas a combustível fóssil e a tarifação das contas de energia elétrica. Contudo, apesar desse aumento no uso das termelétricas, cabe destacar que nos últimos anos houve um amplo incentivo governamental para a inserção de fontes renováveis. O Brasil foi responsável por 2,9% do total dos investimentos globais em capacidade de energia renovável em 2020, com um crescimento de 23%, marcando o sétimo ano consecutivo de crescimento (REN21, 2021).

Pereira e Martins (2018), destacam que esse movimento se deve tanto pela necessidade de diversificar as fontes de energia e reduzir a dependência hídrica, quanto para o atendimento a acordos internacionais como o Acordo de Paris sobre Mudança do Clima e a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. O primeiro é um acordo entre 195 países com a meta de reduzir a emissão de gases do efeito

estufa e assegurar que o aumento da temperatura média global não ultrapasse 2°C em relação aos níveis pré-industriais. Já o segundo é um plano de ação global que contém um conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas que visam um desenvolvimento equilibrado nas dimensões econômicas, sociais e ambientais até 2030. Esse acordo foi firmado, em setembro de 2015, entre representantes dos 193 Estados-membros da Organização das Nações Unidas (ONU), o qual incluí o Brasil.

Dentre os Objetivos Sustentáveis destaca-se o Objetivo 7 que se refere a Energia Acessível e Limpa que visa assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos (AGENDA 2030, 2015). Das 5 metas designadas ao Objetivo 7 salienta-se a 7.2 que tem como base “Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global”.

Conforme Villalva (2015), a exploração de qualquer fonte de energia provoca alterações no meio ambiente e produz impactos de maior ou menor intensidade. No entanto, à busca atual é por fontes de energia renováveis pois essas permitem a geração de energia a partir de fontes com alta taxa de renovação, com menor emissão de gases poluentes e também menor impacto ambiental na sua extração. Deste modo, a geração elétrica a partir de fontes renováveis permite a utilização de uma energia menos poluente para manutenção da demanda energética, diminuindo o impacto ambiental na sociedade (SANTOS, 2013).

2.2 ENERGIA SOLAR

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano (PINHO; GALDINO, 2014). Nesse sentido, os autores destacam que a energia solar pode ser dividida, de forma simplificada, em energia solar térmica e energia solar fotovoltaica. Conforme Pes, Martins e Pereira (2018), ambos são sistemas de conversão direta, ou seja, aquele em que o produto final resultante já está disponível para uso após a interação da energia solar com o sistema coletor.

Os sistemas solares térmicos são empregados para realizar aquecimento ou para produzir eletricidade a partir da energia térmica do sol (VILLALVA, 2015). Pinho

e Galdino (2014), salientam que nesse sistema o interesse é na quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo. A utilização dessa forma de energia implica não somente em saber captá-la, mas também em como armazená-la. Os equipamentos mais difundidos com o objetivo específico de se utilizar a energia solar térmica são conhecidos como coletores solares.

Já os sistemas fotovoltaicos têm a capacidade de captar diretamente a luz solar e converter em corrente elétrica (Efeito Fotovoltaico), ou seja, eletricidade. Essa corrente é coletada e processada por dispositivos controladores e conversores, podendo ser armazenada em baterias ou utilizada diretamente em sistemas conectados à rede elétrica (VILLALVA, 2015). O efeito fotovoltaico, primeiramente descoberto pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, em 1839, implica no aparecimento de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção de luz. Em 1876, foi concebido o primeiro aparato fotovoltaico advindo dos estudos da física do estado sólido e, apenas em 1956, iniciou-se a produção industrial, seguindo o crescimento da área de eletrônica (PINHO E GALDINO, 2014).

A tecnologia de geração energética a partir da conversão fotovoltaica é feita através dos módulos fotovoltaicos. Cada módulo apresenta um conjunto de células fotovoltaicas que, unidas, promovem a geração de energia elétrica. Ao unir vários módulos em um arranjo, o sistema compõe um painel, que pode ser instalado em uma edificação ou sobre o solo (RÜTHER, 2004). As principais tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos, conforme Pinho e Galdino (2014), são classificadas em três gerações:

A primeira geração é dividida em duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que representam mais de 85% do mercado, por ser considerada uma tecnologia consolidada e confiável, e por possuir a melhor eficiência comercialmente disponível. Hinrichs; Kleinbach; Reis (2014), destacam que o silício é abundante na Terra, o que indica não haver, provavelmente, uma limitação desse recurso.

A segunda geração, comercialmente denominada de filmes finos, é dividida em três cadeias produtivas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS), e telureto de cádmio (CdTe). Esta geração apresenta menor eficiência do que a primeira e tem uma modesta participação do

mercado, competindo com a tecnologia c-Si (denominação genérica das tecnologias de silício cristalino, m-Si e p-Si). Existem dificuldades associadas à disponibilidade dos materiais, vida útil, rendimento das células e, no caso do cádmio, sua toxicidade, que retardam a sua utilização em maior escala.

Já a terceira geração, ainda em fase de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), testes e produção em pequena escala, é dividida em três cadeias produtivas: (1) célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV – *Concentrated Photovoltaics*), (2) células sensibilizadas por corante (DSSC – *Dye-Sensitized Solar Cell*) e (3) células orgânicas ou poliméricas (OPV – *Organic Photovoltaics*). A tecnologia CPV, por exemplo, demonstrou ter um potencial para produção de módulos com altas eficiências, embora o seu custo ainda não seja competitivo com as tecnologias que, atualmente, dominam o mercado. A Figura 3 demonstra os principais materiais utilizados no mercado.



Fonte: PES; MARTINS; PEREIRA, (2018).

As células solares com base de silício monocristalino e policristalino dominam o mercado fotovoltaico, embora existam outras alternativas, como as células solares de filme fino com diversas variações de materiais. Já a eficiência das células solares é definida como a proporção da energia solar que chega à superfície do painel e é

convertida em energia elétrica. A eficiência máxima, atualmente, está em torno de 22% (PES; MARTINS; PEREIRA, 2018).

Segundo Rütther (2004), os módulos fotovoltaicos podem ser usados aplicadas sobre uma edificação já existente na forma *Building-Applied Photovoltaics* (BAPV), exemplificando, é a aplicação de módulos sobre a cobertura ou as fachadas. Essa forma vem, posteriormente, com a necessidade de aplicação do sistema fotovoltaico, sendo uma espécie de *retrofit* energético na edificação. E na forma de *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), sendo esse um sistema que parte desde a concepção do projeto e há a substituição de componentes convencionais de uma edificação pelo sistema fotovoltaico o qual opera com funções adicionais como, por exemplo, ao substituir o vidro tradicional das fachadas pelo sistema FV que proporciona tanto a proteção como vedação, a permeabilidade visual e a produção de energia fotovoltaica. Destaca-se que ambos os sistemas são de geração distribuída de energia (RÜTHER, 2004).

Outro sistema de geração de energia fotovoltaica é por meio da construção de parques geradores de eletricidade, sendo esses um modo de geração de energia centralizada. A utilização desse sistema tem apresentado um expressivo crescimento tanto pela maior viabilidade econômica, pois de acordo com o relatório publicado pela *Carbon Tracker*, os preços da geração solar de eletricidade caíram cerca de 89%, no período entre 2009 a 2019. Já a *Our World in Data* mostra que o preço da energia solar fotovoltaica (de painéis solares) passou de US\$ 359 por megawatt hora para US\$ 40 por MWh, nesse mesmo período. (EPOCA NEGOCIOS, 2020). Ainda, de acordo com o Relatório REN21 (2021), o preço dos módulos do final de 2019 ao final de 2020, caíram 8% de uma média de US\$ 0,36 por watt-pico (Wp) a US\$ 0,33 por Wp, quanto pela rapidez na instalação, visto que, segundo Hinrichs; Kleinbach; Reis (2014), o tempo de construção dos parques fotovoltaicos é em torno de um a dois anos.

No entanto, os parques FV tradicionais apresentam certas limitações, principalmente com a integração desse sistema com o uso da terra e com a paisagem, nesse sentido, estudos têm sido realizados para a instalações de parques FV na forma de *Land Integrated Photovoltaics* (LIPV). Dentre as preocupações que se colocam referente ao sistema de energia fotovoltaica de geração centralizada, salienta-se as grandes áreas de terra necessárias. Porém, para Kaldellis et al. (2013), os impactos ambientais causados pela energia solar são parcialmente dependentes da localização

do desenvolvimento do projeto, onde o design cuidadoso e a seleção de locais apropriados podem mitigar os impactos negativos associados a esse sistema. As diferentes formas de aplicação dos módulos FV, se encontram na Figura 4.

Figura 4 - Aplicações de sistemas fotovoltaicos. [A] Building-Applied Photovoltaics (BAPV); [B] Building Integrated Photovoltaics (BIPV); [C] Usinas tradicionais; [D] Land Integrated Photovoltaics (LIPV).



Fonte: [A] R  ther (2004); [B] Linden, J. (2013); [C] Unoeste (2019); [D] Scognamiglio (2015).

Al  m disso, no sistema de gera  o centralizada os m  dulos FV podem ser tanto fixos quanto m  veis, dessa forma, segundo Pes; Martins e Pereira (2018), a gera  o de eletricidade ser   maior quando o sistema FV estiver voltado para a dire  o do Sol, ou seja, a radia  o solar incidir perpendicularmente ao painel. Por essa raz  o os sistemas m  veis, com rastreamento da posi  o do Sol, geram maior quantidade de eletricidade ao longo do tempo. Entretanto, Villalva (2015), destaca que apesar de serem mais eficientes do ponto de vista de gera  o de energia, esse tipo de sistema tem um custo mais elevado e requer a manuten  o das partes mec  nicas m  veis e dos sistemas eletr  nicos de controle.

Para os sistemas FV fixos,    necess  rio identificar a geometria de instala  o mais eficiente para os objetivos do usu  rio. Se o objetivo    produzir a maior quantidade total de energia ao longo de todo o ano, a literatura t  cnica indica que o sistema FV deve ser orientado para o norte (quando no hemisf  rio sul) com inclina  o pr  xima ao valor da latitude do local de instala  o. Nessa configura  o, a gera  o

máxima de eletricidade será atingida no momento em que o Sol atingir o ponto mais alto no céu em cada dia do ano (meio-dia solar) (PES; MARTINS; PEREIRA, 2018).

Outro fator ligado a produção de energia é a radiação solar, sendo que essa pode ser radiação solar de forma direta ou difusa. A radiação direta representa uma fração da energia solar que consegue atravessar toda a atmosfera sem sofrer nenhuma interação de espalhamento. Por outro lado, a componente difusa engloba a radiação solar proveniente de todas as demais direções e é decorrente dos processos de espalhamento da radiação solar pelos gases e partículas presentes na atmosfera (PES; MARTINS; PEREIRA, 2018).

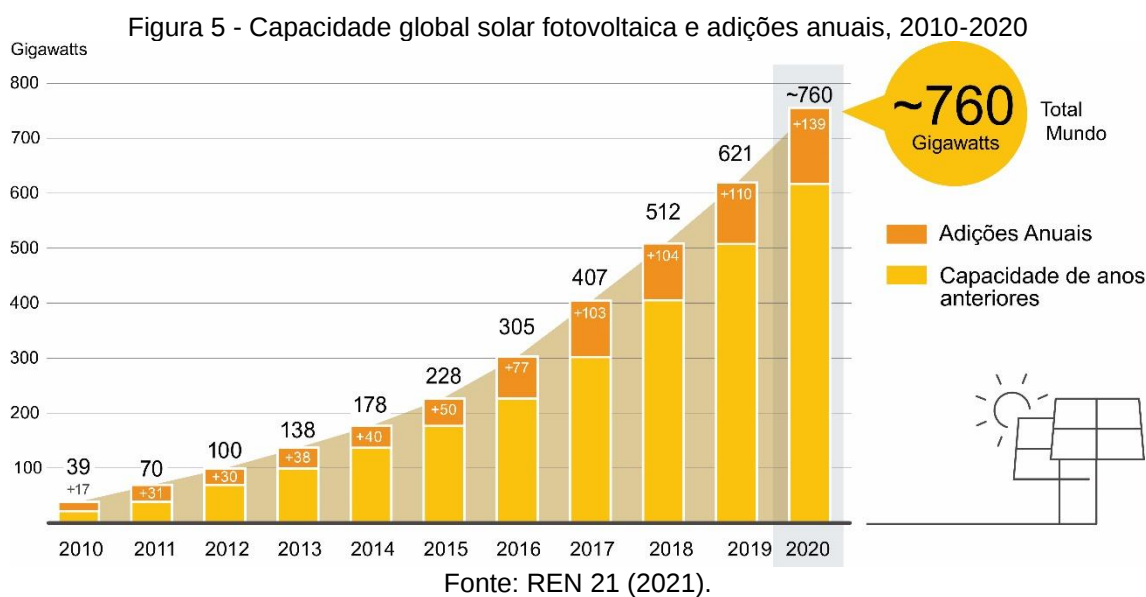
A radiação direta pode ser medida pelo equipamento pireliômetro e a chamada radiação global, que é a soma de radiação direta e da radiação difusa, pode ser medida pelo instrumento piranômetro. Sendo assim, mesmo em dias nublados há a produção de energia no sistema solar fotovoltaico por meio da radiação difusa, embora de forma significativamente reduzida quando comparado com a radiação global (PES; MARTINS; PEREIRA, 2018).

No ano de 2020, o mercado de energia solar fotovoltaica global aumentou mais de 22%, propiciando uma adição anual de 139 GW. Isso se deu, em especial, pelo aumento da potência instalada em 2020, se comparado ao ano de 2019, por países como a China (48,2 GW), Estados Unidos (19,2 GW), Vietnã (11,1 GW) Japão (8,2 GW) e Alemanha (4,9 GW) os quais foram responsáveis por quase 66% capacidade total instalada. Além da contribuição de mercados emergentes, incluindo o Brasil com uma adição de 3,1 GW em sua capacidade solar (REN21, 2021).

O expressivo aumento da potência instalada apresentado pela China se deu devido à conclusão de grandes projetos híbridos (combinação de energia solar FV - energia eólica – energia de armazenamento) como, por exemplo, o maior projeto solar e de armazenamento da China (2,2 GW de energia solar fotovoltaica mais quase 203 MW de armazenamento de bateria) foram conectados à rede, no final de 2020, no deserto da província de Qinghai (REN21, 2021). Na Figura 5 é possível observar o total global instalado de 760 GW, no fim de 2020, que inclui a capacidade dos sistemas isolados (*Off-Grid*) e conectados a rede (*On-Grid*), e comparar a um total de 39 GW instalados apenas 10 anos antes.

Conforme o Relatório REN21 (2021), em vários países, a energia solar fotovoltaica já desempenha um papel significativo na geração de eletricidade. Ao final de 2020, 42 países tinham uma capacidade cumulativa de 1GW ou mais, assim como

ao menos 15 países já possuíam capacidade suficiente em operação para atender a pelo menos 5% de sua demanda de eletricidade com a energia solar fotovoltaica. Além disso, países como Honduras (11,2%), Alemanha (10,5%), Grécia (10,4%), Austrália (9,9%), Chile (9,8%), Itália (9,4%) e Japão (8,5%) tem uma participação notória, anual, da energia solar FV em sua matriz elétrica.



Contudo, apesar do crescimento do setor a nível global ainda há desafios a serem enfrentados para que a energia solar fotovoltaica se torne uma importante fonte de eletricidade em todo o mundo, incluindo políticas e instabilidade regulatória em muitos países, necessidade de potencializar a infraestrutura das redes do sistema elétrico, e desafios financeiros que dificultam o acesso dessa tecnologia para a população (REN21, 2021).

2.3 PARQUES FOTOVOLTAICOS (FV) LAND INTEGRATED PHOTOVOLTAICS (LIPV) / AGRIVOLTAIC

Com ênfase na distribuição dos módulos na forma *Land Integrated Photovoltaics* (LIPV), o Relatório REN21 (2021), destaca os crescentes estudos que vêm sendo realizados na perspectiva de utilizar o mesmo local tanto para a produção energética quanto para produção de insumos do setor agropecuário. Observa-se, nesse sentido, a preocupação com o uso da terra, com os impactos e mudanças climáticas nas lavouras e na pecuária, bem como, com a melhor integração dos

sistemas solares fotovoltaicos com a paisagem. Além disso, a inserção dos módulos bifaciais no mercado tem impulsionado novas formas de implementação desse sistema visando o máximo aproveitamento de seu potencial na geração de energia (REN21, 2021).

A relação entre agropecuária e energia fotovoltaica tem sido denominada de Agrivoltaico (ou em inglês *Agrivoltaics*), essa combinação partiu dos estudos de Dupraz et al. (2011), sendo que o prefixo agro faz referência a produção de alimentos e voltaico tem relação com a produção de energia elétrica por meio do sistema FV. Vários países já aderiram a projetos fotovoltaicos agrícolas como, por exemplo, Japão, República da Coreia e Índia onde existe programas ativos para incentivar a implantação. Somado a isso, vários projetos-piloto estão em andamento em países como Europa, China, Israel e Estados Unidos (REN21, 2021).

Além desses, cabe destacar os estudos que vêm sendo realizados na Itália por meio da Agência Nacional para as Novas Tecnologias, Energia e Desenvolvimento Econômico Sustentável (ENEA), com o auxílio de um grupo multi-inter-disciplinar que envolve profissionais como arquitetos, engenheiros, agrônomos, cientistas da computação, entre outros. Isso com o objetivo de ampliar a potência instalada de energia solar FV na Itália dos atuais 20,9 GW (2021), para 52 GW até 2030 (ENEA, 2021).

De acordo com Terzini (2021), algumas soluções de integração entre energia FV e o sistema agropecuário já existem no mercado, como as (1) plantas tradicionais, contudo, com uma configuração espacial modificada, a fim de deixar espaço livre entre as fileiras e sob os módulos visando a plantação de culturas e/ou pastoreio, nessa configuração pode-se fazer uso de módulos bifaciais. (2) Outra forma de utilização dos módulos FV é montá-los na vertical em suportes laterais e organizados em uma linha contínua o que resulta em uma estrutura com uma altura média de 3 metros. Dessa forma, é possível deixar mais espaço livre entre as fileiras para atividades agropecuárias específicas, neste caso também são utilizados módulos bifaciais.

E uma terceira opção (3), que tem se mostrado a mais interessante é a utilização de módulos FV elevados, dessa forma, os módulos são montados em estruturas elevadas a certa altura (em torno de 4 a 5 metros de altura), a estrutura deixa o solo livre para o cultivo de espécies variadas e a operação de máquinas agrícolas. Esse sistema pode ser fornecido com rastreamento solar em um ou dois eixos e utilizar módulos bifaciais, possibilitando assim, um controle dinâmico das

sombras e do crescimento das culturas, assim como, uma maior produção energética. Na Figura 6 pode-se analisar os módulos FV de acordo com cada tipo de planta FV.

Figura 6 - Planta tradicional modificada, planta vertical e planta elevada, respectivamente.



Fonte: Terzini (2021).

Embora, o custo dos sistemas na forma *LIPV* tendem a ser mais elevados quando comparados aos sistemas tradicionais montados sobre o solo, vários estudos destacam as vantagens, incluindo melhor rendimento nas safras, menor evaporação da água do solo, possibilidade de coleta de água da chuva (com os módulos), fornecimento de sombra para o gado ou plantações, proteção contra eventos climáticos extremos, prevenção da erosão além de uma renda adicional para os fazendeiros que aderem ao sistema (REN21, 2021).

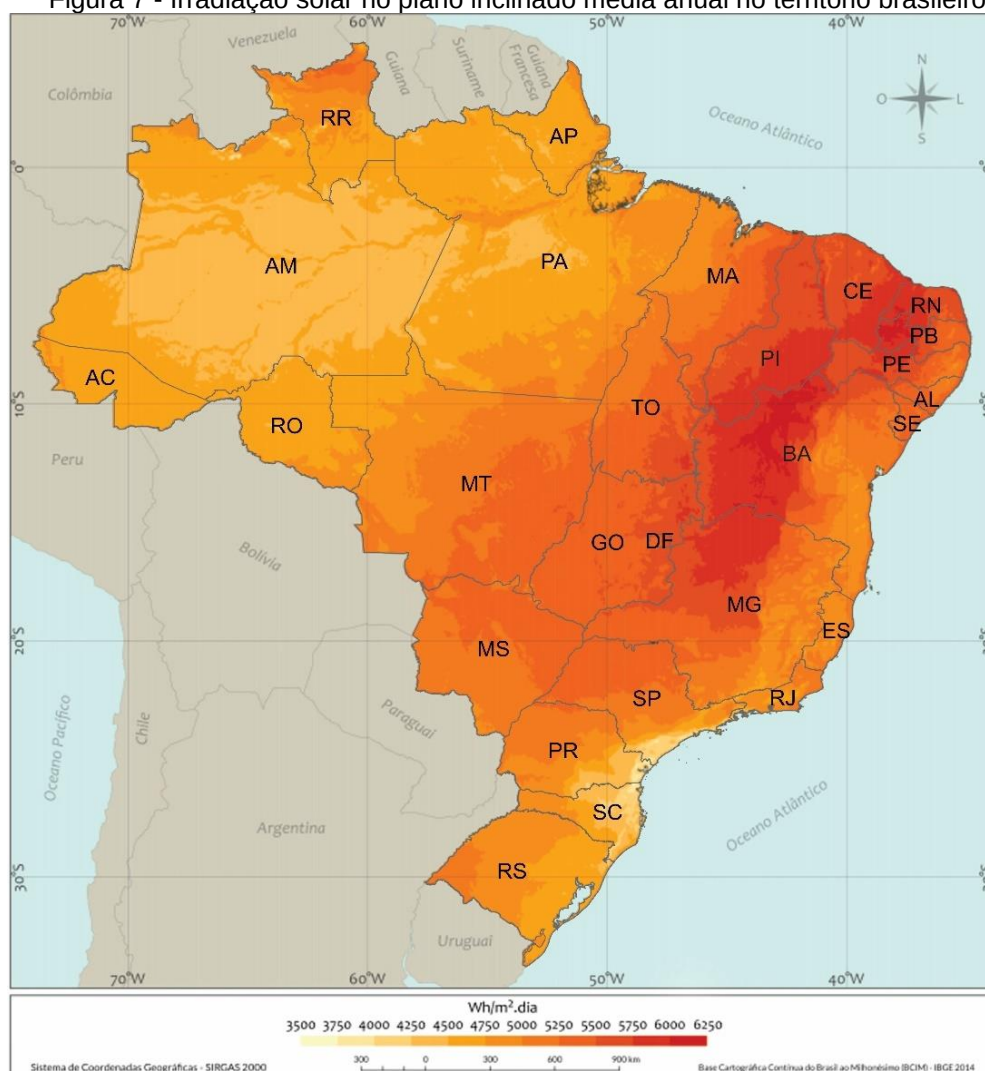
Estudos realizados pela Universidade de Piacenza, na Itália, identificaram que algumas culturas agrícolas não demonstraram diferença significativa de rendimento, em outras houve uma melhora na produção como, por exemplo, o milho que teve um aumento de 4,3% em sua produtividade quando utilizado o sistema solar fotovoltaico com rastreamento solar (REM TEC, 2021). Já um estudo realizado na Espanha por Wang et al. (2019), demonstrou uma queda de 6,1% no cultivo de trigo quando comparado uma área apenas com a cultura e outra com a cultura e o sistema solar com módulos FV fixos, entretanto, é preciso considerar o ganho advindo da produção energética do sistema.

Assim, segundo os autores, o aumento geral da produtividade da área com o uso compartilhado foi de 22% (WANG et al. 2019). Pereira e Martins (2018), salientam que a crescente demanda de energia e de alimentos vem acarretando profundas mudanças no meio ambiente e na qualidade de vida, colocando as sociedades diante de novos desafios em um planeta com recursos naturais finitos, o que tem sido motivo de preocupações com implicações na economia global.

2.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O território brasileiro recebe bons índices de irradiação solar apesar das suas diferenças climáticas, conforme demonstra a Figura 7. Pereira e Martins. (2018), destacam que as regiões Nordeste e Centro-Oeste possuem o maior recebimento de irradiação solar. A região Norte embora esteja próxima da linha de equador tem sua média anual de irradiação solar comparável a região Sul, sendo que no período do verão a região sul apresenta índices maiores, e no período de inverno a região norte recebe maior incidência de irradiação solar global. Isso se deve à climatologia da região amazônica que apresenta nebulosidade e precipitação elevadas no verão, e na região Sul devido às incursões de frentes frias provenientes da região Antártica, no período do inverno.

Figura 7 - Irradiação solar no plano inclinado média anual no território brasileiro



Fonte: Adaptado de Pereira et al.– Atlas Brasileiro de Energia Solar, (2017).

No entanto, ainda assim essas regiões possuem índices de irradiação solar maiores que outros países como, por exemplo, os europeus que empregam largamente o sistema solar fotovoltaico. Destaca-se que Alemanha é um dos países com a maior potência instalada a nível mundial, contudo, seu índice de irradiação solar é 40% menor do que região menos ensolarada do Brasil (Junior; Souza, 2020) com um potencial médio de radiação de 2,978 kWh/m² dia, e no ranking mundial em 197^o posição, diferentemente do Brasil que possui um potencial médio de 5,276 kWh/m² dia, e no ranking mundial em 89^o posição (ESMAP, 2020).

Geralmente, a radiação incidente na superfície da Terra atinge seu valor máximo (aproximadamente 1.000 W/m²) no meio-dia solar em condições de céu completamente sem nuvens (céu claro) (PES; MARTINS; PEREIRA, 2018). Condições atmosféricas diferentes acarretam atenuações distintas de forma que quanto maior a nebulosidade, ou a quantidade de poluentes presentes na atmosfera, menor a quantidade de energia solar incidente na superfície. No Brasil, em geral, o sistema de conversão solar deve estar voltado para o Norte e inclinado em ângulo próximo ao da latitude do local de instalação (o Brasil está localizado quase que totalmente no hemisfério Sul) (PES; MARTINS; PEREIRA, 2018).

O Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2002), destaca que uma das restrições técnicas à difusão de projetos de aproveitamento de energia solar, no início dos anos 2000, era a baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia, o que tornava necessário o uso de grandes áreas para a captação de energia em quantidade suficiente para que o empreendimento se tornasse economicamente viável. Porém, em detrimento de outros recursos, como a energia hidráulica, por exemplo, observa-se que a limitação de espaço não é tão restritiva ao aproveitamento da energia solar.

Tomando-se como referência um índice médio global de irradiação solar no Brasil de 1.800 kWh/m² ao ano, o consumo total de energia elétrica em 1998 (foi cerca de 300 TWh) e uma eficiência de conversão dos módulos de 12%, seriam necessários 1.400 km² de coletores solares (0,016% do território nacional); o que corresponde a somente 5% da área alagada por usinas hidrelétricas no Brasil (ANEEL, 2002). Atualmente, os sistemas de conversão se tornaram mais eficientes, entre 15% à 22%, conforme Pes, Martins e Pereira (2018). No entanto, a demanda por energia elétrica também aumentou significativamente sendo que no ano de 2020 o consumo final foi de 475 TWh (AEEE, 2021). Nesse sentido, quase 20 anos depois, atualizando a primeira análise considerando a área do território brasileiro com 8.510.345,538 km²

(IBGE,2020), o rendimento dos módulos (18%) e o consumo (475 TWh), ao final de 2020, seria necessário uma área de 1.477,777 km² (0,017% do território nacional), que equivale ao município de Viamão no RS o qual possui uma área de 1.496,506 km² ou, visando um comparativo nacional, parte do Distrito Federal que possui a menor dimensão territorial oficializada no país com 5.760,784 km² (IBGE, 2020).

No entanto, apesar da tecnologia solar FV ser estudada e analisada a décadas foi a partir de 2011 que esse sistema passou a ser inserido com maior destaque no Brasil. Sendo esse um resultado das discussões geradas pelo Grupo Setorial de Energia Fotovoltaica da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) e pela comissão de estudos CE-03:082.01 do Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (COBEI), responsável pela elaboração das normas para a conexão de inversores fotovoltaicos à rede elétrica (VILLALVA, 2015). Além disso, o estudo em larga escala e as informações sobre o tema têm contribuído para a criação de incentivos e o desenvolvimento científico em temas afins, como a geração de energia renovável e sustentável (URBANETZ, 2019).

A primeira instalação registrada pela ANEEL no Sistema de Análise de Geração Distribuída, foi em 2008, na região Sudeste, mais especificamente em Bocaiúva-MG, para uso comercial do Grupo CEMIG (SISGD, 2021). Entretanto, a regulamentação da geração distribuída ocorreu somente no ano de 2012, quando foi aprovada pela ANEEL a minuta da Resolução Normativa nº 482/2012 a qual foi reeditada, posteriormente, culminando na Resolução Normativa nº 687/2015 que permite a microgeração e a minigeração de energia elétrica a partir de fontes renováveis e alternativas com sistemas de geração distribuída conectados às redes elétricas de baixa tensão, e também o sistema de compensação de energia. No Quadro 1 pode-se observar a adiação anual da potência instalada (MW) no Brasil, tanto para a Geração Distribuída (GD) quanto para a Geração Centralizada (GC).

Quadro 1 - Crescimento histórico da potência adicionada anualmente no Brasil, em MW

Ano	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
GD	0,025	0,023	0,04	0,09	0,46	1,47	2,65
GC	—	—	—	5,16	0,03	4,44	5,57
Ano	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
GD	9,69	49,55	127,81	400,58	1.533,56	2.658,33	2.245,15
GC	11,44	32,67	947,7	828,55	651,31	807,15	451,36

Fonte: Autora, com base em SIGA e SISGD (out. 2021).

No presente momento, está ocorrendo a revisão da normativa referente a microgeração e a minigeração distribuída, destaca-se que essa revisão já estava prevista desde a publicação da Resolução 687/2015, e iniciou em maio de 2018 com previsão para ser finalizada em dezembro de 2019, contudo, o que se pode observar é que mais de 3 anos depois as discussões ainda estão em curso. Segundo a ANEEL (2019), há um impasse onde as distribuidoras alegam que o sistema impede uma remuneração adequada da rede de distribuição, uma vez que, a rede que é utilizada por todos é paga pelos consumidores que não possuem geração própria. De outro lado, instaladores e consumidores que aderiram a microgeração e a minigeração defendem que o modelo atual deve continuar para a viabilidade econômica e a consolidação de energias renováveis e alternativas no mercado.

Diferentes possibilidades foram propostas pela ANEEL, sendo elas (0) o sistema de compensação se manter como está, ou seja, 100% de aproveitamento, (1) TUSD – Fio B, o consumidor pagaria pelo transporte na distribuição da energia consumida (72% de aproveitamento), (2) TUSD - Fio B consumidor pagaria por todo o transporte na distribuição e transmissão sobre o valor consumido (66% aproveitamento), (3) considera o pagamento dos transportes e dos encargos do valor consumido (aproveitamento de 59%), (4) prevê o pagamento dos transportes, encargos e das perdas que acontecem no transporte de energia (aproveitamento de 51%), (5) o micro ou mini gerador pagaria por todas as componentes tarifárias com exceção da parcela correspondente à compra de energia o que gera um aproveitamento de 37% da energia injetada na rede (ANEEL, 2019).

Observa-se que a última proposta desvaloriza em quase 60% a eletricidade gerada e injetada na rede pelo cidadão. Conforme Rubim, Sauaia e Koloszuk (2019), alterações nas normativas são ainda prematuras considerando o curto período de tempo da inserção delas no país, e também por haver baixa participação da energia FV no cenário brasileiro, apesar de seu crescimento desde 2012. Os autores destacam que a ANEEL também deixou de fora da sua proposta final a remuneração dos atributos da geração distribuída solar FV, como a postergação de investimentos em transmissão e distribuição de eletricidade, alívio das redes pelo efeito vizinhança, geração de emprego e renda, diversificação da matriz elétrica e redução da emissão de gases de efeito estufa.

As alterações propostas pela ANEEL não tiveram uma boa recepção por parte dos consumidores (pessoas físicas), pequenos/médios empresários e comerciantes

representantes da energia solar FV, diante desse embate o tema chegou ao Congresso Nacional, o qual vem se envolvendo na revisão dessa normativa desde 2019. Nesse contexto, de autoria do parlamentar Silas Câmara apresentou-se o Projeto de Lei (PL) 5829/2019 (BRASIL, 2019), que em setembro de 2021, foi aprovado pela Câmara dos Deputados e mantém as isenções atuais aos mini e microgeradores de energia até o ano de 2045 (inclusive para quem protocolar o sistema até doze meses após a publicação da lei).

Entretanto, as regras mudam para os novos geradores, que terão que seguir as regras de transição para o pagamento total dos encargos de uso da rede, nestes valores estão a infraestrutura, os custos de manutenção, a operação e depreciação dos equipamentos. Os novos geradores pagarão 15% dos encargos, com incremento de mais 15% a cada ano, até atingir 100% em 2029 (BARBIÉRI, 2021). Em meio a esse cenário um tanto menos atraente para a energia solar FV no Brasil, cabe destacar a Política Nacional de Energia Solar Fotovoltaica – Pronasolar instituída pelo Projeto de Lei Nº 10.370/2018 (BRASIL, 2018).

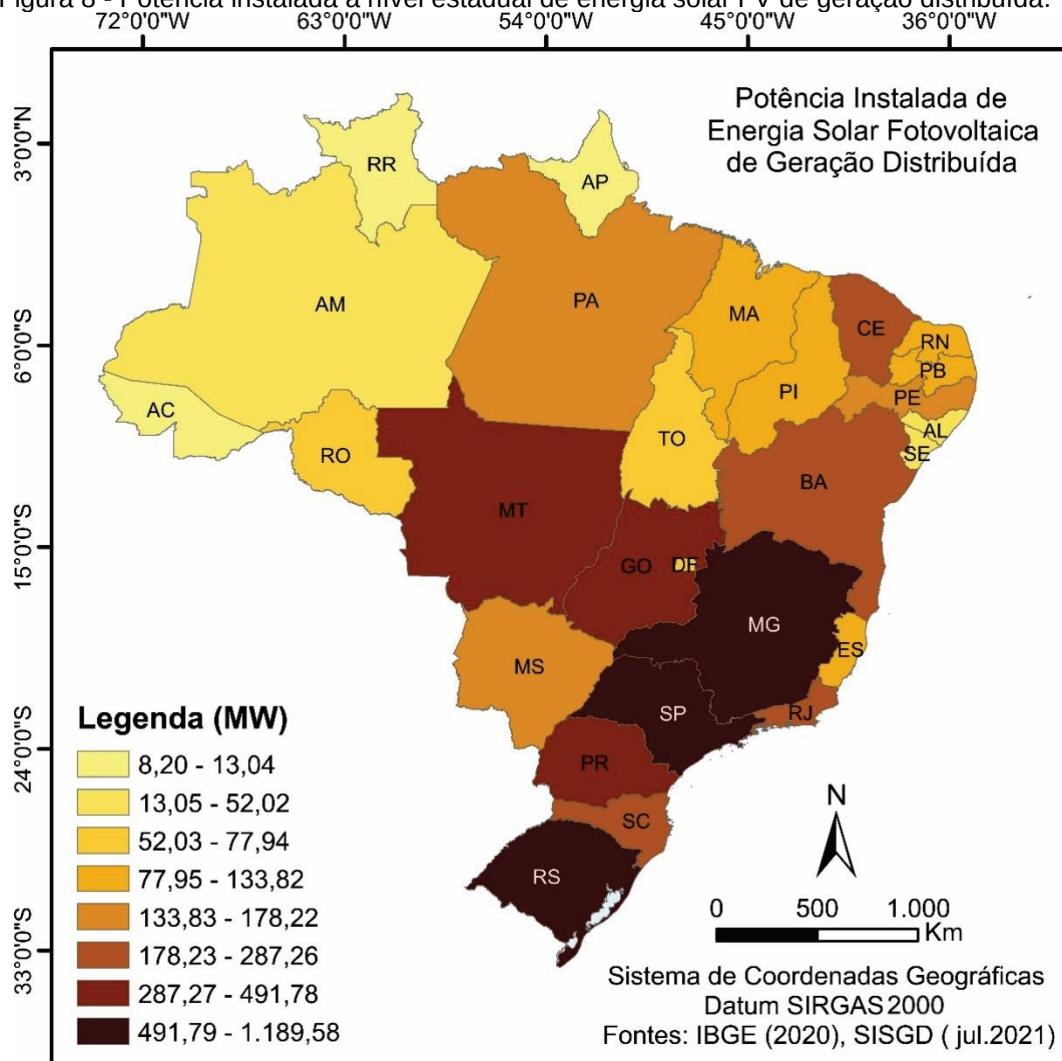
Sua meta é a instalação de empreendimentos de geração de energia elétrica solares fotovoltaicos no Brasil, representando uma potência nominal acumulada conectada ao Sistema Interligado Nacional de pelo menos 30.000 MW até o final de 2030, incluídos nesta potência os sistemas de geração solar fotovoltaica distribuída e centralizada. Assim, essa política é composta por ações, projetos e programas destinados a pessoas físicas e jurídicas, no setor público e privado, e nos meios urbano e rural. Um dos principais pontos dessa legislação é a disponibilização de linhas de crédito e investimentos tanto para a instalação dos sistemas quanto para pesquisas e desenvolvimento do setor (BRASIL, 2018).

Com ênfase na geração distribuída, até julho de 2021, o Brasil contava com uma potência instalada de energia FV de 6.446,06 MW na forma de geração distribuída (SISGD, 2021). Na Figura 8 pode-se visualizar a distribuição da potência instalada no território brasileiro. Observa-se que os estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul e Mato Grosso concentravam mais de 50% da produção de energia FV distribuída no país, totalizando 3.262,28 MW. Com uma potência entre 200 e 400 MW tem-se os estados do Paraná, Goiás, Rio de Janeiro, Santa Catarina, Ceará e Bahia que representa 26% da produção total.

Já os estados do Mato Grosso do Sul, Pernambuco, Pará, Piauí, Maranhão, Rio Grande do Norte, Espírito Santo e Paraíba possuem uma capacidade instalada

entre 100 e 200 MW, o que corresponde a 17% do total. Por fim, com menos de 100 MW instalados tem-se o Distrito Federal e os estados de Tocantins, Rondônia, Alagoas, Sergipe, Amazonas e Acre que contribuem com 6% para a produção de energia FV de geração distribuída no país, e com menos de 10 MW de potência instalada há os estados do Amapá e Roraima.

Figura 8 - Potência instalada a nível estadual de energia solar FV de geração distribuída.



Fonte: Autora, com base em SISGD (2021).

Destaca-se que do total de 548.025 instalações FV existentes no país, a maior parte se deu nos anos de 2019 (122.562 instalações), 2020 (208.153 instalações) e 2021, até então com 159.181 instalações. Além disso, com base na regulamentação REN 482/2012 que possibilitou o consumo energético em mais de uma unidade consumidora há 548.025 instalações FV de geração distribuída, contudo, são 684.020

unidades que recebem os créditos produzidos por esses sistemas. A distribuição da potência instalada por classe de consumo pode ser analisada no Quadro 2.

Quadro 2 - Distribuição da potência instalada em GD fotovoltaica por classe de consumo

Classe	QTD GD	Uc rec créditos	Pot Instalada (MW)
Comercial	81.517	119.566	2.290,56
Iluminação Pública	33	40	1,02
Industrial	11.638	15.230	515,02
Poder Público	1.911	3.043	77,79
Residencial	413.256	489.897	2.600,69
Rural	39.539	56.006	839,46
Serviço Público	131	238	7
Total	548.025	684.020	6.331,57

Fonte: Autora, com base em SISGD (2021).

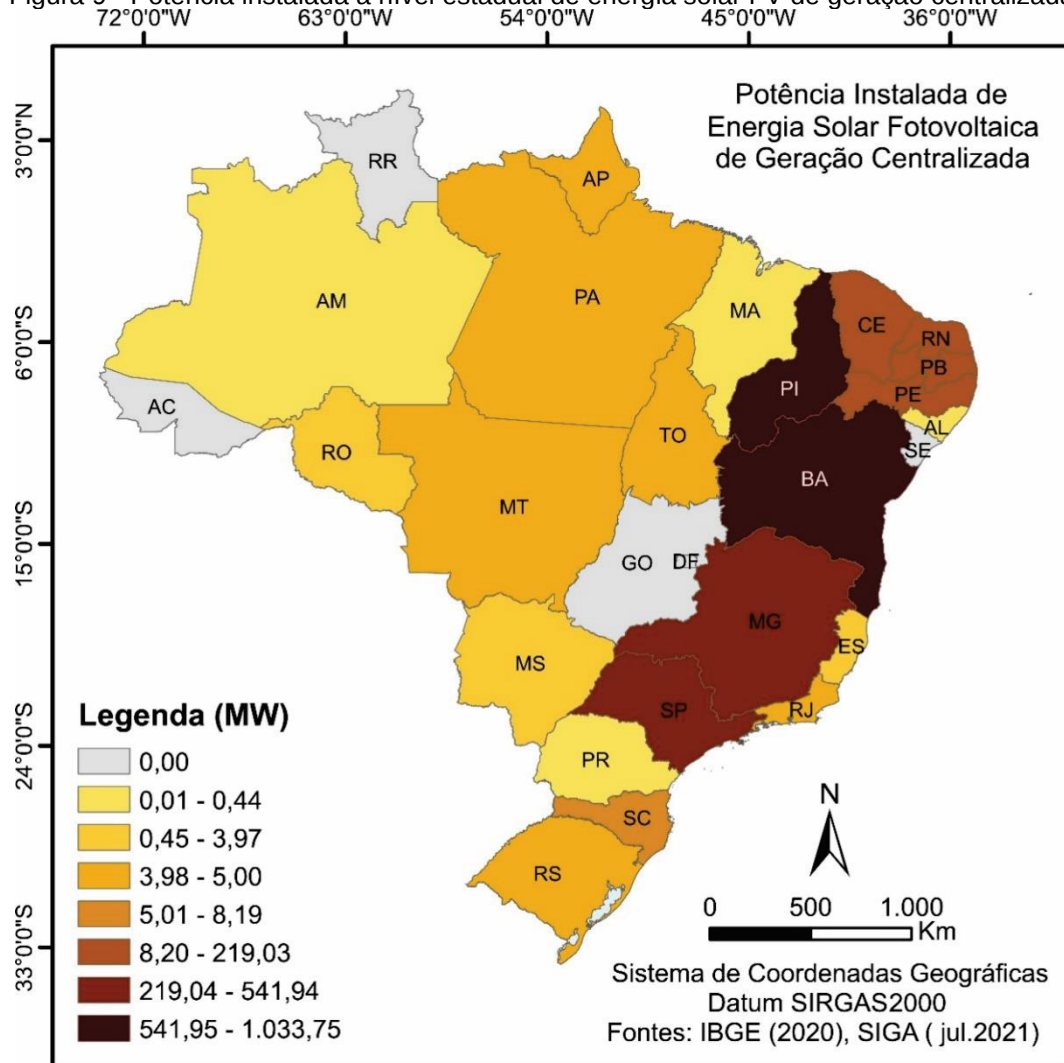
Nota-se um predomínio significativo de instalações FV em imóveis residências, correspondendo por 76% do total instalado, com uma potência de 2.600,69 MW. Entretanto, embora com um número de instalações bem reduzido quando comparado ao residencial, observa-se que a potência instalada na classe comercial equiparasse ao total da classe residencial. Em contraponto, as classes públicas (Poder Público, Serviço Público e Iluminação Pública) representam o menor número de potência e instalações de sistemas FV de geração distribuída, representando menos de 1% do total instalado.

Ainda com base na Figura 8 é possível notar que dos cinco estados com maior potência instalada na forma de geração distribuída apenas Minas Gerais e Goiás se encontram nas regiões que recebem os maiores índices de irradiação solar. Dessa forma, principalmente, os estados do Ceará, Piauí, Paraíba e Bahia tem um potencial ainda inexplorado para a ampliação da potência instalada na geração FV distribuída no país.

Com relação a geração fotovoltaica na forma centraliza a primeira instalação registrada no Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA, 2021), ocorreu em 2011, quando a empresa MPX Energia pertencente ao Grupo EBX, do empresário Eike Batista instalou o primeiro parque fotovoltaico, com uma potência inicial de 1MW, no município de Tauá no estado do Ceará. No mês de julho de 2021, o Brasil contava com 4.287 parques fotovoltaicos de energia centralizada em operação, totalizando uma potência de 3.430,26 MW (SIGA,2021). Com base na Figura 9 é possível perceber que os estados do Piauí e da Bahia concentram mais de 53% da produção

energética com 1.033,75 MW e 782,66 MW, respectivamente. Os estados de Minas Gerais, São Paulo e Ceará também possuem uma potência representativa com um somatório de 1.143,39 MW.

Figura 9 - Potência instalada a nível estadual de energia solar FV de geração centralizada.



Fonte: Autora, com base em SIGA (2021).

Com uma capacidade entre 200 MW e 100 MW tem-se os estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Já com uma potência reduzida há o estado de Santa Catarina com 8,19 MW, seguido dos estados Tocantins, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Pará, Amapá, Mato Grosso, Espírito Santo, Rondônia e Mato Grosso do Sul que possuem uma capacidade entre 2 MW e 5 MW. E com menos de 1 MW de potência instalada há os estados de Alagoas, Paraná, Maranhão e Amazônia.

Além disso, salienta-se que o Distrito Federal e os estados do Acre, Roraima, Goiás e Sergipe não apresentam nenhum registro de instalação na forma de geração centralizada. Salienta-se que os estados de Goiás e Sergipe estão em uma área privilegiada do território quanto aos níveis de irradiação, somado a esses o território dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins e Maranhão que também possuem altos índices de irradiação podem vir a ser melhor explorados.

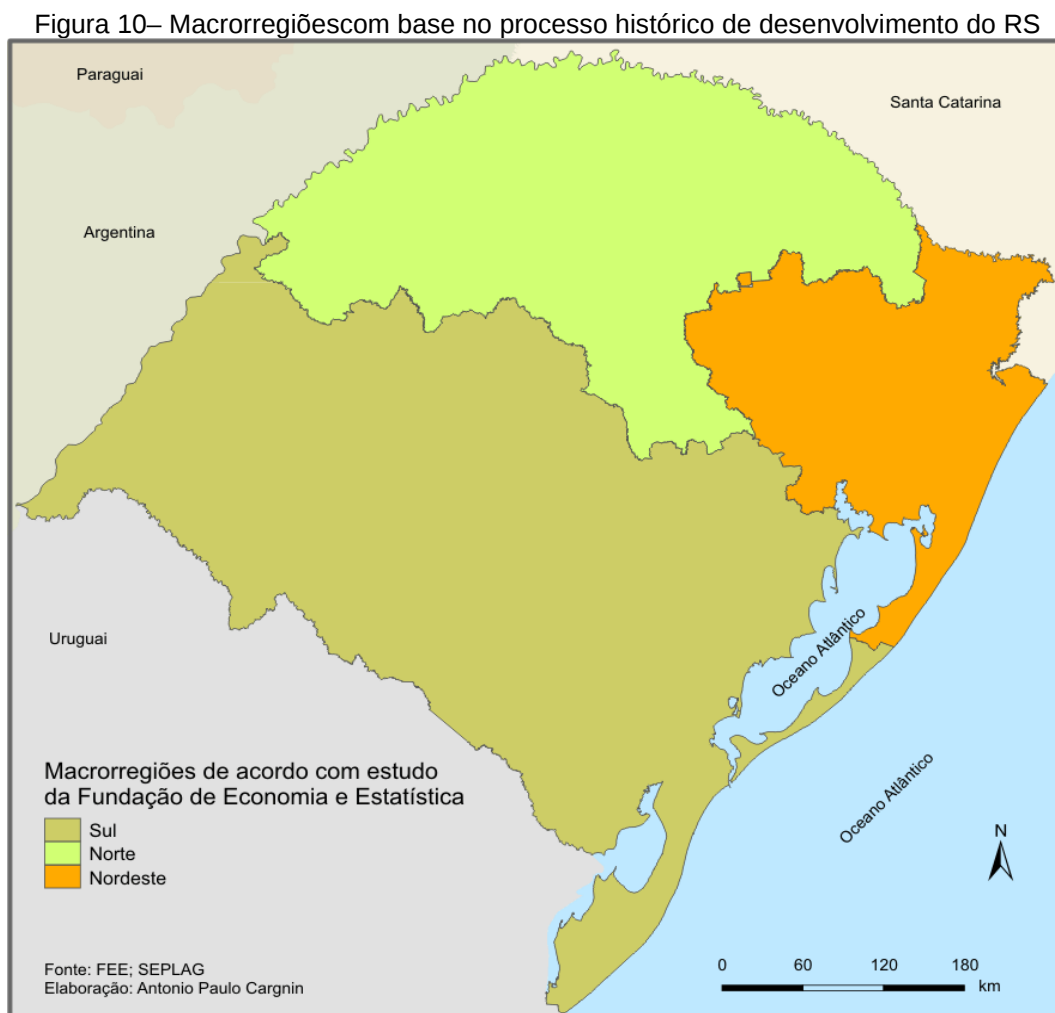
2.5 DESENVOLVIMENTO REGIONAL NO RIO GRANDE DO SUL

As divisões territoriais no estado do Rio Grande do Sul são fundamentadas em seu processo histórico de desenvolvimento, as reduções jesuíticas, fundadas a partir de 1626, são considerados os primeiros povoados organizados no espaço rio-grandense. Já no século XVIII, visando garantir a posse e defesa da terra a Coroa Portuguesa instalou acampamentos militares, fortes e presídios, bem como a distribuição de sesmarias a pessoas de prestígio e/ou militares. Até a metade do século XIX, desenvolveu-se no RS uma pecuária voltada à produção de charque. Mais tarde, a demanda do centro do País pelo charque reforçou a atividade baseada no latifúndio e na concentração de renda e, nesse tempo, a região atingiu sua maior prosperidade (ATLAS RS, 2020).

Contudo, foi com o processo de colonização alemã e, posteriormente, italiana, no início do século XIX, que começou a ser alterado o quadro regional que, até então, era de concentração econômica e populacional no sul. Uma vez que, esses imigrantes começaram a ocupar as demais regiões do estado, em especial, nas proximidades de Porto Alegre (imigração alemã) e Serra Gaúcha (imigração italiana) (CARGNIN, 2014). Essa ocupação do norte do Rio Grande do Sul era vista pelo governo como uma oportunidade de diversificação econômica por meio da pequena propriedade agrícola contrapondo-se a então ocupação territorial oligárquica e pastoril da região sul.

Devido a essas diferentes ocupações e formas de desenvolvimento econômico surgiram estudos visando entender essa dinâmica. De acordo com Cargnin (2014), um dos mais significativos foi o livro publicado por pesquisadores da Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser (FEE) em 1994, sobre o declínio da participação econômica e a perda de população da região sul e do norte, em favor da região nordeste do estado. Destaca que esse estudo fez uma análise desde o ano de

1980 até início dos anos de 1990, o qual resultou em uma divisão macrorregional, setorizando o estado em três grandes regiões com características demográficas e econômicas distintas conforme Figura 10.

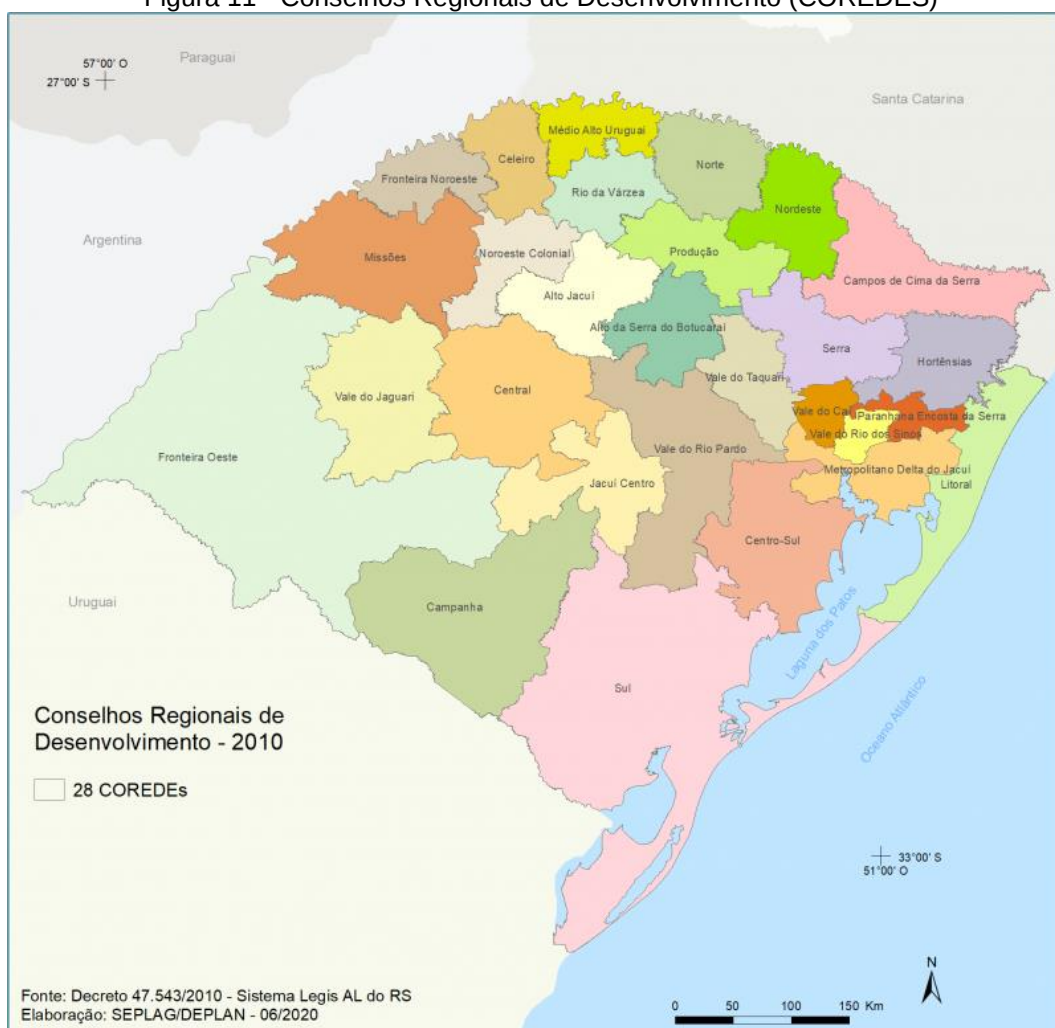


Fonte: CARGNIN (2011).

Contudo, em paralelo a realização deste estudo, mais especificamente a partir de 1991, outra divisão regional começava a se constituir no estado, os Conselhos Regionais de Desenvolvimento (COREDES). Esses conselhos se configuram como uma estratégia pioneira de organização regional no Brasil, onde a estrutura institucional, os mecanismos de participação social, as formas de encaminhamento das demandas regionais, o amadurecimento dos processos e relações entre governo e sociedade foram sendo aperfeiçoados ao longo do tempo (BÜTTENBENDER; SIEDENBERG; ALLEBRANDT, 2011).

A criação desses conselhos se deu por meio de uma articulação do governo do Estado do Rio Grande do Sul com instituições regionais, em especial, as universidades e as associações de municípios. Contudo, foi em 17 de outubro de 1994, pela Lei Estadual nº 10.283 e regulamentados através do Decreto nº 35.764, de 28 de dezembro de 1994, que os COREDES se instituíram de forma legal. Desde 2010, o RS é subdividido em 28 COREDES, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Conselhos Regionais de Desenvolvimento (COREDES)



Fonte: Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul (2020).

Os COREDES tem como missão ser um espaço plural e aberto de construção de parcerias sociais e econômicas, em nível regional, através da articulação política dos interesses locais e setoriais em torno de estratégias próprias e específicas de desenvolvimento para as regiões do Rio Grande do Sul (PRÓ-RS IV, 2010). Isso de modo a envolver a sociedade civil, por meio de suas representações, as diferentes

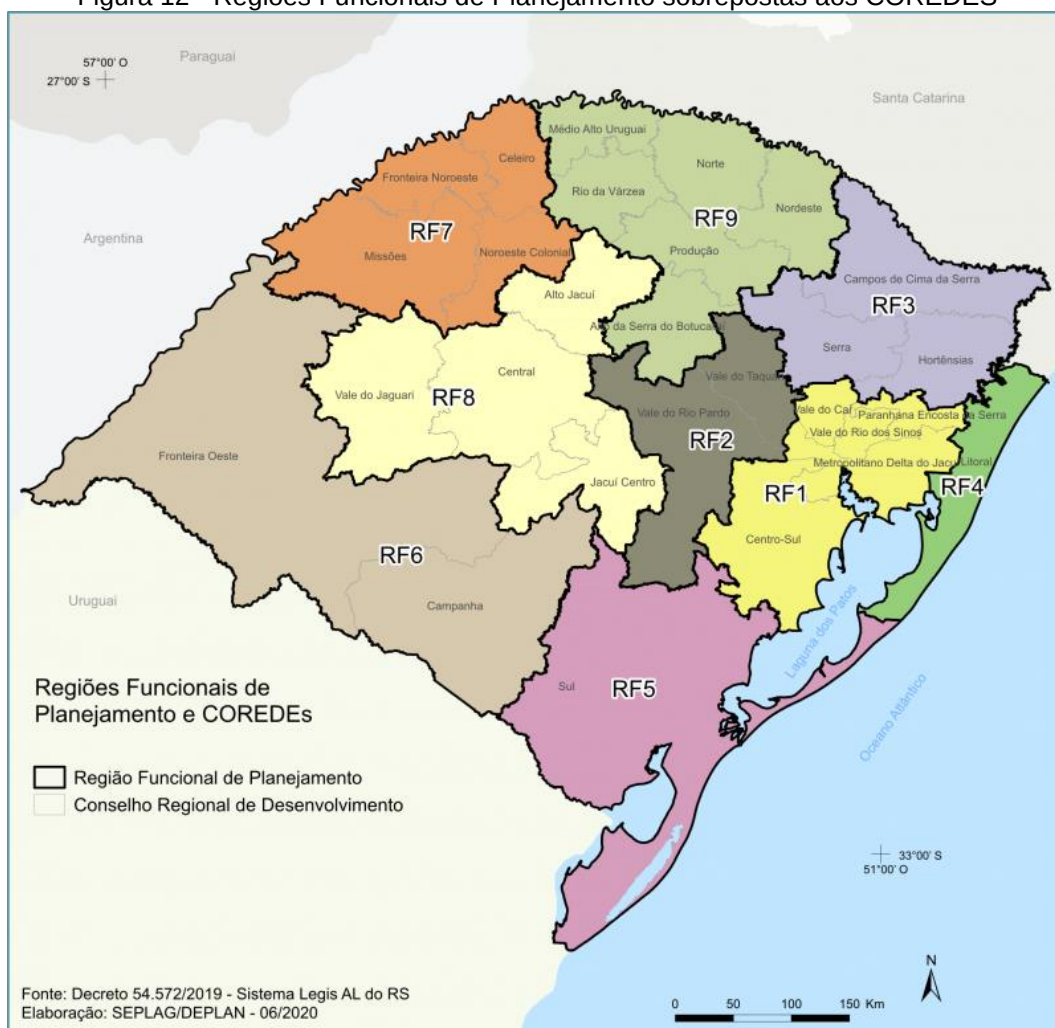
esferas governamentais, assim como a iniciativa privada, na elaboração e na articulação de estratégias para o desenvolvimento na escala regional.

Büttenbender; Siedenberg e Allebrandt (2011), salientam que os COREDES são entendidos como Fóruns Regionais de discussão sobre estratégias, políticas e ações que visam ao desenvolvimento regional, constituídos como pessoas jurídicas de direito privado, organizados sob forma de associações civis sem fins lucrativos. Conforme Art. 2º da Lei Nº 10.283 (1994) os Conselhos Regionais de Desenvolvimento têm por objetivo a promoção do desenvolvimento regional, harmônico e sustentável, através da integração dos recursos e das ações de governo na região, visando à melhoria da qualidade de vida da população, à distribuição equitativa da riqueza produzida, ao estímulo à permanência do homem em sua região e a preservação e recuperação do meio ambiente.

Cabe destacar ainda que, em 2003, a Secretaria de Coordenação e Planejamento do RS no âmbito do Programa de Apoio ao Planejamento e à Formulação de Políticas Estratégicas para a Economia do RS, contratou por meio de uma licitação a elaboração de um estudo com base em dois componentes, sendo: Componente I- Ordenamento Territorial e Desenvolvimento Regional e Componente II- Logística de Transportes. Esse estudo foi destinado a analisar e propor mecanismos nessas duas áreas, tendo como horizonte o período de 2005-2015 (RUMOS 2015, 2006).

Assim, o estudo intitulado Desenvolvimento Regional e Logística do RS resultou em uma “regionalização funcional” a qual pode ser analisada na Figura 12, conceito adotado visto que o estado já possui outras regionalizações. As Regiões Funcionais de Planejamento do RS podem ser entendidas como um agrupamento de diferentes COREDES, ou seja, em uma escala mais agregada que possibilita o tratamento de temas de interesse regional em um aspecto mais amplo (PEDCC, 2017).

Figura 12 - Regiões Funcionais de Planejamento sobrepostas aos COREDES

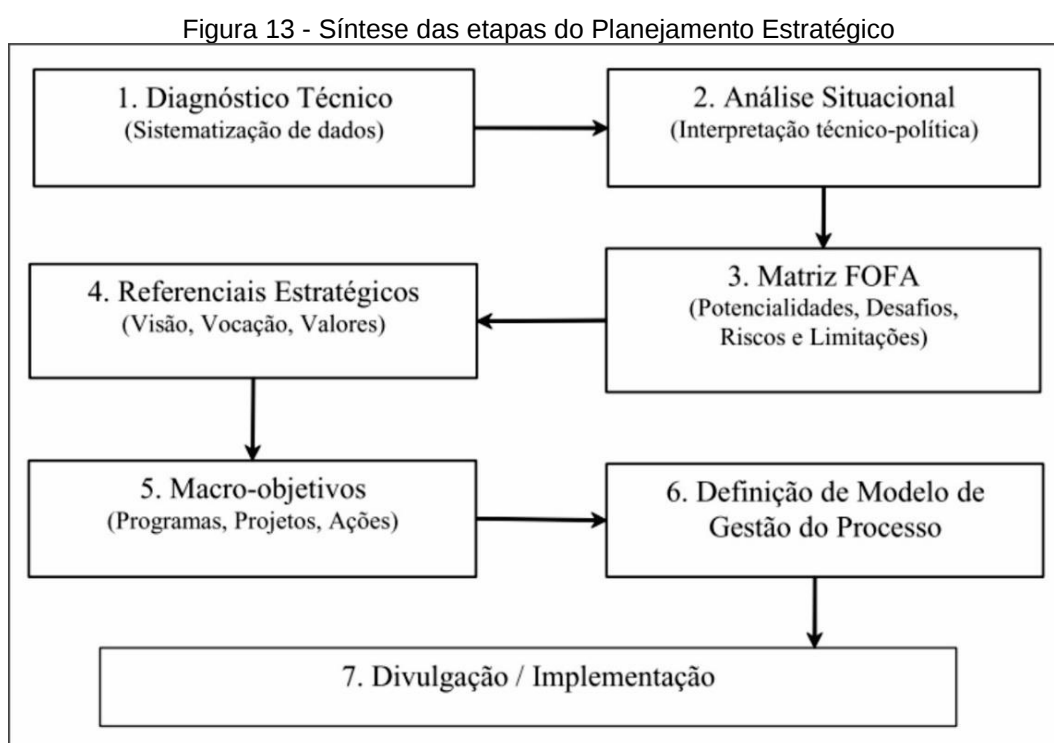


Fonte: Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul (2020).

Entretanto, nesta pesquisa optou-se pelo uso da regionalização dos COREDES, uma vez que, esses conselhos trabalham com um nível de detalhamento maior das regiões, e são os responsáveis pela elaboração dos Planos Estratégicos de Desenvolvimento Regional. Nesse sentido, as competências dos COREDES, as quais foram estabelecidas na sua lei de criação em 1994, são:

- I. Promover a participação de todos os segmentos da sociedade regional no diagnóstico de suas necessidades e potencialidades, para a formulação e implementação das políticas de desenvolvimento integrado da região;
- II. Elaborar planos estratégicos de desenvolvimento regional;
- III. Manter espaços permanentes de participação democrática, resgatando a cidadania, através da valorização da ação política;
- IV. Constituir-se em instância de regionalização do orçamento do Estado, conforme estabelece o art. 149. Parágrafo 8º da Constituição do Estado;
- V. Orientar e acompanhar, de forma sistemática, o desempenho das ações dos Governos Estadual e Federal na região; e
- VI. Respalidar as ações do Governo do Estado na busca de maior participação nas decisões nacionais. (Art. 3º Lei Nº 10.283, 1994).

Com ênfase na elaboração dos planos estratégicos de desenvolvimento regional (Competência II), cada COREDE é responsável pela elaboração do seu plano contemplando toda sua região de abrangência. De modo que os COREDES realizassem seus planos estratégicos de uma forma coerente e coordenada, o Fórum dos COREDES ofereceu uma metodologia a qual foi desenvolvida por Siedenberg e Allebrandt (2009). Na Figura 13 pode-se observar as macro etapas que formam uma sequência logicamente encadeada e sua operacionalização é decorrência de uma série de atividades que necessitam ser desenvolvidas pelo pessoal técnico designado por cada região, ou de forma articulada com os demais interlocutores regionais (SIEDENBERG; ALLEBRANDT, 2009).



Fonte: Siedenberg; Allebrandt (2009).

Cabe destacar que matriz FOFA³ (Etapa 3) não pode ser considerada a etapa mais importante do processo de construção dos planos estratégicos de desenvolvimento, visto que, entende-se ser necessário seguir uma sequência para chegar-se até a mesma, porém, é por meio da matriz FOFA que é possível entender

3 Instrumento utilizado no campo do planejamento e gestão pois facilita a sistematização e a visualização dos pontos fortes (Fortalezas e Oportunidades) e das fragilidades (Fraquezas e Ameaças) permitindo a avaliação de sua estrutura, desempenhos e/ou contextos, uma vez que distingue o que é próprio (Fortalezas e Fraquezas), sobre o qual se tem governabilidade, do que é externo (Oportunidades e Ameaças), cujas características e particularidades precisam ser (re)conhecidas.

a região com base em suas variáveis internas (Fortalezas e Fraquezas) e variáveis externas (Oportunidades e Ameaças), sendo que com esses dados é possível tanto condicionar/limitar ou viabilizar/alavancar os projetos e as ações nas regiões (KUMMER; SILVEIRA, 2016).

Assim, como pode ser observado na representação gráfica da matriz FOFA (Figura 14), a junção de Fortalezas e Oportunidades configura as potencialidades regionais; a junção de Fraquezas e Ameaças as limitações regionais; a junção de Fortalezas e Ameaças os riscos regionais e a junção de Fraquezas e Oportunidades configura os desafios regionais (SIEDENBERG; ALLEBRANDT, 2009).

Figura 14 - Representação gráfica da matriz FOFA regional

Matriz FOFA		Fatores de origem interna	
		Fortalezas ▼	Fraquezas ▼
Fatores de origem externa	Oportunidades ➤	Potencialidades [++]	Desafios [-+]
	Ameaças ➤	Riscos [+-]	Limitações [--]

Fonte: Siedenberg; Allebrandt (2009).

Visando facilitar a sistematização dos dados correspondentes a matriz FOFA é proposto por Siedenberg e Allebrandt (2009), a adoção de quatro eixos temáticos os quais se subdividem em demais subgrupos. Esses eixos e subgrupos podem ser observados na Figura 15. É no eixo temático da Gestão estrutural, mais especificamente, no subgrupo de análise da energia, que esta pesquisa tem o intuito de colaborar e possibilitar uma análise mais aprofundada.

Já que, de modo geral, os planos estratégicos que abrangem o período de 2015 a 2030, apresentam esse item de forma pouco explorada e, em sua maioria, destacam a necessidade de melhorias no sistema energético, porém, não apresentam possíveis soluções para isso ou análises sobre os potenciais energéticos de suas respectivas regiões.

Figura 15 - Síntese de eixos temáticos e subgrupos de análise

Eixos Temáticos	Subgrupos de Análise
Gestão Estrutural	Saneamento, Energia, Comunicações, Transporte, Meio Ambiente, Habitação e Urbanismo
Gestão Econômica	Setor Primário, Setor Secundário, Setor Terciário, Mercado de Trabalho, Comércio Exterior, Gestão Pública Local
Gestão Social	Educação, Saúde, Justiça e Segurança, Assistência Social, Cultura, Esporte e Lazer
Gestão Institucional	Articulação e Relações Interinstitucionais, Fomento de Capital Social, Gestão de Eventos

Fonte: Siedenberg; Allebrandt (2009).

Assim, inicialmente, cabe entender o contexto que o estado do Rio Grande Sul ocupa no território brasileiro. Dessa forma, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), o Rio Grande do Sul é o 9º maior estado do Brasil, com extensão territorial de 281.707,149 km², ocupando mais de 3% do território brasileiro e subdividido em 497 municípios. Sua população é cerca de 11.422.973 milhões de habitantes (IBGE, 2020), sendo equivalente a 5,4% da população brasileira, colocando-o como o 6º estado com a maior população nacional. Isso resulta em uma densidade demográfica média de 40,5 hab/km².

O RS apresenta uma grande diversidade interna, apesar de não ser uma das mais extensas Unidades da Federação Brasileira. Essa diversidade tem origem em diferentes ecossistemas e paisagens naturais (planície do pampa, serras, litoral, etc.), bem como nas formas históricas de colonização e ocupação (sesmarias, colônias etc.) e na pluralidade étnica e estágio cultural dos diferentes ciclos de povoamento. O resultado secular foi a consolidação de diversificadas realidades sociais, econômicas e culturais nas diferentes regiões (PRÓ-RS IV, 2010).

Nesse sentido, a densidade demográfica, mencionada anteriormente, não se distribuí de forma homogênea no território e, segundo o Atlas RS (2020), o eixo que liga o município de Porto Alegre a Caxias do Sul é a área mais povoada, diferentemente dos locais situados na faixa oeste, centro e norte do estado, onde a ocupação se dá de forma mais esparsa e, conseqüentemente, resulta em níveis de consumo energético diferenciado entre os COREDES.

Conforme o Balanço Energético do Rio Grande do Sul (BERS, 2015), os municípios que possuem uma demanda energética mais acentuada no RS, são: Pelotas e Rio Grande no COREDE Sul; Caxias e Bento Gonçalves no COREDE Serra; Porto Alegre, Guaíba e Gravataí no COREDE Metropolitano Delta do Jacuí; Canoas, Novo Hamburgo, São Leopoldo e Sapucaia do Sul no COREDE Vale do Rio dos Sinos; Charqueadas no COREDE Centro-Sul; Lajeado no COREDE Vale do Taquari; Passo Fundo no COREDE Produção e Santa Maria no COREDE Central.

Assim, ressalta-se que o entendimento da divisão regional do RS, em especial, a dos COREDES visa facilitar a análise, posterior, da demanda energética estadual, das áreas com maior potencial de geração de energia renovável (biomassa, eólica e solar) no território gaúcho e a distribuição geográfica dos sistemas de energia centralizada e distribuída existentes. Além disso, o entendimento do setor energético por meio da análise regional possibilita resultados mais precisos, visto que, considera as particularidades de cada região diante da diversidade territorial do Rio Grande do Sul.

2.6 CONTEXTO E POTENCIAL ENERGÉTICO NO RIO GRANDE DO SUL

De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (AEEE, 2011 e 2021), na última década, a demanda de energia elétrica cresceu 24,47% no estado do Rio Grande do Sul (RS), e para 2040 estima-se que o estado terá uma demanda de 50.452,00 GWh (BERS, 2015). Com base no ano de 2019, o consumo totalizou 29.620 GWh, e configurou-se da seguinte forma:

Quadro 3 – Consumo energético do Rio Grande do Sul

Classe de Consumo	Demanda (GWh)
Industrial	9.399
Residencial	9.194
Comercial	4.450
Rural	4.289
Iluminação Pública	834
Serviço Público	708
Poder Público	579
Sistema Energético	164
Total RS	29.620
Total Brasil	475.648

Fonte: AEEE (2021).

Para o atendimento da demanda atual, o Rio Grande do Sul conta, em maio de 2021, com 357 empreendimentos em operação, sendo de origem renovável os sistemas: hídrico (58,15%), eólico (19,21%), solar (0,05%) e termelétricas movidas a biomassa (3,29%), além de termelétricas movidas a combustível fóssil (19,36%). Isso totaliza uma potência de 9.558,36 MW, porém, ainda há 20 empreendimentos autorizados, sendo 14 em construção não iniciada e, 6 em construção. Estima-se que, posteriormente, o estado contará com uma potência instalada de 9.886,87 MW (SIGA, 2021).

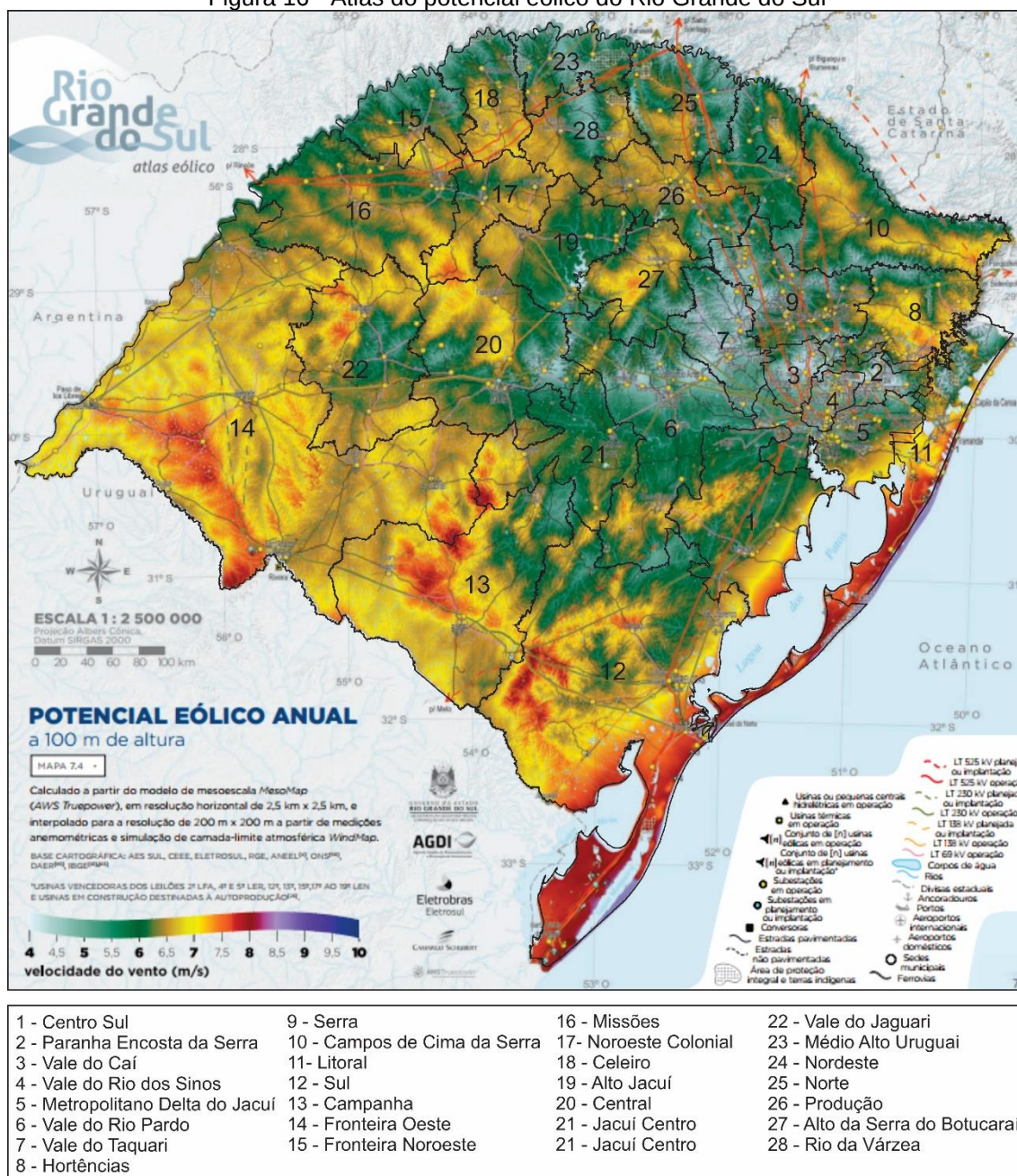
Com relação as fontes de energia renováveis alternativas, o governo do estado em parceria com outras instituições desenvolveu o trabalho de reconhecimento do território, de modo a impulsionar e diversificar a produção energética. Desta forma, viabilizou-se o desenvolvimento do Atlas Eólico (2014), do Atlas das Biomassas (2016) e do Atlas Solar (2018) do Rio Grande do Sul, materiais que possibilitam um planejamento energético para atender à crescente demanda estadual.

Com ênfase na energia eólica, o início da perspectiva de sua inserção no estado, remete ao ano de 1999, com o Programa do Governo Federal Ventos do Sul. Esse iniciou uma série de estudos e levantamentos que culminaram no primeiro Atlas Eólico em 2002. Contudo, foi no contexto do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que em 2006, foi implantado o primeiro Parque Eólico no município de Osório. Sendo um empreendimento com 150 MW de potência, que permaneceu como o maior da América Latina durante vários anos (CAMARGO SCHUBERT. et al, 2014).

Posteriormente, houve um crescente número de empreendimentos implantados no estado por meio dos leilões favorecidos pela política energética nacional, que resultou em um crescimento da potência instalada. E, em maio de 2021, este valor totalizava 1.835,89 MW com 81 empreendimentos em operação, e mais três empreendimentos com 52,50 MW em construção (SIGA, 2021).

No ano de 2014, houve a atualização do Atlas Eólico de 2002, resultando no mapeamento do potencial eólico estadual, o qual pode ser analisado na Figura 16. Através da análise do Atlas Eólico (2014), é possível inferir que o RS apresenta quatro principais regiões (em vermelho) suscetíveis a instalação de sistemas eólicos, nos COREDES Litoral, Sul, Campanha e Fronteira Oeste, com destaque ao maior potencial dos dois primeiros.

Figura 16 - Atlas do potencial eólico do Rio Grande do Sul

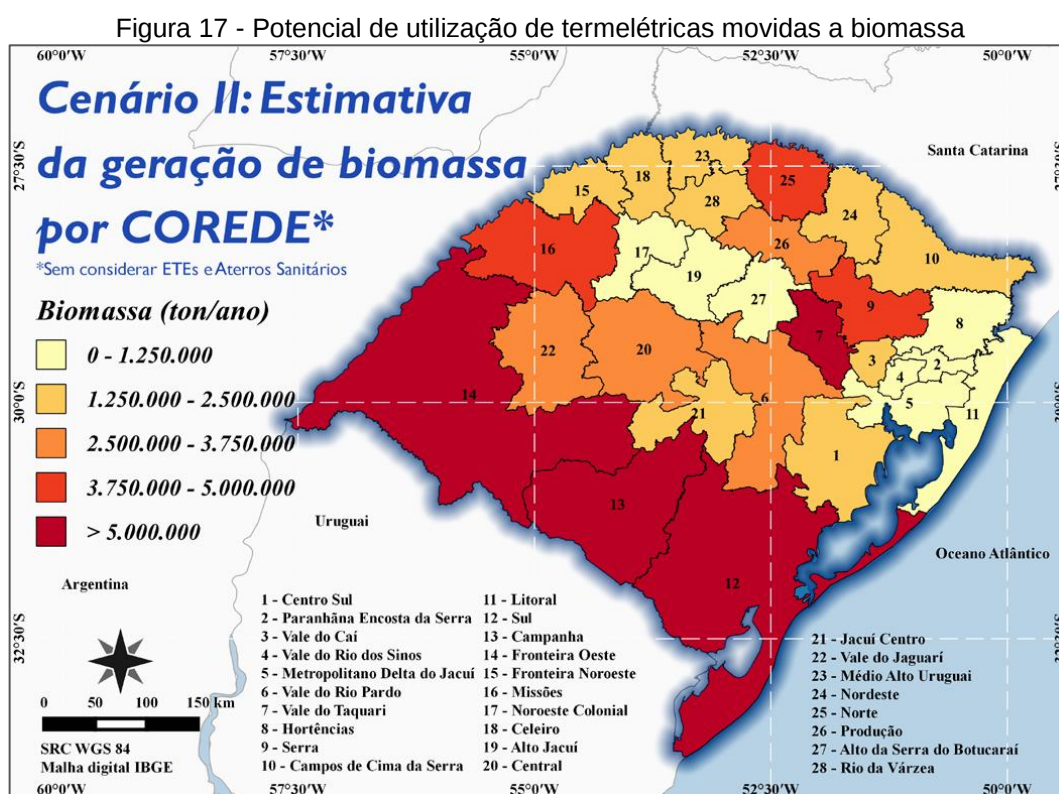


Fonte: Adaptado de Camargo Schubert et al. – Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (2014).

A energia proveniente de termelétricas com combustível de biomassa iniciou no ano de 1971, no município de Guaíba, segundo registros do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA, 2021). Porém, esse sistema não apresentou grande adesão nos anos posteriores, e as termelétricas movidas a combustível fóssil se sobressaíram no estado. Hoje, das 131 termelétricas em operação apenas 19 fazem uso de biomassa.

Devido às restrições impostas pela Resolução 8, de 30 de janeiro de 2015 e o Projeto de Lei estadual 46/2016 adotou-se para a análise o Cenário II proposto pelo

Atlas Biomassa (2016), que inclui somente biomassas de origem agroindustrial, de vinícolas e os dejetos de animais. Isso porque estas legislações não regulamentam a utilização de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e aterros para a produção de biometano (combustível derivado do biogás). Na Figura 17 pode-se observar a produção de biomassa no RS. Os COREDES que mais contribuem para os quase 82 milhões de toneladas/ano de biomassa são: Fronteira Oeste com 17,19 %, Sul com 9%, Campanha com 7,27%, Vale do Taquari com 7,04% e Serra com 5,87%.

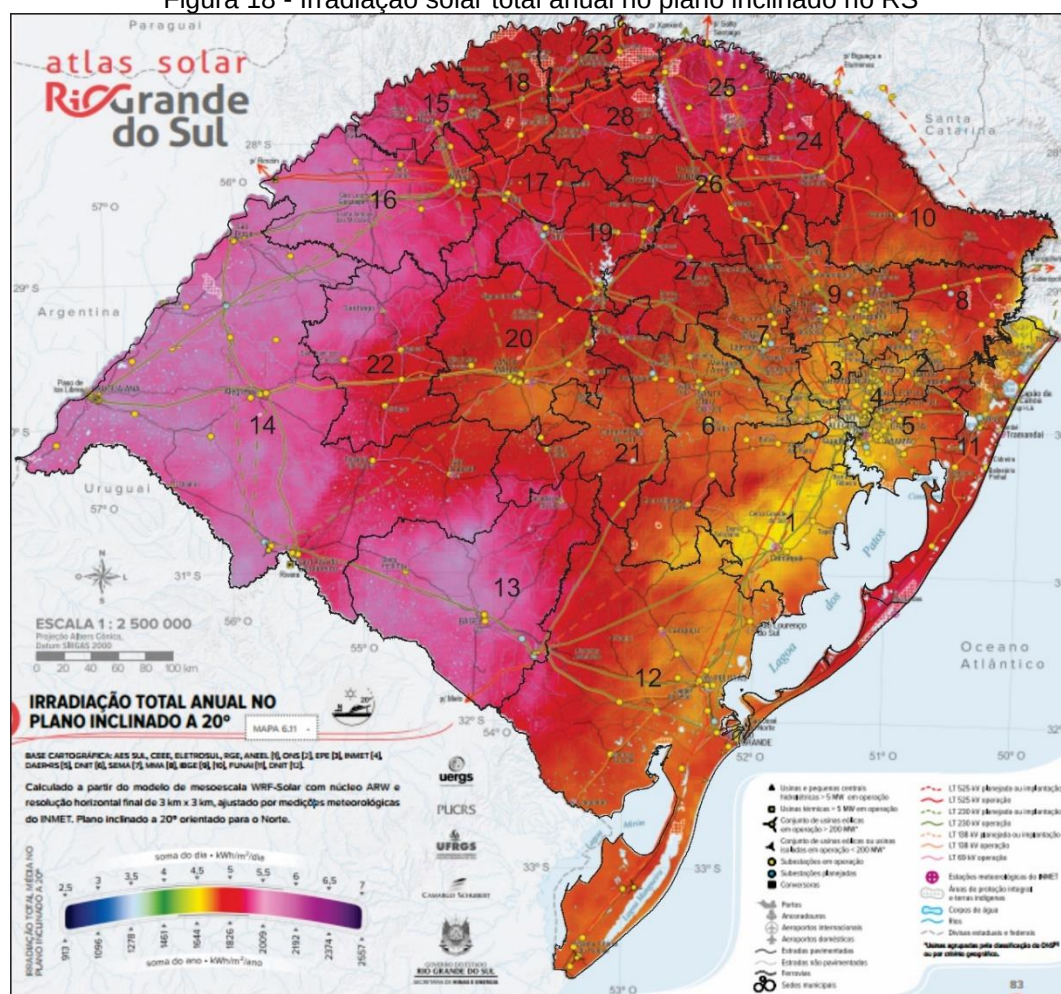


A principal matéria prima da biomassa são os dejetos bovinos que representam 62,48% do total, e é produzido, principalmente, no COREDE Fronteira Oeste. Os dejetos suínos representam 19,68% e se localizam de forma mais expressiva nos COREDES Vale do Taquari e Norte. Os COREDES Serra e Vale do Taquari concentram a maior produção de dejetos de aves que representa 9,91% do total estadual. Os dejetos de ovinos são produzidos com maior destaque no COREDE Fronteira Oeste e representa 2,84%.

As biomassas de origem agroindustrial (2,42%), concentram-se nos COREDES Vale do Taquari e Serra. Os dejetos de equinos (2,38%) são produzidos, principalmente, no COREDE Fronteira Oeste e as biomassas de vinícolas (0,35%),

apresentam maior disponibilidade no COREDE Serra (KONRAD et al., 2016). Um dos fatores que prejudica a utilização da biomassa como fonte energética é a dispersão desse material no território. Visto que é necessário a coleta e transporte a um local estratégico e, conseqüentemente, uma análise logística da viabilidade econômica e ambiental. Por fim, com relação aos locais de maior potencial para a utilização do sistema solar fotovoltaico no RS, é necessário compreender a distribuição dos níveis de irradiação solar no território (Figura 18).

Figura 18 - Irradiação solar total anual no plano inclinado no RS



1 - Centro Sul	9 - Serra	16 - Missões	22 - Vale do Jaguarí
2 - Paranhá Encosta da Serra	10 - Campos de Cima da Serra	17 - Noroeste Colonial	23 - Médio Alto Uruguai
3 - Vale do Caí	11 - Litoral	18 - Celeiro	24 - Nordeste
4 - Vale do Rio dos Sinos	12 - Sul	19 - Alto Jacuí	25 - Norte
5 - Metropolitan Delta do Jacuí	13 - Campanha	20 - Central	26 - Produção
6 - Vale do Rio Pardo	14 - Fronteira Oeste	21 - Jacuí Centro	27 - Alto da Serra do Botucarai
7 - Vale do Taquari	15 - Fronteira Noroeste	21 - Jacuí Centro	28 - Rio da Várzea
8 - Hortências			

Fonte: Adaptado de Camargo Schubert et al. – Atlas Solar do Rio Grande do Sul (2018).

Como pode-se observar a região oeste possui o maior potencial, diferentemente, da região leste (região metropolitana) que recebe os menores índices

de irradiação no Rio Grande do Sul. A utilização de energia solar FV no estado apresentou um significativo crescimento a partir de 2013, ano posterior a regulamentação da energia solar FV na forma de geração distribuída pela REN 482. Em maio de 2021, o estado encontrava-se na 3º posição a nível nacional com uma potência instalada de 703,57 MW, atrás apenas dos estados de Minas Gerais (1.023,29 MW) e São Paulo (712,53 MW) (SISGD, 2021), no que tange a geração distribuída, ou seja, pequenas e numerosas instalações particulares de sistemas solares FV.

A energia solar na forma de geração centralizada, por sua vez, se encontra na 11º posição no estado com 4,31 MW de potência instalada em centrais geradoras com o sistema FV disposto sobre o solo (SIGA, 2021). Ainda com base na análise da Figura 18 observa-se que os COREDES Campanha, Fronteira Oeste, Missões e parte dos COREDES Vale do Jaguari, Fronteira Noroeste, Noroeste Colonial e Alto Jacuí possuem o maior índice de irradiação solar e, conseqüentemente, o maior potencial para a implantação de sistemas fotovoltaicos. Contudo, vale ressaltar que todo o território tem potencial para fazer uso de sistemas FV, pois os níveis de irradiação ainda assim são superiores aos recebidos no território da Alemanha, da Inglaterra ou do Norte da França, países que utilizam largamente este sistema (CAMARGO SCHUBERT. et al, 2018).

2.7 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Antes de adentrar na temática de Geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas (SIG), cabe o entendimento dos conceitos relativos a Geodésia e a Cartografia, instrumentos que são imprescindíveis para a precisão dos resultados na análise do território. Assim, destaca-se que a geodésica é a ciência que tem por objetivo determinar a forma e as dimensões da Terra, bem como os parâmetros definidores de seu campo da gravidade e suas variações temporais (GEMAEL, 1999). Em síntese, existem três tipos de superfícies terrestre: (1) a superfície física (superfície equipotencial de referência): geoide (superfície de referência vertical), (2) a superfície matemática: elipsoide (superfície de referência plani-altimétrica); e (3) a superfície terrestre, onde são realizadas as medições (IBGE, 2019).

Por um período, diferentes sistemas de referência (*Datum*) terrestre foram utilizados, os chamados sistemas geodésicos regionais ou topocêntricos os quais eram adaptados a região (país ou continente), contudo, isso gerava uma imprecisão geoespacial quando confrontado análises realizadas em diferentes sistemas de referência. Com isso, em 25 de fevereiro de 2015, o Sistema de Referência Geocêntrico (que tem origem no centro de massa da Terra) para as Américas (SIRGAS2000) foi adotado, em definitivo, como o referencial geodésico oficial do Brasil, destaca-se que esse sistema tem como embasamento o Sistema Geodésico Elipsóide (BRASIL, 2005).

A Cartografia, por sua vez, conforme o Manual Técnico de Geociências, nº 8 (IBGE,1999), apresenta-se como o conjunto de estudos e operações científicas, técnicas e artísticas que, tendo por base os resultados de observações diretas ou da análise de documentação, se voltam para a elaboração de mapas, cartas e outras formas de expressão ou representação de objetos, elementos, fenômenos e ambientes físicos e socioeconômicos, assim como a sua utilização.

Nesse sentido, existem diferentes tipos de projeções cartográficas (Peters, Mercator, Mollweide, Goode, Azimutal, Albers, etc.) as quais tem como objetivo representar parte ou a totalidade da Terra sobre uma superfície plana (IBGE, 2019). Somado a isso o Manual Técnico em Geociências nº 14 (IBGE, 2019), destaca que as projeções cartográficas são classificadas, principalmente, quanto à superfície de projeção e suas propriedades. Quanto à superfície, elas são classificadas em: plana, cônica e cilíndrica, e as propriedades são classificadas em:

- Equidistantes: são as que não apresentam deformações lineares, isto é, os comprimentos são representados em escala uniforme. Dentre as representações usuais de Mapas mundi utiliza-se a projeção cilíndrica equidistante;
- Equivalentes: não deformam as áreas, isto é, as áreas na carta guardam uma relação constante com as suas correspondentes na superfície da Terra. As projeções equivalentes são utilizadas para cálculo de áreas oficiais, por exemplo, para o cálculo das áreas das Unidades da Federação e dos municípios, é utilizada a projeção equivalente de Albers;

- Conforme: são as que não deformam os ângulos e, decorrente dessa propriedade, não deformam também a forma das pequenas áreas. As projeções conformes, por conservarem os ângulos, são utilizadas na navegação marítima e aérea.
- Afiláticas: são aquelas em que os comprimentos, as áreas e os ângulos não são conservados. Entretanto, podem possuir uma ou outra propriedade que justifique sua construção, tal como distorcer ao mínimo comprimento, área ou ângulo. São exemplos as projeções de Robinson e a cilíndrica de Miller.

Assim, a escolha prévia da projeção adequada para o objetivo pretendido é um dos principais passos para se obter êxito com as informações a serem colhidas por meio de mapas ou representações gráficas (SILVA et al., 2008). Desse sentido, com o precedente conhecimento dessas diferenciações no entendimento e representação da Terra, parte-se para os conceitos de Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica (SIG).

De acordo com Câmara e Medeiros (1998), o termo Geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. De modo geral, pode ser entendido como todas as tecnologias utilizadas para aquisição, processamento, armazenamento, manutenção, interpretação e/ou análise de dados e informações georreferenciadas (DOMINGUES; SIMÕES, 2007).

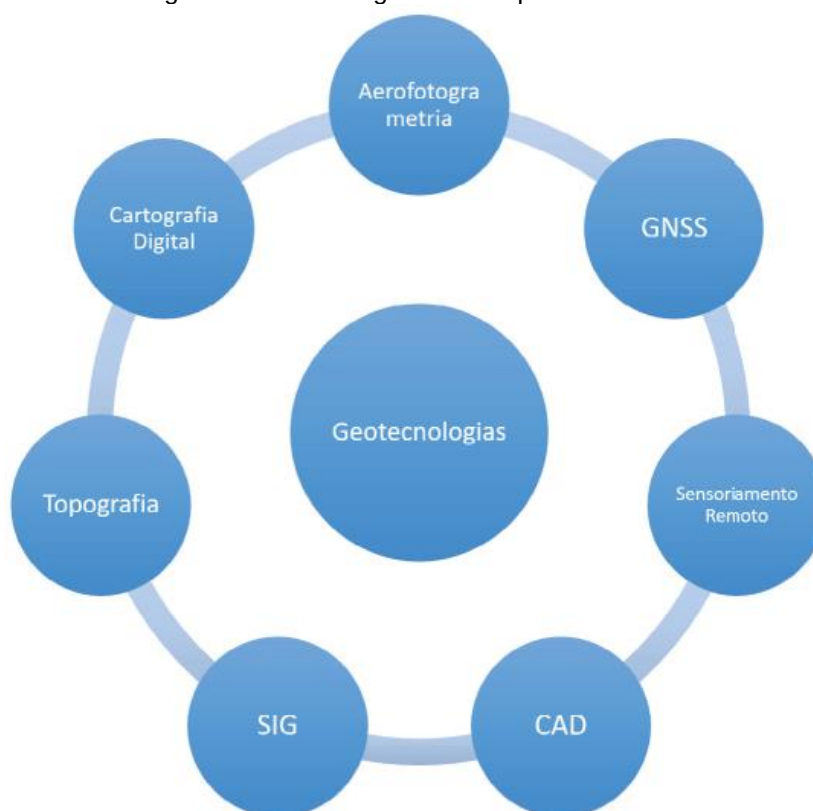
O objetivo principal do Geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e a interrelação entre diferentes fenômenos e identificar a dimensão e localização na superfície terrestre, em determinado instante ou período de tempo de um dado geográfico ou geoespacial (SILVA et al., 2008).

Essa tecnologia, tem influenciado de maneira crescente as áreas de Cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional (CÂMARA; MEDEIROS, 1998), sendo que, uma das riquezas do conceito e aplicações de SIG está na sua multidisciplinaridade, onde todas as áreas do conhecimento podem ser correlacionadas para modelarmos os fenômenos espaciais (IBGE,2019). Com isso, a tecnologia de SIG representa uma

convergência entre diferentes disciplinas que tem a localização geográfica como seu objeto de estudo (MARTIN, 1996 *apud* MIRANDA, 2015).

Conforme o Manual Técnico em Geociências nº 14 (IBGE, 2019), entre essas tecnologias e métodos que se destacam no Geoprocessamento tem-se: topografia, cartografia digital, SIG, *Computer Aided Design* - CAD, Sistemas Globais de Navegação por Satélite (*Global Navigation Satellite System* - GNSS), sensoriamento remoto de imagens orbitais (satélite) e não orbitais (fotogrametria), conforme ilustra a Figura 19.

Figura 19 - Tecnologias de Geoprocessamento



Fonte: IBGE, 2019.

Conforme Câmara e Medeiros (1998), o entendimento da tecnologia de Geoprocessamento requer uma descrição dos diversos tipos de dados utilizados no Sistema de Informação Geográfica (SIG), e de suas representações geográficas computacionais. Assim, os tipos de dados que as tecnologias de Geoprocessamento utilizam e manipulam, de acordo com o Manual Técnico em Geociências nº 14 (IBGE, 2019), são as seguintes:

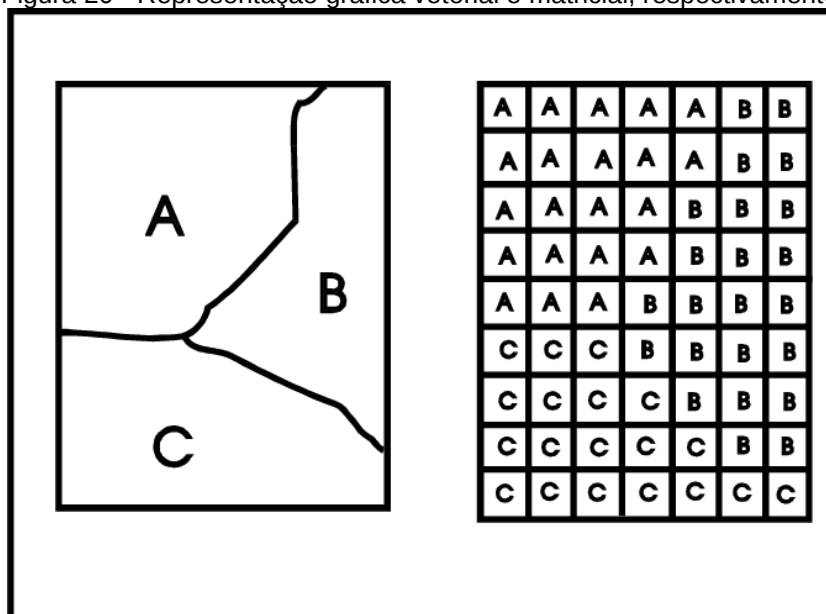
- Dados de referência e cadastrais: é a parte espacial de referência para o SIG, armazenada em forma de coordenadas, podendo ser vetorial ou matricial, e seus atributos não gráficos são armazenados em um banco de dados;
- Dados temáticos: admitem tanto representação matricial quanto vetorial, e são dados referentes à temática a ser abordada no SIG, podendo ser dados estatísticos, de vegetação, de uso do solo, de geologia, entre outros;
- Redes: são parte dos dados de referência e temáticos que são armazenados em forma de coordenadas vetoriais, com a topologia arco-nó e seus atributos não gráficos são guardados em um banco de dados;
- Imagens de sensoriamento remoto: são insumos tanto para mapeamento de referência, quanto para mapeamento temático, e são armazenadas em representação matricial. Por exemplo: imagens do território - um conjunto de imagens da superfície da Terra obtidas por sensores a bordo de satélites artificiais (imagens de satélites) ou aeronaves (fotografias aéreas), também inclui fotografias da paisagem;
- Modelos digitais de elevação (MDE): modelos digitais que representam as altitudes da superfície topográfica agregada aos elementos geográficos existentes sobre ela, como cobertura vegetal e edificações;
- Modelo digital de terreno (MDT): modelos digitais que representam as altitudes da superfície topográfica, desconsiderando as alturas dos elementos geográficos existentes sobre ela, como cobertura vegetal e edificações;
- Dados tabulares: são dados associados ou não aos dados gráficos ou espaciais, na estrutura vetorial, que podem contemplar diferentes informações descritivas e complementares das entidades espaciais.

Com base em Câmara e Medeiros (1998), Silva et al. (2008) e IBGE (2019), existem duas classes de representações computacionais de mapas: vetoriais e matriciais, conforme Figura 20. No formato vetorial, o desenho é representado por

vetores (ou, mais especificamente, por pontos, linhas e polígonos), no formato matricial (*raster*), os desenhos são representados por meio de células de tamanho igual (*pixel* ou *Picture elements*) (SILVA et al.,2008). Isso se dá em formato de malha, onde a cada célula é atribuído um valor que representa uma classe, elemento ou variação das camadas do mapa (IBGE,2019).

O formato vetorial é mais preciso na representação gráfica, porém, não fornece de forma direta informações sobre relações de vizinhança dos objetos, havendo, a necessidade de geração e armazenamento de uma informação topológica (relações entre objetos). A matricial permite identificar rapidamente relações de vizinhança entre objetos, contudo, cada célula pode representar uma área muito grande, o rigor no posicionamento e na representação gráfica dos objetos pode ficar prejudicado (SILVA et al, 2008).

Figura 20 - Representação gráfica vetorial e matricial, respectivamente.



Fonte: Câmara e Medeiros, 1998.

Cabe destacar que a representação geográfica do relevo pode ser obtida por meio das duas representações sendo que os Modelos Numéricos de Terreno (MNT) são disponibilizados no formato matricial através de uma grade regular. Já no formato vetorial, isso se dá por meio de malhas ou grades triangulares ou *Triangular Irregular Network (TIN)* com topologia do tipo nó-arco e representam uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas (CÂMARA; MEDEIROS, 1998 e IBGE, 2019). Além disso, há a representação dos atributos não-espaciais dos dados

geográficos os quais são entendidos como qualquer informação descritiva (nomes, classificações, números, tabelas e textos) relacionada com um único objeto, elemento, entidade gráfica ou um conjunto deles, que caracteriza um dado fenômeno geográfico (CÂMARA; MEDEIROS, 1998 e IBGE, 2019).

Diante da diversidade de dados passíveis de serem trabalhados no ambiente SIG, é necessário a utilização de um banco de dados, muitas vezes também chamado de base de dados. Segundo Medeiros e Pires (1998), um banco de dados consiste em um conjunto de arquivos estruturados de forma a facilitar o acesso a um conjunto de informações que descrevem determinadas entidades do mundo .

Para Miranda (2015), a base de dados ocupa posição de destaque no SIG. Trata-se de uma coleção de mapas e informações associadas na forma digital. Desde que a base de dados se relacione com elementos da superfície da Terra, ela pode ser vista como formada por dois elementos – uma base de dados espacial descrevendo a geografia (forma e posição) de elementos da superfície da Terra e uma base de dados com os atributos descrevendo as características ou qualidades destes elementos (MIRANDA, 2015).

Silva et al. (2008) salientam que a relação de elementos e atributos pode gerar um conjunto de informações temáticas, e assim serem gerenciadas por meio de “temas” ou “camadas” que, conseqüentemente, constituem a base de dados de um SIG. Miranda (2015), destaca que a quantidade de dados está em constante expansão, o uso difundido de satélites de sensoriamento remoto (nacionais e estrangeiros) os programas nacionais de mapeamento e colaboração internacional contribuem para o aumento desse volume de dados.

Assim de acordo com Miranda (2015), um ponto-chave que diferencia um SIG de outros sistemas informação é a utilização de atributos (espaciais ou não-espaciais), pois isso torna necessário prover meios de consultar, atualizar e manusear essas informações, o que pode ser feito com o sistema SIG. Nesse contexto, o Sistema de Informações Geográficas (SIG ou GIS, da terminologia em inglês *Geographical Information System*) se coloca como uma ferramenta de fundamental importância no reconhecimento geográfico do território.

Silva et al., (2018), entendem que o SIG exerce um papel de integrador de tecnologias de campos diversificados e apresenta uma razoável variedade de tipos concebidos para diferentes finalidades, e que não é possível estabelecer uma definição única e universal para esse sistema. Para os mesmos autores, um SIG

envolve elementos de *software* e *hardware* que permite criar bases de dados sobre as quais é possível efetuar inúmeras tarefas, tais como aquisição, verificação, manipulação, compilação, armazenamento, atualização, alteração, gerenciamento, apresentação, combinação ou análise.

Miranda (2015), destaca que foi em meados de 90 que surgiram os primeiros trabalhos nos quais o SIG era o foco primário. Ao afirmar que a tecnologia SIG é relativamente nova, precisa-se informar que as principais formações dos envolvidos eram em cartografia, geografia, sensoriamento remoto, engenharia, matemática, estatística, e a relativamente recente ciências da computação também foi um dos pilares de desenvolvimento do sistema (MIRANDA, 2015).

Entre os objetivos que nortearam o SIG destaca-se o interesse no manejo dos recursos naturais, planejamento urbano e regional, o cadastro e taxação de propriedades, a gerencia dos serviços públicos (telefonia, eletricidade, gás etc.), táticas militares e outros mais (MIRANDA, 2015). Os SIG fundamentam-se no fato de que um objeto no espaço geográfico pode ser descrito por meio de um sistema de coordenadas (latitude, longitude e altitude, ou sistema de coordenadas relativas), de suas propriedades (atributos) e de suas relações (topologia), compondo, desta forma, um conjunto de dados espaciais e não-espaciais (SILVA et al., 2008).

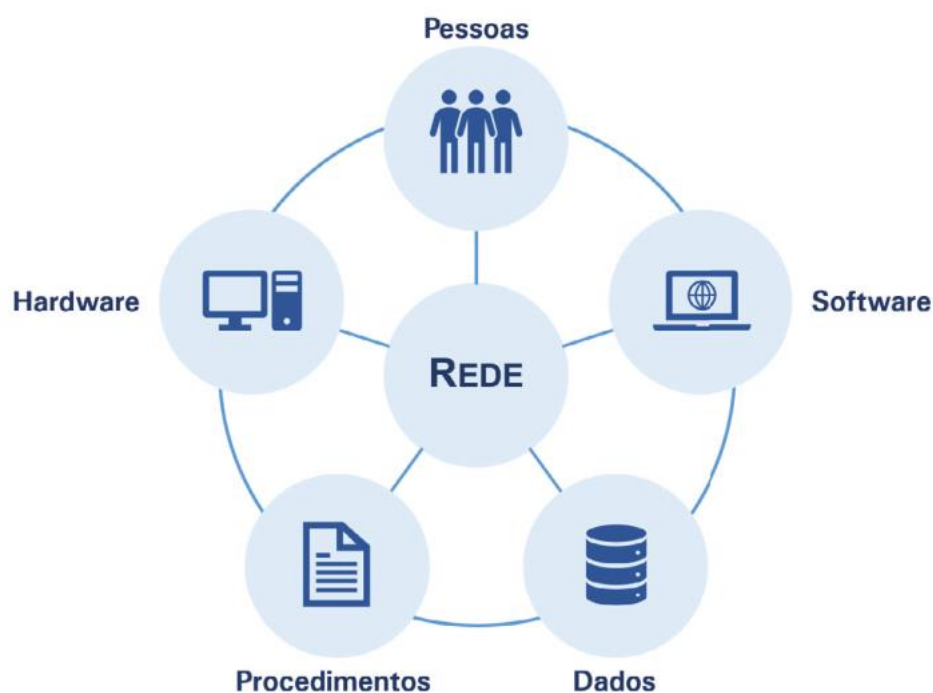
Sánchez-Lozano et al. (2013), definem SIG como uma ferramenta para consultoria, análise e edição de dados, mapas e informações espaciais em geral. São sistemas de computador (*hardware* e *software*) usados para análise, consultoria, desenvolvimento, manipulação, armazenamento ou, em suma, para manipulação de informações geográficas. Portanto, SIG são sistemas que trabalham com bancos de dados de informações geográficas para a resolução de complexos problemas de planejamento e gestão (SÁNCHEZ-LOZANO et al., 2013). Já conforme Miranda (2015), a abordagem (aceita por ele, e que parece ser a mais aceita genericamente pela comunidade SIG) é a que enfatiza a importância da análise espacial que pode ser realizada com um SIG e se concentra na análise e modelagem na qual o SIG é mais visto como uma ciência da informação espacial do que uma tecnologia.

Assim, pode-se dissecar cada palavra do acrônimo SIG, sendo que a palavra Sistema (S) indica que o SIG é feito de vários componentes inter-relacionados e ligados com diferentes funções. Desta maneira, um SIG tem capacidade funcional para entrada de dados, manuseio, transformação, visualização, combinação, consultas análises modelagem e saída. A palavra Informação (I) pressupõe que os

dados no SIG estejam organizados para produzir conhecimento útil, na forma de mapas e imagens, estatísticas, gráficos etc. A palavra Geográfica (G) implica conhecimento da localização dos itens de dados, ou que eles possam ser calculados em termos de coordenadas geográficas (latitude, longitude) (BONHAM-CARTER, 1997 *apud* MIRANDA, 2015)

Por fim, o Manual Técnico em Geociências nº 14 (IBGE, 2019), faz referência a definição de Teixeira (1995), que entende SIG como um conjunto de programas (*softwares*), equipamentos (*hardware*), metodologias (procedimentos), dados e pessoas (usuário), perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação (IBGE, 2019). Além disso, o Manual Técnico em Geociências nº 14 (IBGE, 2019) destaca o trabalho de LONGLEY et al. (2013), que apresenta os componentes do SIG, em que a rede é o componente mais recente e integrador de todo o sistema, sendo possível, a integração de dados e de sistemas, o armazenamento e o processamento remoto e em nuvem (Figura 21).

Figura 21 - Componentes do SIG



Fonte: IBGE, 2019.

Silva et al., (2008), destacam que existem várias formas de utilização do SIG, podendo ser como um sistema de processamento de dados para a visualização de mapas, como um sistema de análise de dados para projeto e planejamento de espaços, como um sistema de obtenção de informações a respeito de determinado local, como um sistema de suporte a decisões, etc. Além de possuírem inúmeras ferramentas de análise incorporadas, os SIG ,cada vez mais, assumem destaque pelo fato de se constituírem em uma plataforma sobre a qual se pode desenvolver e incorporar novas técnicas e métodos de planejamento territorial (SILVA et al., 2008).

Conforme o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2002), através do cruzamento e superposição de dados espaciais, de diferentes origens e formatos, previamente selecionados, essa ferramenta permite agilizar os procedimentos de mapeamentos temáticos, antes onerosos e demorados. Além disso, o trabalho com bases tabulares e gráficas digitais possibilita uma permanente atualização das informações, com a edição periódica de mapas ou a confecção de mapas interativos.

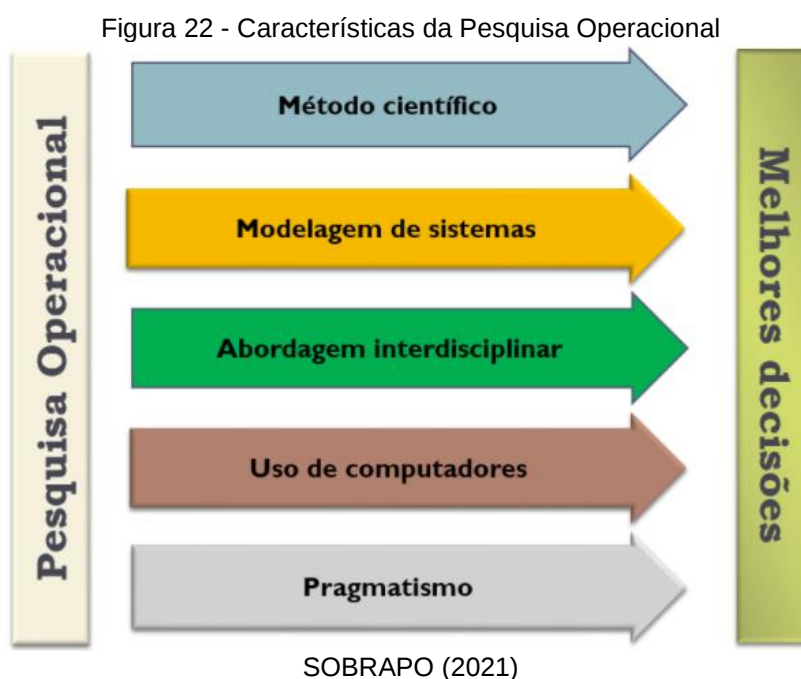
Assim, independentemente de suas inúmeras definições e finalidades, os SIG apresentam como característica comum a capacidade de tratar e armazenar as relações topológicas entre os objetos, permitindo sua apresentação em diferentes sistemas de coordenadas (SILVA et al., 2008). Existem diversas plataformas de SIG no mercado, cada um com seus propósitos, limitações e vantagens, e na prática, sua função depende do uso específico que lhe está sendo dado (SILVA et al., 2008).

2.8 PESQUISA OPERACIONAL (PO) E APOIO MULTICRITÉRIO DE DECISÃO (AMD)

Silva et al. (2008), salienta que, de modo geral, os processos de decisão pretendem satisfazer um ou múltiplos objetivos e são desenvolvidos com base na avaliação de um ou vários critérios, no processo de decisão é frequente que diversos critérios tenham de ser avaliados e combinados. Nesse contexto, a Pesquisa Operacional (PO) é a área do conhecimento que estuda, desenvolve e aplica métodos analíticos avançados para auxiliar na tomada de melhores decisões nas mais diversas áreas de atuação humana (SOBRAPO, 2021), as características da PO podem ser compreendidas na Figura 22.

Santos (2020), salienta que várias linhas de pesquisas se concentram dentro da PO como, por exemplo, a simulação, o apoio multicritério a decisão (AMD), a

estatística, a análise envoltória de dados, a teoria das filas, a programação matemática, etc. As etapas para a resolução de um problema usando a PO, consistem em: (1) Entendimento do Problema, (2) Determinação das Medidas de Eficácia Operacional (mediana, moda, desvio padrão, etc.), (3) Elaboração do Modelo (4) Refinamento do Modelo (variáveis entram e saem), (5) Validação do Modelo (Será que realmente tem aderência com a realidade?), (6) Implementação (ou não) da solução (SANTOS, 2020).



Historicamente, esses métodos ganharam destaque no período da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), principalmente, nos EUA liderados por Philip Morse e na Inglaterra liderados por Patrick Blackett. Ao fim da guerra, Philip Morse, compilou esses métodos no livro intitulado *Methods of Operations Research*, sendo esse um marco para a PO e para os métodos de Apoio a Tomada de Decisão (AMD).

Em geral, os modelos e métodos de AMD possuem como características os múltiplos critérios, os conflitos entre os critérios e as unidades de medida diferentes, sendo necessário o processo de normalização para que toda a matriz fique adimensional e, conseqüentemente, possa haver um comparativo entre as alternativas. Assim, pode-se definir a teoria da decisão como um conjunto de procedimentos e métodos de análise que procuram assegurar a coerência, a eficácia e a eficiência das decisões tomadas em função das informações disponíveis, antevendo cenários e possíveis alternativas (GOMES, L.; GOMES, C., 2019).

Silva et al. (2008), definem Decisão como a escolha entre alternativas. Por exemplo, a escolha entre três classificações de aptidão (alta, média e baixa) para determinado uso do solo. O Critério, por sua parte, representa uma condição que se pode quantificar ou avaliar e que contribui para a tomada de decisão. É, portanto, a medida de uma evidência que, entre outras, serve de base para a decisão. Os critérios podem ser de dois tipos: restritivos (exclusão) ou ponderação (fatores).

Os critérios restritivos limitam as alternativas consideradas na análise, identificando previamente o que é caracterizado como “não-aptó”, já os critérios de ponderação acentuam ou diminuem a aptidão de determinada alternativa para o objetivo da causa. Normalmente, essa aptidão é medida em uma escala contínua, de forma a abranger todo o espaço de solução inicialmente previsto. Um exemplo, de critério de ponderação é quanto maior a distância a uma rodovia existente, menor a aptidão do solo para localizar uma indústria (SILVA et al. 2008).

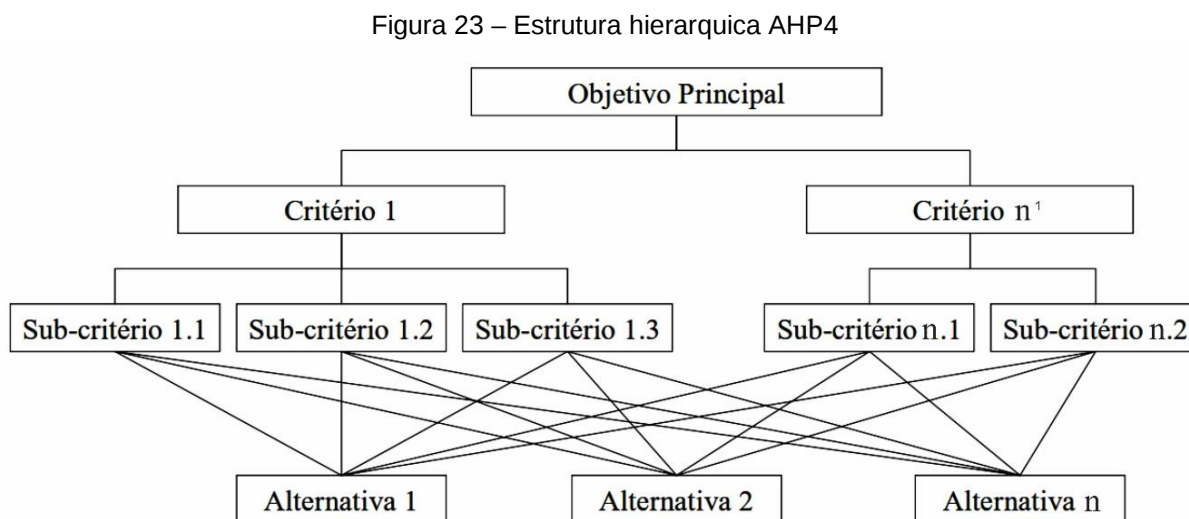
A principal dificuldade encontrada em um processo de decisão que envolve múltiplos critérios é a forma como se deve quantificar a importância relativa de cada um deles, ao que se soma o fato de os mesmos possuírem graus de importância variáveis para diferentes decisores. Portanto, é necessário definir qual a importância relativa de cada critério no processo de decisão, o que é feito normalmente atribuindo determinado peso a cada critério interveniente (SILVA et al. 2008).

Existem diferentes vertentes de AMD, contudo, as principais linhas são a Escola Americana sendo representada pelos métodos Borda, Copeland, AHP, ANP, TOPSIS, MACBETH, dentre outros, e a Escola Francesa com os métodos Condorcet, PROMETHEE, ELECTRE, etc. Silva et al. (2008), apresentam quatro métodos que podem ser utilizados para a atribuição de pesos as alternativas, sendo eles: fundamentados no ordenamento de critérios, em escalas de pontos, na distribuição de pontos, e uma forma mais complexa, porém, também mais promissora é a comparação par a par.

Nesse sentido, cada método possui suas particularidades e limitações e cabe ao decisor identificar o qual possui uma melhor estruturação para auxiliar na resolução do problema abordado. A presente pesquisa irá utilizar a abordagem par a par proposta pelos métodos da Escola Americana AHP e TOPSIS. Entretanto, o uso destes métodos, de forma híbrida, se dará com a aplicação do método AHP-TOPSIS-2N.

2.8.1 Processo Hierárquico Analítico (AHP)

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método para auxiliar as pessoas na tomada de decisões complexas qualitativas e quantitativas, baseado em matemática e psicologia, que foi desenvolvido na década de 1970 pelo Prof. Thomas Saaty, então na Escola Whaston da Universidade da Pensilvânia (SILVA, 2020). De acordo com Silva (2020) e Gomes, L. e Gomes, C. (2019), este é um dos primeiros métodos dedicados ao ambiente de decisão multicritério e, hoje, talvez o mais extensivamente usado em todo o mundo. Neste método o problema de decisão é decomposto em níveis hierárquicos, facilitando sua compreensão e avaliação, como pode-se observar na Figura 23.



Fonte: Adaptado de Oliveira e Belderrain (2008).

O método AHP tem sido amplamente aplicado na solução de uma variedade de problemas, entre os quais as aplicações relacionadas ao planejamento de energia e a capacidade de carga de instalações de energia renovável. Em 2004, Pohekar e Ramachandran, após uma revisão de mais de 90 estudos publicados, concluíram que o método AHP foi a técnica mais utilizada em estudos de energia sustentável, seguido das técnicas PROMETHEE e ELECTRE.

Wang et al. (2009), também destacam a técnica AHP como o método de decisão multicritério mais popular que tem ajudado a obter resultados racionais que

⁴ Entende-se por n um número finito de critérios e alternativas, contudo, sendo um valor variável.

auxiliam os processos de tomada de decisão para a área de energia sustentável. Essa técnica consiste em uma matriz quadrada $n \times n$, de comparação entre n critérios, em que as linhas e colunas correspondem aos critérios conforme Figura 24.

Quadro 4 - Matriz de comparação par a par

	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D
Critério A	1	2	3	5
Critério B	1/2	1	2	4
Critério C	1/3	1/2	1	1/3
Critério D	1/5	1/4	1/3	1

Fonte: Adaptado de GODOI (2014).

O estabelecimento de comparações par a par para todos os critérios necessita da definição de uma escala, destinada a normalizar todas as comparações efetuadas, Saaty (1980), propôs uma escala de comparação de critérios com nove níveis numéricos que pode ser observada na Figura 24.

Figura 24 - Escala de Saaty (1980) com os pesos fundamentais para o julgamento comparativo

Escala Numérica	Definição	Explicação
1	Igual importância	Os dois critérios contribuem de forma idêntica para o objetivo.
3	Pouco mais importante	a análise e a experiência mostram que um critério é um pouco mais importante que o outro.
5	Muito mais importante	a análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro.
7	Bastante mais importante	a análise e a experiência mostram que um dos critérios é predominante para o objetivo.
9	Extremamente mais importante	sem qualquer dúvida um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo.
2,4,6,8	Valores intermediários	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes.

Fonte: Adaptado de Silva (2008).

Após esse entendimento inicial, o processo para a determinação dos pesos ocorre ao longo de seis etapas interdependentes as quais estão representadas na Figura 25.

Figura 25 – Sequência para a aplicação do método AHP

Ordem	Nº Eq.	Equação	Descrição da Equação
1º Passo	Eq. 1	$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{n4} \end{vmatrix}$	Formação das matrizes de decisão. Expressa o número de vezes em que uma alternativa domina ou é dominada pelas demais (ARAYA, CARIGNANO E GOMES, 2004).
2º Passo	Eq. 2	$W_i = \left(\prod_{j=1}^n W_{ij} \right)^{1/n}$	Cálculo do Autovetor (Wi). Consiste em ordenar as propriedades ou hierarquias das características estudadas (COSTA, 2006).
3º Passo	Eq. 3	$T = \left \frac{W_1}{\sum W_i} : \frac{W_2}{\sum W_i} : \frac{W_3}{\sum W_i} \right $	Cálculo de Normalização dos Autovetores possibilita a comparabilidade entre os critérios e alternativas (COSTA, 2006).
4º Passo	Eq. 4	$\lambda_{\text{máx.}} = T \times W$	Índice que relaciona os critérios da Matriz de Consistência e os pesos dos critérios (COSTA, 2006).
5º Passo	Eq. 5	$IC = \frac{\lambda_{\text{máx.}} - n}{(n - 1)}$	Índice de Consistência (IC). Permite avaliar o grau de inconsistência da matriz de julgamentos paridos (COSTA, 2006).
6º Passo	Eq. 6	$RC = \frac{IC}{CA}$	Razão de Consistência (RC). Permite avaliar a inconsistência em função da ordem da matriz de julgamentos. Caso o valor seja maior que 0,10 revisar o modelo e/ou os julgamentos (COSTA, 2006).

Fonte: Santos (2020).

Caso, ao concluir o 6º passo o resultado seja superior a 0,1 é necessário reavaliar e/ou refazer o processo, uma vez que, esse é o grau de inconsistência máximo admissível para validar a matriz. Se inferior a 0,1 a síntese dos julgamentos é obtida com um resultado da recomposição hierárquica com a finalidade de encontrar a melhor decisão.

2.8.2 Técnica para Ordem de Preferência por Similaridade com a Solução Ideal (TOPSIS)

O algoritmo TOPSIS (do inglês, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) foi criado por Hwang e Yoon (1981), com o objetivo de fornecer apoio para o tomador de decisão no processo de fazer a escolha entre múltiplos atributos (SANTOS, 2020). Segundo Carpinetti (2020), TOPSIS é aplicável em problemas de decisão que se caracterizam por: (1) múltiplos critérios de avaliação, (2) critérios com diferentes pesos (3) critérios e pesos expressos de forma numérica, (4) múltiplas alternativas a serem avaliadas, (5) múltiplos decisores, (6) compensação de

desempenho entre critérios. Os procedimentos e equações para a análise TOPSIS consistem nas etapas descritas na Figura 26.

Figura 26 - Sequência para a aplicação do método TOPSIS

Ordem	Nº Eq.	Equação	Descrição da Equação
1º Passo	Eq. 1	$D = \begin{matrix} & C_1 & \dots & C_n \\ A_1 & X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_m & X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{matrix}$	Definição da Matriz de Decisão que consiste de alternativas (A_1, A_n) e critérios (C_1, C_n).
2º Passo	Eq. 2	$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ $\sum_{j=1}^n w_j = 1$	Atribuição dos pesos de cada critério, definido pelo tomador de decisão. Em geral, os critérios de avaliação são classificados em dois tipos: benefício e custo.
3º Passo	Eq. 3	$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$	Normalização da Matriz de Decisão, isso transforma a matriz em adimensional, logo, permite a comparação entre todos os critérios.
4º Passo	Eq. 4	$p_{ij} = w_j r_{ij}$	Construção da Matriz de Decisão Normalizada Ponderada
5º Passo	Eq. 5	$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_m^+)$ $A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_m^-)$	Determinação da Solução Ideal Positiva (SIP) e da Solução Ideal Negativa (SIN)
6º Passo	Eq. 6	$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (d_{ij}^+)^2}$ $d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (d_{ij}^-)^2}$ $d_i^+ = p_j^+ - p_{ij} \quad d_i^- = p_j^- - p_{ij}$	Cálculo das medidas das distâncias euclidianas entre A_i e A^+ (benefícios) e entre A_i e A^- (custos).
7º Passo	Eq. 7	$\xi_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$	Cálculo da Proximidade Relativa x_i para cada alternativa A_i com relação à solução ideal positiva A^+ .
8º Passo		Classificação segundo a proximidade relativa (<i>ranking</i>).	Ordenação das preferências, as melhores alternativas são aquelas que têm o maior valor de x_i e, portanto, devem ser escolhidas por estarem mais próximas a solução ideal.

Fonte: Autora, com base em Santos (2020) e Gomes; Gomes (2019).

Assim, o resultado é baseado no conceito de que a alternativa escolhida deve ter a menor distância da Solução Ideal Positiva (SIP) e a maior distância da Solução Ideal Negativa (SIN), ou seja, a classificação final é obtida por meio do cálculo da proximidade relativa, das alternativas às soluções entendidas como ideal e anti-ideal pelo método. Deste modo, problemas práticos são muitas vezes caracterizados por questões contraditórias, e com o auxílio do método é possível identificar, simultaneamente, tanto a melhor quanto a pior solução entre os critérios e alternativas analisados.

2.8.3 Software AHP-TOPSIS-2N

Segundo Colombo, Santos e Gomes (2019), o método AHP-TOPSIS-2N é um método matemático híbrido constituído por duas técnicas de tomada de decisão multicritério que são usualmente adotadas em cenários complexos, caracterizados pela presença de objetivos múltiplos e conflitantes. Foi desenvolvido em parceria entre pesquisadores do Instituto Militar de Engenharia (IME), do Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) e da Universidade Federal Fluminense (UFF) no ano de 2018. Consiste, basicamente, em um método que utiliza os já existentes métodos multicritérios AHP e TOPSIS, contudo, de uma forma híbrida de modo que um complementa o outro, visto que, o método TOPSIS exige desde o seu princípio a aplicação de pesos para os diferentes critérios.

Entretanto, Santos (2020), destaca que a aplicação dos pesos no Passo 3 no método TOPSIS, por vezes, torna-se subjetivo ou nem sempre o decisor está seguro na aplicação desses pesos. Nesse sentido, recorre-se, então, ao método AHP para gerar os pesos com o auxílio da Escala Fundamental de Saaty (Figura 24), os pesos resultantes desse processo aplicam-se no método TOPSIS gerando, assim, a ordenação dos critérios. Já o 2N faz referência a utilização de duas normalizações diferentes para gerar a ordenação. Destaca-se que as quatro normalizações que mais se destacam na literatura de acordo com Santos (2020), estão representadas no Quadro 6

Quadro 5 - Fórmulas de Normalização

Equação	Fórmula	Valor V genérico do vetor normalizado	Conserva a proporcionalidade?
1	$a_{ij} / \text{máx } a_{ij}$	$0 < V \leq 1$	Sim
2	$(a_{ij} - \text{mín } a_{ij}) \div (\text{máx } a_{ij} - \text{mín } a_{ij})$	$0 \leq V \leq 1$	Não
3	$a_{ij} / \sum a_{ij}$	$0 < V < 1$	Sim
4	$a_{ij} / (\sum a_{ij}^2)^{0,5}$	$0 < V < 1$	Sim

Santos (2020).

No método AHP-TOPSIS-2N ao invés de usar apenas a normalização do método TOPSIS (Equação 4) utiliza-se também a normalização da Equação 2. Dessa forma, é possível tornar o método mais robusto e validar se o ranking das alternativas está coerente já que a ordem deve se manter a mesma no resultado das duas normalizações. Considerando que a parte matemática deste método apresenta certa complexidade para ser realizado de forma manual, os resultados do método AHP-TOPSIS-2N foram obtidos a partir de um *software* desenvolvido em linguagem de programação *Python* por Ribeiro, Santos e Gomes (2019).

A utilização dessa ferramenta é de uso livre, sendo acessível e reconhecida para sua aplicação em diferentes análises multicritérios como as realizadas por Martins, Fraga, Ávila e Santos (2020), para auxiliar na aquisição de uma Viatura Blindada Multitarefa Leve sobre Rodas (VBMT-LR) para o Exército Brasileiro; C. Oliveira, Oliveira, Gomes e Santos (2020), para auxiliar no departamento jurídico da Secretaria Municipal de Saúde de Duque de Caxias; Caitano, Santos e Lopes (2020), para auxiliar na escolha do sistema de transporte urbano de Magé/RJ, entre outros.

Com base nos trabalhos citados, é possível observar a diversidade de problemas em que o método pode ser aplicado, assim como, as diferentes áreas que podem fazer uso do mesmo. Dessa forma, a presente pesquisa irá utilizar o método AHP TOPSIS 2N para identificar os locais com maior potencial para a instalação de parques fotovoltaicos na região do COREDE Central, salienta-se, que o resultado obtido por meio deste método será, posteriormente, aplicado em SIG para a espacialização destas áreas.

2.9 TRABALHOS RELACIONADOS

Na literatura, existem estudos, em diferentes áreas de formação, que utilizam o Apoio de Métodos Multicritérios (AMD) aliado ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) como, por exemplo, a análise do nível de conservação ambiental de bacias hidrográficas (GOMES; BIAS, 2018); o planejamento de redes ciclovárias para a cidade de São Carlos, SP, Brasil (GUERREIRO, 2016); a identificação de alternativas de tratamentos de resíduos (MARCHEZETTI; KAVISKI; BRAGA, 2011), etc. Além disso, Gomes, L.; Gomes, C. (2019), destacam o uso dessa metodologia para resolução de problemas administrativos, políticos, sociais e tecnológicos.

Sendo viável, ainda, outras aplicações desde que o problema possua múltiplas e complexas alternativas, e seja relevante identificar a dimensão e/ou localização de um dado fenômeno na superfície terrestre. Nesse sentido, principalmente na última década, surgiram diversos estudos voltados ao setor de energia elétrica e fontes alternativas renováveis como o realizado por Konstantinos; Georgios e Garyfalos (2019), para identificar a localização de parques de energia eólica na região da Macedônia Oriental e Trácia, na Grécia; a análise de Amir e Daim (2011), para identificar o tipo de fonte energética a ser utilizada no Paquistão, entre outros.

Não obstante, as análises energéticas voltadas ao sistema solar fotovoltaico também se fizeram presente, nesse sentido, cabe mencionar alguns estudos, bem como os métodos aplicados pelos mesmos. Assim, com a utilização do método multicritério AHP combinado com SIG tem-se Carrión et al. (2008), que aplicou essa metodologia para a Província de Granada em Andalusia, na Espanha. O estudo de Xiao et al. (2013), que avaliou os fatores que influenciam na escolha do local para implantação de parques fotovoltaicos no noroeste do deserto na China; Al Garni e Awasthi (2017), que fizeram um estudo para a Arábia Saudita, país também localizado em território desértico.

Watson e Hudson (2015), que realizaram uma análise a nível regional para a área conhecida como Centro-Sul da Inglaterra que está situada na costa sul do Reino Unido, de modo a identificar os melhores locais tanto para instalação de parques solares quanto para parques eólicos. Uyan (2013), que avaliou a região Karapınar que é um distrito da província de Konya na Turquia. Azizkhani et al. (2017), que fizeram o levantamento do potencial para instalação de parques FV para o Irã. Merrouni et al.

(2018), que conduziram uma pesquisa no Marrocos, também com o uso dos métodos AHP e SIG.

Doorga; Rughooputh e Boojhawon (2019), por sua vez, investigaram a melhor localização das instalações fotovoltaicas para a Ilha de Maurício (Mauritius) no Oceano Índico, a cerca de 2.000 km da costa sudeste do continente africano. Para isso, os autores utilizaram o método AHP e o método de combinação linear ponderada (WLC, em inglês) em conjunto com SIG. Sánchez-Lozano et al. (2013), utilizaram os métodos multicritério AHP e TOPSIS em conjunto com SIG para identificar locais para parques fotovoltaicos no sudeste da Espanha.

Observa-se que há diferentes combinações de métodos de acordo com o objetivo e problema abordado, Sindhu; Nehra; Luthra (2017), aplicaram o AHP e TOPSIS para selecionar o local apropriado em um caso indiano. Nessa avaliação, em vez de identificar as áreas adequadas para a instalação dos parques FV o objetivo era identificar os municípios mais propensos a instalação do sistema. Sendo assim, fez-se o uso apenas dos métodos multicritérios não sendo necessário a aplicação de SIG. Os estudos de Wang et al. (2018), utilizaram AHP, TOPSIS e análise envoltória de dados (DEA) para o Vietnã. Akkaş; Arıkan; Çam (2017), optaram apenas pelo método AHP para identificar dentre 3 municípios da Turquia o qual seria o mais adequado para a instalação de sistemas solares fotovoltaicos.

Com ênfase nos autores que trabalharam com AMD em conjunto com SIG, salienta-se que há particularidades entre suas pesquisas, principalmente, por alguns utilizarem camadas restritivas e camadas de ponderação, enquanto outros utilizam apenas camadas de ponderação. Al Garni e Awasthi (2017), apresentam as restrições aplicadas em diferentes estudos para a seleção de local para instalação de parques solares. Complementou-se o estudo desses autores, acrescentando inclusive os critérios utilizados pelos mesmos, como pode-se observar no Quadro 6. Os estudos e seus respectivos autores podem ser consultados no Apêndice A.

Quadro 6 - Critérios restritivos utilizados em estudos similares

Camadas de restrições	Códigos (Apêndice A)
Centros urbanas	[9,15,8,12, 6,13,2,16,10,18]
Áreas protegidas	[1,9,8,12,6,3,10,18,19]
Vegetação nativa e vida selvagem	[18]
Terra cultivada	[6,13,11,14]
Área com alto valor da paisagem	[9,15,8,12,3]
Zonas militares	[9,8,7,12]

Trilhas de gado	[1,9,8,7,12]
Herança cultural	[9,7,12,13,2]
Patrimônio mundial	[18]
Sítios arqueológicos	[9,15,8,7,12,3,2]
Sítios paleontológicos	[9,7,12]
Rede rodoviária e ferroviária	[1,9,15,8,12,6,2,18,19]
Dunas de areia	[2,16]
Desastre natural (área de inundação, etc.)	[3,2]
Área com declive > 5 °	[13,2,10,18,19]
Montanhas	[1,7,12]
Solo macio	[3]
Lugares de interesse da comunidade	[1,9,7,12,3]
Barragens	[2,14]
Área de segurança de voos	[5,18]
Áreas significativas biológicas	[8]
Cursos d'água permanentes	[1,14,18,15,11,12,4,19]
Área de proteção especial para aves	[12,13]
Orientação da terra	[13]
Áreas de assentamento	[18]
Áreas religiosas e turísticas	[18]

Fonte: Al Garni e Awasthi (2017), adaptado e complementado pela autora.

Já com relação aos critérios de ponderação, fez-se o levantamento com embasamento em literaturas da área e identificou-se os quais foram utilizados pelos especialistas. No Quadro 7 pode-se observar o levantamento desses critérios, bem como, os quais se sobressaíram e foram mais aplicados. Com isso, vale ressaltar que os critérios mais utilizados são a capacidade agrícola do solo, a declividade do solo, a distância das principais estradas, a distância das linhas de transmissão e a distância dos centros urbanos, além do potencial de irradiação solar e da temperatura. Destaca-se que os diferentes critérios de ponderação aplicados se adaptam atendendo as características e demandas de cada região, além do objetivo principal da pesquisa.

Quadro 7 - Critérios de ponderação utilizados em estudos similares

Camadas de Ponderação	Códigos (Apêndice B)
Gasto Total do Sistema	[12]
Manutenção do Sistema	[12]
Stress no Sistema Ecológico	[5, 11, 12]
Capacidade Agrícola	[1, 2, 3, 4, 6, 10]
Distância Cursos de Água	[9]
Distância Barragens	[9]
Distância Águas Subterrâneas	[9]
Efeitos Agricultura, Ambiente e Turismo	[11]
Impacto Ruído	[11]

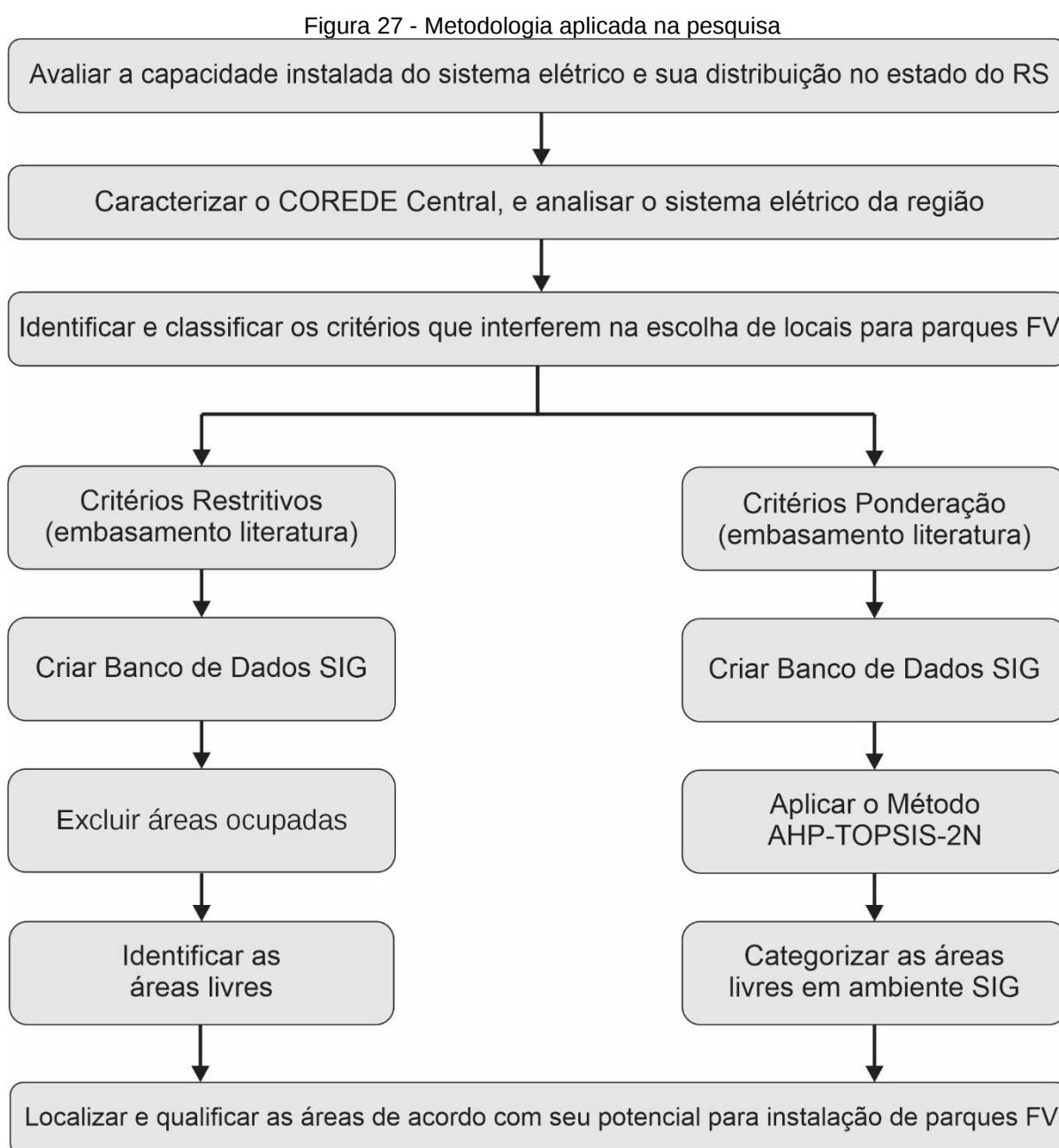
Criação de Empregos	[11]
Aceitação Social	[11]
Mecanismo de Suporte	[12]
Leis de Proteção	[12]
Conformidade Legal e Complementar	[12]
Declividade	[1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 13]
Orientação	[1, 2, 3]
Área Útil Instalação	[3, 8]
Distância das Principais Estradas	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13]
Distância das Linhas de Transmissão	[2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13]
Distância dos Centros Urbanos	[1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11]
Distâncias das Subestações	[1, 3]
Distância C. Históricos (Impacto Visual)	[1, 5, 11]
Acessibilidade	[12]
Potencial de Irradiação Solar	[2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 13]
Temperatura Média	[1, 2, 3, 6, 8, 10, 12, 13]
Irradiação Global Horizontal	[1, 9, 11]
Horas de Sol	[1, 11, 12, 13]
Umidade Relativa	[12, 13]
Elevação	[6, 12, 13]
Vento	[6]
Irradiação Difusa Horizontal	[1, 6]
Irradiação Direta Normal	[6]
Densidade Populacional	[8]
Nível Industrialização	[8]
IFDM Médio	[8]
Demanda da Potência	[12]

Fonte: Autora.

Sendo assim, este levantamento possibilitou uma orientação para a busca de dados e informações, posteriores, para o reconhecimento da região do COREDE Central. Salienta-se, salvo particularidades locais, que apesar destes estudos estarem localizados em diferentes regiões e continentes, há critérios utilizados por eles que se repetem e servem de embasamento para o desenvolvimento de outras pesquisas, e em diferentes locais.

3 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa consiste em etapas subsequentes, as quais podem ser observadas de forma resumida na Figura 27. Através da realização dessas etapas foi possível alcançar o objetivo geral do trabalho, que é o desenvolvimento de uma metodologia de análise regional visando a localização de locais com maior potencial para inserção de parques FV a partir de sua relação com aspectos energéticos e ambientais.



Fonte: Autora (2021).

3.1 LEVANTAMENTO DOS EMPREENDIMENTOS DE ENERGIA CENTRALIZADA E DISTRIBUÍDA NOS COREDES DO RIO GRANDE DO SUL

Antes de partir para a análise da área principal objeto deste estudo, o COREDE Central, é importante entender o contexto elétrico do estado do RS, visto que, o sistema é interligado e não se restringe as delimitações regionais. Nesse sentido, elaborou-se o mapeamento dos empreendimentos energéticos de geração centralizada e distribuída para identificar suas distribuições no território gaúcho, as fontes de energia utilizadas e suas respectivas potências instaladas. Com isso, é possível avaliar também como se encontra o sistema elétrico do COREDE Central quando comparado com as outras 27 regiões presentes no estado.

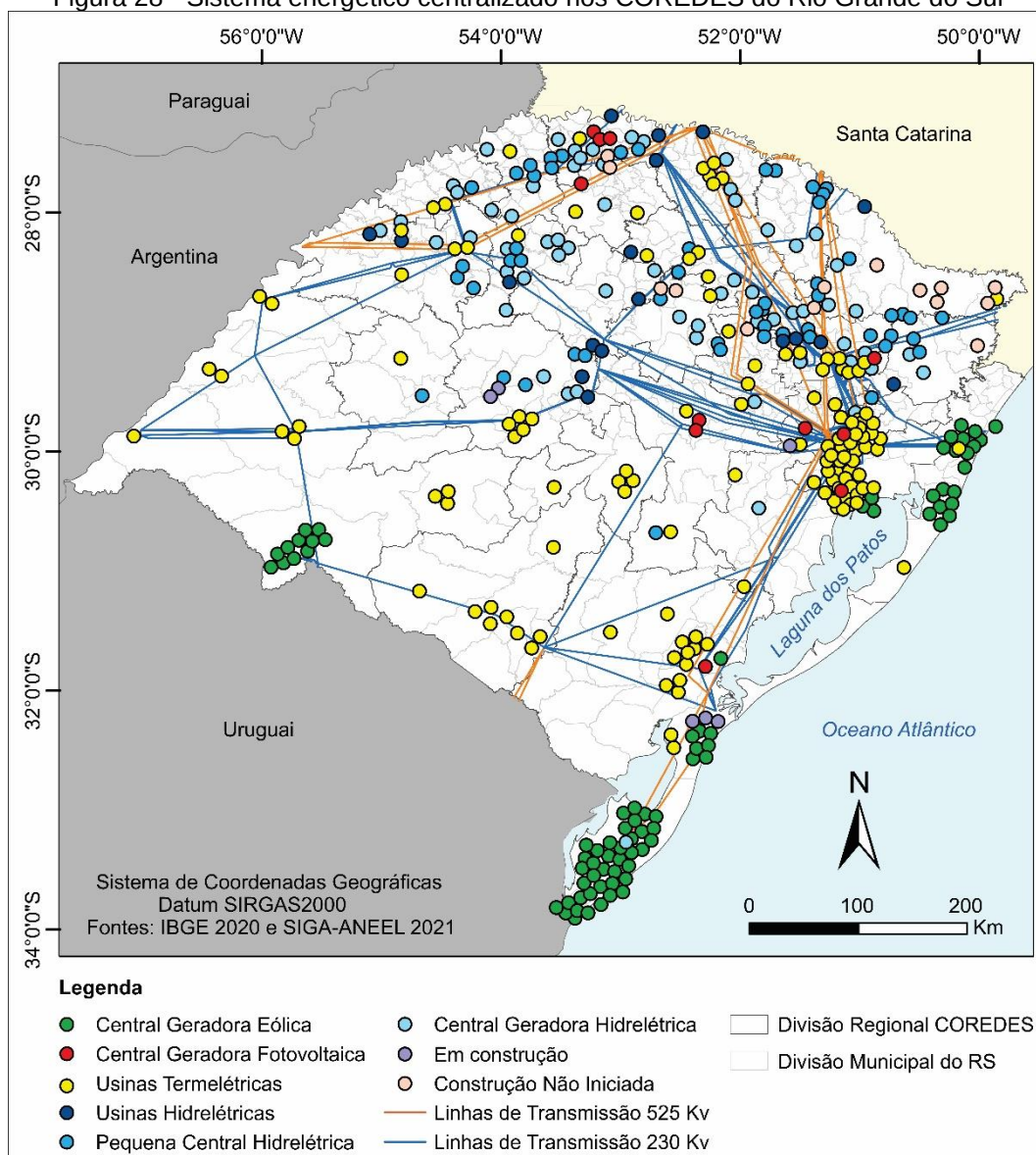
3.1.1 Empreendimentos de Energia Centralizada no RS

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (SIGA, 2021) (dados até maio de 2021), o estado do Rio Grande do Sul possuía 357 empreendimentos de geração centralizada em operação. Sendo deste total 134 de origem hídrica (62 Centrais Geradoras Hidrelétricas - 60,09 MW, 53 Pequenas Centrais Hidrelétricas - 674,09 MW e 19 Usinas Hidrelétricas - 4.819,02 MW)⁵.

Seguido de 131 Usinas Termelétrica (UHT) sendo 112 com energia proveniente de combustível fóssil (1.830,63 MW) e 19 de Biomassa (334,31 MW), 81 Centrais Geradoras Eólicas (EOL) (1.835,89 MW) e 11 Centrais Geradoras Solar Fotovoltaica (UFV) (4,31 MW). Além disso, há aprovado, mas em construção não iniciada 13 PCH e 1 UHT, e em processo de construção 3 EOL, 2 PCH e 1 UHT. A disposição destes empreendimentos no território pode ser visualizada na Figura 28.

⁵Entende-se Central Geradora Hidrelétrica (CGH) empreendimentos de até 5 MW, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) entre 5 MW e 30 MW e usinas hidrelétricas (UHE) empreendimentos acima de 30 MW.

Figura 28 - Sistema energético centralizado nos COREDES do Rio Grande do Sul



Fonte: Autora, com base em SIGA (2021).

Observou-se que os empreendimentos de origem hídrica são predominantes no Rio Grande do Sul, representando 58,15% (5.553,20 MW) do total instalado e concentram-se, principalmente, na parte nordeste do território. As usinas hidrelétricas estão presentes nos COREDES Alto Jacuí com 339,12 MW e Serra com 360,00 MW, ambos com três usinas cada.

Nos COREDES Central (625,40 MW), Hortênsias (62,42 MW), Missões (128,00 MW) cada um com duas usinas, e nos COREDES Noroeste Colonial (6,20 MW), Produção (2,88 MW) e Norte (226,00 MW) com uma usina cada. Salienta-se ainda, o compartilhamento entre os COREDES Médio Alto Uruguai e Norte de 74,00 MW. E os COREDES que possuem usinas compartilhadas com o estado de Santa Catarina,

sendo eles: Norte (1.450,00 MW), Campos de Cima da Serra (690,00 MW) e Médio Alto Uruguai (855,00 MW).

Quanto as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) o COREDE Serra representa a maior concentração das mesmas, bem como, a maior potência instalada sendo 8 unidades e um total de 162,20 MW. Com 3 unidades tem-se os COREDES Noroeste Colonial com 28,21 MW, Campos de Cima da Serra com 29,30 MW, Celeiro com 37,59 MW, Missões com 14,71 MW, Nordeste com 30,11 MW e Médio Alto Uruguai com 12,76MW.

Os COREDES com dois empreendimentos em operação são Central com 34,55 MW, Hortêncica com 10,59 MW, e Produção com 9,43 MW. Por fim, os COREDES com uma unidade de PCH são: Alto da Serra do Botucará (3,34 MW), Fronteira Noroeste (1,58 MW), Paranhana Encosta da Serra (1,52 MW), Vale do Jaguari (9,80 MW), Vale do Rio Pardo (4,86 MW) e Vale do Taquari (19,50 MW).

Há também as Pequenas Centrais Hidrelétricas que auxiliam no abastecimento energético de mais de um COREDE, com destaque para Campos de Cima da Serra e Hortêncica que compartilham 4 unidades totalizando uma potência instalada de 103,02 MW. O COREDE Nordeste que compartilha 50,90 MW com Campos de Cima da Serra (3 unidades) e Médio Alto Uruguai que compartilha 18,00 MW com o COREDE Celeiro (2 unidades).

Além dos COREDES Alto da Serra do Botucará e Vale do Taquari que compartilham dois empreendimentos que somam 13,10 MW, Serra e Hortêncica com 48,11 MW (2 unidades) e Central e Alto Jacuí com 30,87 MW (2 unidades). De modo a ampliar a capacidade instalada no estado há 13 Pequenas Centrais Hidrelétricas aprovadas com sua construção ainda não iniciada sendo 7 no COREDE Campos de Cima da Serra (51,82 MW), e 2 no Alto da Serra do Botucará (15,00 MW).

As PCH em construção não iniciada que serão compartilhadas entre COREDES são 4, sendo: 2 unidades Rio da Várzea / Médio Alto Uruguai (43,20 MW), Serra / Vale do Taquari (30,00 MW), Campos de Cima da Serra / Serra (30,00 MW). Somado a isso há duas PCH em construção no COREDE Central (25,97 MW). Assim, com a implementação destes 15 empreendimentos haverá um acréscimo futuro de potência hídrica instalada no estado de 196,00 MW.

As Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), empreendimentos de até 5 MW, se concentram, principalmente, nos COREDES Serra com 9 unidades (8,75 MW), Médio Alto Uruguai com 8 unidades (6,42 MW) e Noroeste Colonial 6 unidades (4,48 MW).

Os demais que possuem CGH em sua área de abrangência variam entre 1, 2 ou 3 empreendimentos, sendo com 3 unidades Alto da Serra do Botucará (3,34 MW), Campos de Cima da Serra (3,80MW), Central (2,10MW), Celeiro (1,75 MW), Missões (1,39 MW), Nordeste (2,21 MW), Norte (0,95 MW) e Produção (1,30 MW).

Os COREDES Fronteira Noroeste e Hortência possuem duas unidades cada, com 6,75 MW e 1,18 MW, respectivamente. Alto Jacuí (0,89 MW), Centro Sul (2,25 MW), Rio da Várzea (0,28MW), Sul (0,70 MW), Vale do Rio dos Sinos (1,27 MW) e Vale do Taquari (0,70 MW) possuem uma unidade cada. Há ainda o COREDE Alto Jacuí que compartilha 0,28 MW com o Produção, e 6,60 MW com o Noroeste Colonial (2 unidades), e o Fronteira Noroeste que compartilha 1,70 MW com o Celeiro, e 0,95 MW com o COREDE Missões.

A segunda fonte energética com maior número de instalações (131 unidades) e de potência instalada (2.164,94 MW) são as usinas termelétricas (UHT) as quais representam 22,65% da produção energética no estado. O principal combustível destas usinas é de origem fóssil sendo 112 empreendimentos (1.830,63 MW) e 19 unidades de biomassa (334,31 MW).

As termelétricas, diferentemente das demais fontes, encontram-se melhor distribuídas no território gaúcho e estão presentes em 23 dos 28 COREDES do estado. De acordo com Konrad et al. (2016), isso se deve ao fato da produção energética poder ser comercializada na própria região de produção, e também pelo, até então, custo reduzido da implantação das usinas termelétricas se comparado as outras fontes.

O COREDE com maior número de empreendimentos termelétricos é o Metropolitano Delta do Jacuí com 26 unidades e 357,44 MW de potência, em seguida Vale do Rio dos Sinos com 17 unidades (340,87 MW), Sul com 14 unidades (21,57 MW) e Fronteira Oeste com 11 unidades (677,08 MW). Os COREDES Campanha e Serra também possuem um número considerável de instalações sendo 9 unidades em cada região com 700,87 MW e 8,27 MW, respectivamente.

Com a presença de 5 usinas termelétricas tem-se os COREDES Central (2,02 MW), Jacuí Centro (10,11 MW), Norte (7,57 MW) e Produção (5,71 MW). Com 4 unidades Missões (3,06 MW) e Vale do Taquari (2,24 MW), com 3 empreendimentos o Vale do Rio Pardo (2,56 MW) e com 2 termelétricas Centro-Sul (12,83 MW), Rio da Várzea (1,20 MW) e Vale do Caí (1,94 MW) e Fronteira Noroeste (3,6 MW).

Com a presença de apenas um empreendimento UHT em operação há os COREDES Campos de Cima da Serra (3,70 MW), Celeiro (0,10 MW), Litoral (1,00 MW), Médio Alto Uruguai (0,13 MW), Noroeste Colonial (1,10 MW) e Vale do Jaguari (0,0026 MW). Há ainda uma termelétrica em construção no COREDE Metropolitano Delta do Jacuí (30 MW) e uma em construção não iniciada no COREDE Hortência (50 MW).

As Centrais Geradoras Eólicas (EOL), por sua vez, concentram-se, predominantemente, na parte litorânea ao leste do estado, no entanto, há também alguns pontos favoráveis e instalações no interior do território gaúcho. O Rio Grande do Sul contava, em maio de 2021, com 81 Centrais Geradoras Eólicas em operação com uma potência outorgada de 1.835,89 MW o que representa 19,21% da produção energética total.

Devido a instalação das Centrais Geradoras Eólicas serem condicionadas à direção e à intensidade dos ventos apenas 4 COREDES possuem o sistema, sendo eles: Sul com 48 unidades (961,79 MW), Litoral 19 unidades (597,10 MW), Metropolitano Delta do Jacuí com 3 unidade (59,80 MW) e Fronteira Oeste com 11 unidades (217,20 MW). O COREDE Sul possui ainda três EOL com uma potência de 52,50 MW em construção.

Por fim, uma fonte ainda pouco explorada no estado, na forma de geração centralizada, são as Centrais Geradoras Fotovoltaicas (UFV) que representam apenas 0,04%, com 11 instalações (4,31 MW). Assim, esses empreendimentos estão alocados em 8 COREDES, porém, os que possuem uma maior potência instalada são o COREDE Serra que apesar de possuir apenas uma unidade é o que possui a maior potência no estado com 1,87 MW e o Médio Alto Uruguai que possui o maior número de instalações 3 unidades com 1,65 MW de potência. Já os COREDES Vale do Rio Pardo, Metropolitano Delta do Jacuí, Rio da Várzea, Sul, Vale do Caí e Vale do Rio dos Sinos, somam uma potência instalada de 0,78 MW.

Assim, com base na análise apresentada, é possível inferir que os COREDES Litoral, Sul, Fronteira Oeste e Campanha possuem o maior potencial para empreendimentos de energia eólica. Com referência ao mês de maio de 2021, os 3 primeiros já apresentavam instalações eólicas, enquanto que o COREDE Campanha ainda apresenta potencial para ser explorado. Para a produção de energia proveniente de biomassa destacam-se os COREDES Campanha, Fronteira Oeste, Vale do Taquari, Serra e Sul.

Com a maior representatividade há 7 instalações UHT no Fronteira Oeste, 2 no COREDE Sul e apenas um empreendimento no COREDE Campanha. O Vale do Taquari e Serra não possuem nenhuma termelétrica movida a biomassa. De modo a tirar proveito deste combustível o COREDE Campanha se apresenta de forma estratégica no território, já que, o mesmo encontra-se entre os COREDES Fronteira Oeste e Sul, podendo comportar instalações para atender aos 3 COREDES. Da mesma forma os COREDES Serra e Vale do Taquari poderiam desenvolver projetos em parceria e atender ambas as regiões.

As análises demonstram ainda que energia solar é uma fonte com significativo potencial a ser explorado pois, embora, a parte centro-leste, mais especificamente a região Metropolitana de Porto Alegre possua os índices de irradiação mais baixos do estado, ainda assim, são níveis de irradiação superiores aos recebidos no território da Alemanha, da Inglaterra ou do Norte da França, países que utilizam largamente este sistema (CAMARGO SCHUBERT. et al, 2018).

Além disso, os empreendimentos solares de energia centralizada existentes no estado não se localizam nas áreas de maior irradiação solar. Ou seja, nos COREDES Vale do Jaguari, Fronteira Noroeste, Noroeste Colonial ou Alto Jacuí, os quais apresentam alto potencial ainda inexplorado. Atualmente, os COREDES que possuem instalações FV mais expressivas são o Médio Alto Uruguai e o COREDE Serra, sendo essas regiões com níveis de irradiação intermediários.

3.1.2 Empreendimentos de Energia Distribuída no RS

A energia de geração distribuída, está presente em 496 municípios dos 497 que o RS possui, apenas o município de Aceguá não apresentava nenhum registro de instalação, até outubro de 2021. Diferentemente da geração centraliza, a energia de geração solar fotovoltaica é predominante nos sistemas de geração distribuída, representando 99,96% do total, com 72.774 instalações. A primeira instalação solar FV registrada pela ANEEL no Sistema de Análise de Geração Distribuída (SISGD, 2021), no estado do RS, ocorreu em novembro de 2013, no município de Lajeado com uma potência de 5,29 kW e na classe de consumo residencial.

Posteriormente, houve um crescimento expressivo no setor, sendo: 30 instalações (2014), 149 instalações (2015), 652 instalações (2016), 1.631 instalações (2017), 5.006 instalações (2018), 15.020 instalações (2019), 28.761 instalações

(2020), e até julho de 2021, haviam sido instalados 21.497 no estado. Isso coloca o RS na terceira posição nacional com a maior potência de energia solar FV na forma de geração distribuída instalada no país (767,31 MW), atrás apenas de Minas Gerais (1.147,10 MW) e São Paulo (783,76 MW). As outras fontes presentes na geração distribuída, em menor proporção, no estado são: Centrais hidrelétricas (3 unidades), Centrais eólicas (8 unidades) e Centrais termelétricas (16 unidades)⁶, a classe de consumo, a potência instalada e as fonte podem ser analisadas no Quadro 8.

Quadro 8 - Instalações de Geração Distribuída (GD) no Rio Grande do Sul

Fonte	Total de Instalações	UCs Rec Créditos	Rural	Residencial	Comercial	Industrial	Poder Público	Potência Instalada (kW)
UTE	16	140	28	-	107	5	-	7.563,56
CGH	3	15	—	1	14	-	-	1.085,00
EOL	8	8	-	4	1	2	1	42,7
UFV	72.747	90.620	9.916	64.529	13.602	2.333	232	758.624,92
Total RS	72.774	90.783	9.944	64.534	13.724	2.340	233	767.316,18
Total Brasil	530.443	685.445	54.498	473.143	139.305	15.244	2.976	6.287.217,78

Fonte: Autora, com base em SISGD, 2021.

Pode-se observar que a classe residencial é a que comporta o maior número de instalações, seguida da comercial, da rural, da industrial e do poder público. Com menor representatividade, o RS possui 3 instalações FV no serviço público e 3 instalações com 5 unidades consumidoras na iluminação pública. Assim, como os empreendimentos de geração centralizada, os de geração distribuída também estão alocados de forma heterogênea no território, conforme Figura 29.

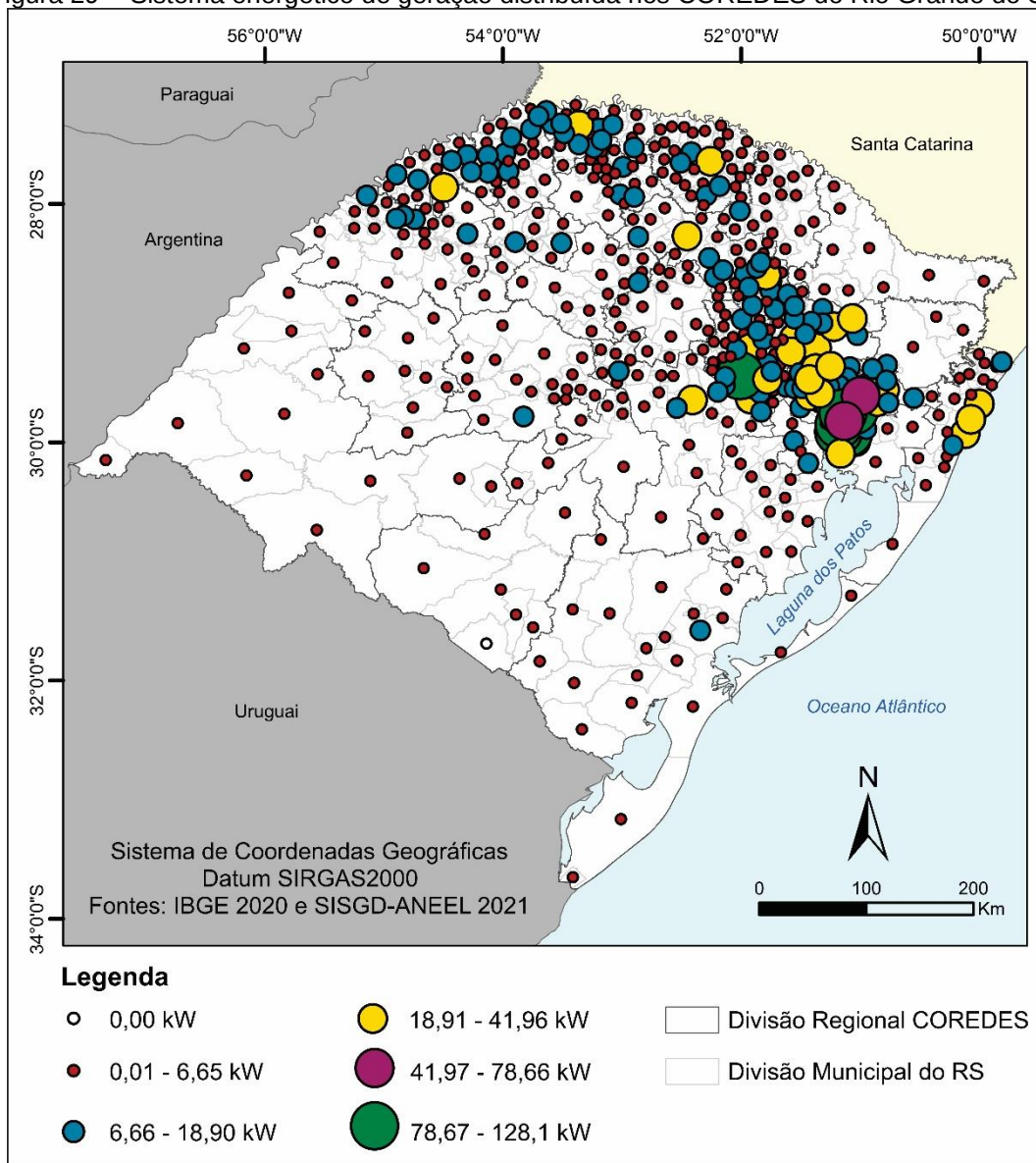
Dentre os 28 COREDES presentes no estado o COREDE Serra se destaca dos demais com uma potência instalada de 105.910,8 kW seguido pelo Vale do Rio dos Sinos que possui 91.155,73 kW. Com uma potência entre 40.000 kW e 50.000 kW, em ordem decrescente, se apresentam os COREDES Vale do Rio Pardo (55.162,22 kW), Vale do Taquari (54.308,02 kW), Metropolitano Delta do Jacuí (51.675,34 kW), Produção (45.520, 29 kW), Fronteira Oeste (43.441,01 kW) e Fronteira Noroeste (41.527,88 kW). O COREDE Missões possui 38.588,15 kW, o Central 33.833,53 kW e o norte 31.891,71 kW.

Com uma potência entre 20.000 kW e 30.000 kW observa-se os COREDES Vale do Caí (29.816,78 kW), Médio Alto Uruguai (28.500,63 kW), Sul (27.526, 52 kW)

⁶ Destaca-se que as termelétricas fazem uso de diferentes fontes como o bagaço de cana de açúcar, biogás, casca de arroz, gás natural e resíduos florestais.

e Paranhana Encosta da Serra (22.462,51 kW). Além disso, boa parte dos COREDES apresentam uma potência instalada entre 10.000 kW e 20.000 kW, sendo eles: Celeiro (19830,37 kW), Litoral (18.302,81 kW), Alto Jacuí (17.107,94 kW), Rio da Várzea (16.890,89 kW), Nordeste (14.613,65 kW), Centro-Sul (14,585,26 kW) Hortências (13.763,41 kW), Noroeste Colonial (13.683,6 kW), Jacuí-Centro (12.187,13 kW), Campanha (11.146,43 kW) e Vale do Jaguarí com 10.660,54 kW. E com as menores potências de geração de energia distribuída instaladas no estado tem-se os COREDES Alto da Serra do Botucaraí com 7.364,36 kW e Campos de Cima da Serra com 6.935,77 kW.

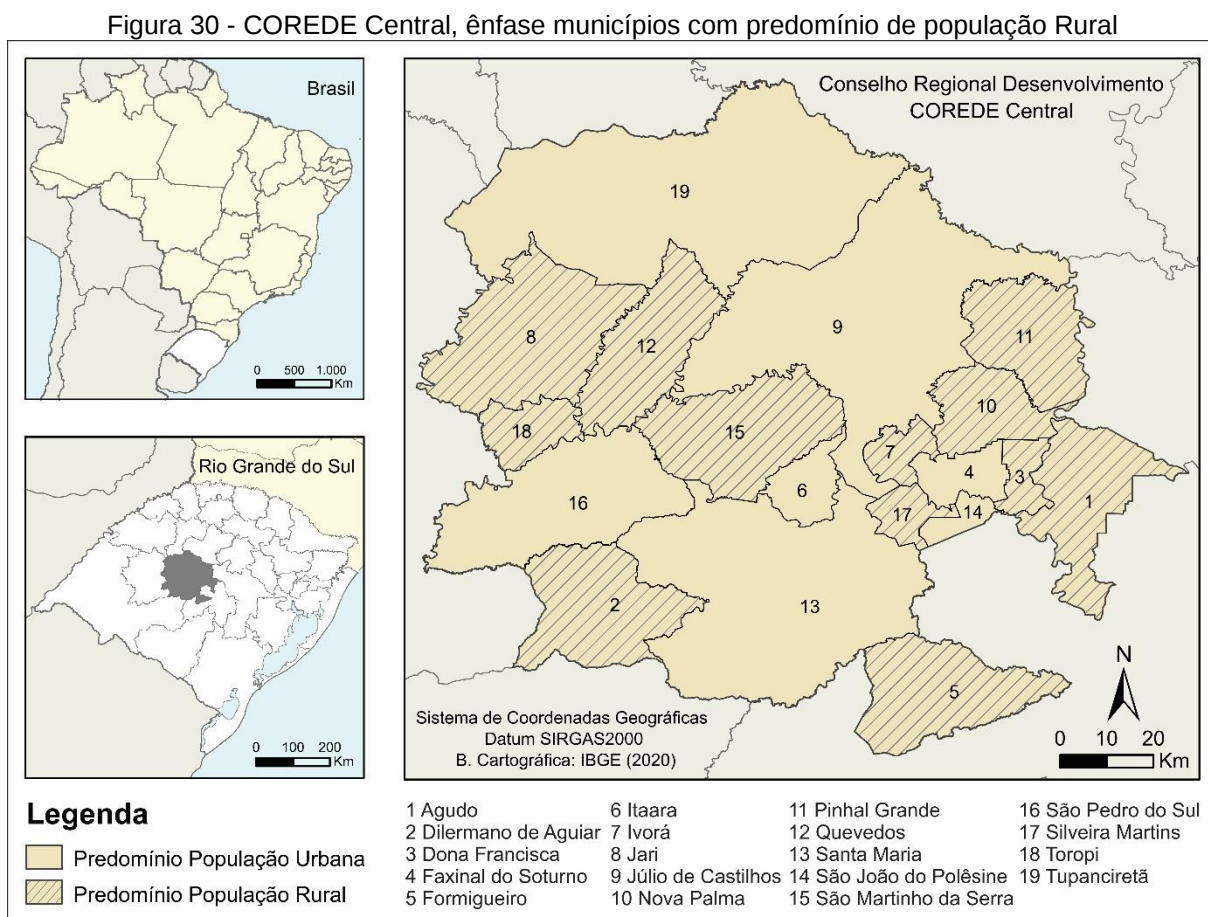
Figura 29 - Sistema energético de geração distribuída nos COREDES do Rio Grande do Sul



Fonte: Autora, com base em SIGA (2021).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: COREDE CENTRAL

O Conselho Regional de Desenvolvimento (COREDE) Central está localizado no centro do Rio Grande do Sul e compreende uma área de 12.384,40 km² (IBGE, 2020). A região tem uma população estimada de 414.256 habitantes (IBGE, 2020), e os municípios com maior densidade demográfica são Agudo, Júlio de Castilhos, São Pedro do Sul, Tupanciretã e, com maior destaque, o município de Santa Maria, que concentra 68% da população total da região. Conforme Büttendbender; Siedenberg; Allebrandt (2011), o COREDE Central foi a primeira região do estado a se consolidar, ainda no ano de 1991, sendo composto, atualmente, por 19 (dezenove) municípios, os quais podem ser observados na Figura 30.



Fonte: Autora, com base nos dados de IBGE (2010) e IBGE (2020).

A análise da Figura 30 demonstra que a maior parte dos municípios da região concentram um predomínio de população rural e, conseqüentemente, uma acentuada utilização de práticas agropecuárias. Nesse sentido, o Plano Estratégico de Desenvolvimento do COREDE Central (PEDCC, 2017) destaca que nos municípios

localizados ao norte (Tupanciretã, Júlio de Castilhos, São Martinho da Serra, Quevedos e Jari) há um predomínio no cultivo da soja, nos municípios de Toropi, São Pedro do Sul, Itaara, Silveira Martins, Ivorá, Nova Palma, Dona Francisca e Agudo há um cultivo mais diversificado com produtos de lavouras temporárias como, por exemplo, fumo, mandioca e batata inglesa.

Nos municípios de Pinhal Grande, Dilermando de Aguiar e Santa Maria destaca-se a criação de bovinos e, por fim, Faxinal do Soturno, São João do Polêsine e Formigueiro o cultivo de grãos como arroz e milho (PEDCC, 2017). Ainda com relação a Santa Maria, esse município se diferencia do restante e se caracteriza como um polo que atende tanto os demais municípios da região quanto de outros COREDES. Isso se deve, principalmente, a concentração de diversos órgãos públicos estaduais e federais, das unidades militares Brasileiro e da Aeronáutica, de serviços nas áreas da saúde e educação, e de uma maior diversidade de empreendimentos dos setores industrial, comercial e de serviços (PEDCC, 2017).

O desenvolvimento econômico no COREDE Central, em 2018, dispôs de um Produto Interno Bruto (PIB) de 13,87 bilhões, o que representa 3% do total do estado. Dentre os municípios, Santa Maria é o que apresentou o maior PIB do COREDE com 7,79 bilhões, seguido de Júlio de Castilhos com 1,30 bilhões e Tupanciretã com 1,28 bilhões. O município que apresentou o menor PIB foi Ivorá com 52,89 milhões. O setor de Serviços é o que concentra o maior PIB da região, seguido do setor agropecuário, setor público e, por fim, o setor industrial.

No entanto, cabe destacar que há municípios que tem como base econômica principal a agropecuária, sendo eles: Dilermando de Aguiar, Jari, Quevedos e São Martinho da Serra. Além disso, os municípios de Tupanciretã e Júlio de Castilhos estão entre os 10 (dez) municípios com maior Valor Adicionado Bruto (VAB) do estado do Rio Grande do Sul no setor agropecuário sendo, respectivamente, na 1ª e 9ª posição, ambos com o cultivo da soja.

O município de Santa Maria, por sua vez, está na 7ª posição no estado, possuindo o maior VAB no setor de serviços referente a administração pública e as atividades imobiliárias. Cabe destacar também Pinhal Grande, que é um dos 10 municípios com o maior PIB per capita, sendo a 2ª posição no estado com a Geração de Energia como principal atividade (DEE, 2018). O Quadro 9 permite realizar uma análise econômica setorial, para entender a dinâmica da região.

Quadro 9 - VAB setorial, PIB e PIB per capita por município do COREDE Central

Município	VAB Agropecuária*	VAB Indústria*	VAB Serviços *	VAB Adm. Saúde Edu. pública e Seg. social*	PIB	PIB per capita
Agudo	115.840.198	92.741.037	245.990.298	81.574.118	499.984.565	30.258,08
Dilermando de Aguiar	87.556.521	6.049.081	46.353.877	21.184.580	143.899.607	47.554,40
Dona Francisca	16.710.527	16.048.743	37.891.962	18.408.885	75.271.907	24.391,42
Faxinal do Soturno	17.267.889	24.465.647	141.863.015	33.542.741	202.939.694	30.334,78
Formigueiro	59.932.614	19.990.192	98.355.017	37.250.276	189.822.343	28.268,41
Itaara	17.014.614	15.190.248	85.663.456	28.525.621	124.773.500	22.856,48
Ivorá	21.085.363	1.821.141	28.775.638	13.184.258	52.897.151	27.266,57
Jari	157.163.168	6.692.017	51.636.782	23.552.614	218.314.590	62.056,45
Júlio de Castilhos	367.728.639	43.759.081	742.930.791	105.473.244	1.307.194.176	67.506,41
Nova Palma	50.457.124	81.110.096	154.806.207	35.426.663	310.073.068	47.644,91
Pinhal Grande	83.048.306	510.051.928	83.203.160	27.961.797	686.453.483	157.011,32
Quevedos	104.411.550	5.031.549	62.302.239	19.887.970	180.365.117	64.739,81
Santa Maria	220.554.385	835.417.404	6.017.543.171	1.298.359.190	7.793.975.232	27.785,51
São João do Polêsine	10.969.368	8.809.801	50.424.204	16.285.578	75.387.175	29.436,62
São Martinho da Serra	123.281.825	7.056.195	66.280.977	20.576.319	205.925.343	63.596,46
São Pedro do Sul	87.915.777	37.752.122	245.105.483	80.421.482	397.931.330	24.488,08
Silveira Martins	16.275.511	2.611.927	32.147.059	17.601.188	53.181.860	22.214,65
Toropi	26.876.219	2.058.252	39.159.045	17.759.288	71.788.324	25.393,82
Tupanciretã	522.192.002	47.595.950	620.655.418	126.736.090	1.281.989.686	53.810,85
Total COREDE Central	2.106.281.600	1.764.252.411	8.851.087.799	2.023.711.902	13.872.168.151	856.615,03
Total RS	35.592.662.656	88.973.678.655	271.967.572.221	57.322.848.201	457.293.957.585	18.791.724

Fonte: Compilado de DEE/RS e IBGE, 2018.

Observa-se, com base nos dados apresentados, que a agropecuária exerce um papel importante na economia, tanto no contexto regional do COREDE Central quanto para a economia do estado do Rio Grande do Sul. Dessa forma, a escolha por essa região se dá em função de lacunas que a mesma apresenta no setor energético, visto que, Santa Maria se caracteriza como um dos municípios com maior concentração de oferta de serviços, de pessoas e de consumo energético no estado.

Além disso, diante da disparidade entre os municípios da região, o abastecimento energético nos locais situados longe das áreas urbanas é, por vezes, comprometido e/ou de baixa qualidade. Assim, o PEDCC (2017), enfatiza a necessidade de melhorias no sistema energética tanto nas áreas rurais do COREDE CENTRAL quanto no município de Santa Maria.

3.2.1 Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul

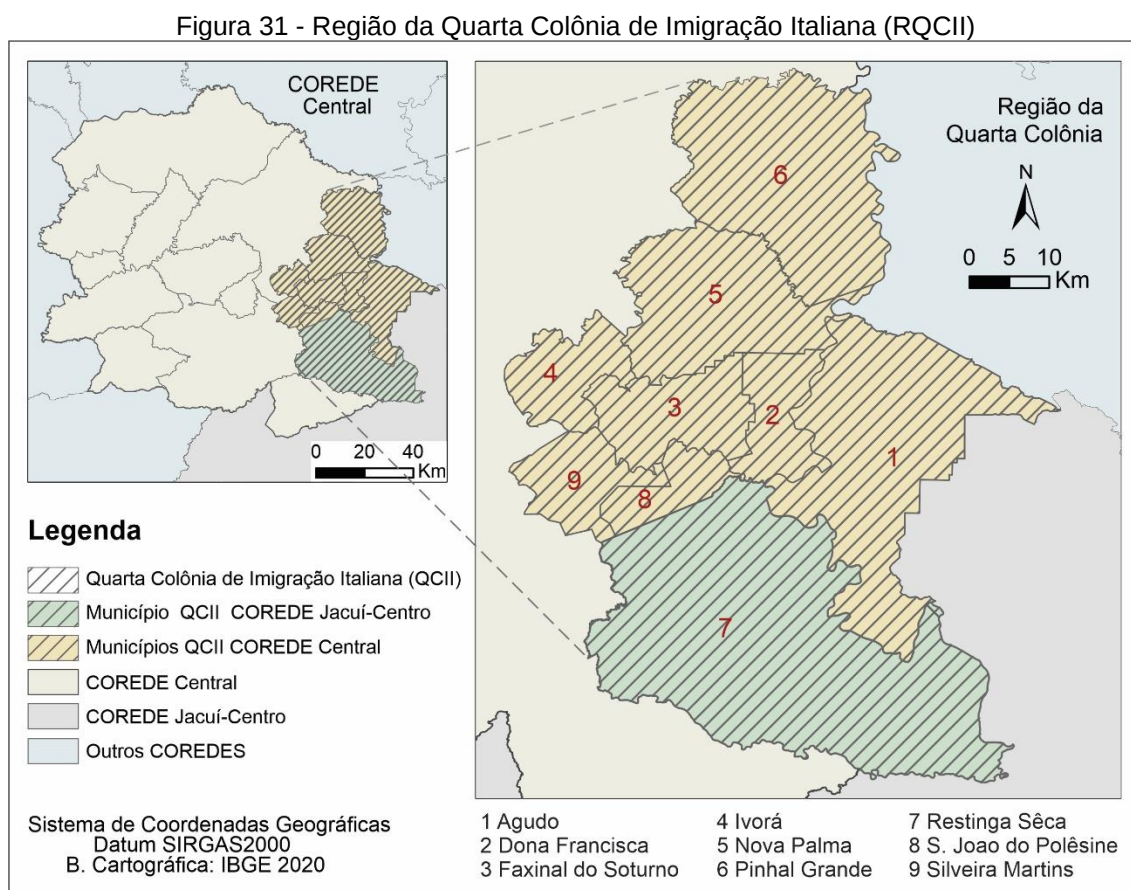
Apresentada a região do COREDE Central, cabe entender também a região da Quarta Colônia de Imigração Italiana (RQCII), que pode ser entendida como uma sub-região dentro do COREDE Central, a mesma é formada por nove municípios que são organizados no âmbito regional, desde 1996, através do Consórcio de Desenvolvimento Sustentável da Quarta Colônia – CONDESUS, entidade que tem por objetivo a integração e a promoção do desenvolvimento regional, observando os princípios da sustentabilidade social, cultura e ambiental (CONDESUS, 2021).

A formação histórica da região foi constituída por diferentes grupos étnicos, entre eles os nativos da região, os africanos e os europeus, como os portugueses, alemães e italianos, com destaque aos últimos dois grupos (BEVILACQUA et al., 2013). No contexto histórico, a vinda de imigrantes alemães e italianos para o Brasil se deu, principalmente, pela busca de melhores condições de vida, uma vez que, em seus países de origem a terra já não comportavam mais o número de pessoas que delas procuravam sobreviver, o que veio a coincidir com os interesses do Brasil de colonizar áreas devolutas e suprir mão de obra na agricultura (BEVILACQUA et al, 2013).

Assim, inicialmente, o RS foi dividido em colônias visando receber esses imigrantes, conforme Diesel e Gonçalves (2010), a primeira colônia alemã no estado ocorreu na ocupação da Real Feitoria do Linho Cânhamo, atualmente, São Leopoldo. Depois, gradativamente, na medida em que novos imigrantes iam chegando à colonização ia se estendo ao longo dos vales férteis dos rios dos Sinos, Taquari e Jacuí (DIESEL; GONÇALVES, 2010), sendo a Colônia de Santo Ângelo, a partir de 1957, a responsável por abrigar os primeiros alemães na região central do RS (WERLANG, 1995).

Conforme Bevilacqua et al. (2013), a imigração italiana ocorreu no último quartel do século XIX, com o objetivo de contemplar o povoamento da província, considerando que os alemães já tinham se estabelecido no estado. As primeiras colônias italianas a surgir foram a de Conte d'Edu (1870) e Dona Isabel, hoje, respectivamente, Garibaldi e Bento Gonçalves. A terceira colônia, Caxias, foi fundada em 1875 e é a atual Caxias do Sul. Em 1876, à margem direita do Rio Jacuí, nos municípios de Santa Maria e Cachoeira do Sul, foi fundada a Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul.

Essa ocupação se caracteriza, ainda hoje, como uma região de pequenas propriedades rurais e grau de urbanização bem abaixo da média do estado (BEVILACQUA et al, 2013), o número de pessoas que reside nos municípios varia de 1.881 habitantes em Ivorá a 16.401 em Agudo (IBGE, 2020). Os municípios da RQCII começaram a se emancipar na década de 1950. Restinga Seca, Agudo e Faxinal do Soturno emanciparam-se em 1959, Nova Palma em 1960 e Dona Francisca em 1964. Silveira Martins conseguiu sua emancipação, juntamente com Ivorá em 1988, e São João do Polêsine e Pinhal Grande em 1992. Dos nove municípios que constituem a Quarta Colônia oito pertencem ao COREDE Central e apenas o município de Restinga Seca pertence ao COREDE Jacuí-Centro, conforme Figura 31.



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020).

A região da RQCII ocupa uma área de 2.900,165 km² (IBGE, 2020), geomorfologicamente, o quadro natural abrange três macrocompartimentos de relevo, o topo do Planalto Meridional Brasileiro, o Rebordo deste planalto e a Depressão Central, formando um cenário de suntuosos contrastes geofísicos que possuem grande potencialidade turística. Pedron et al. (2007), destaca que em uma área

relativamente pequena é possível encontrar materiais representantes de grupos geológicos distintos. Essa região apresenta uma área rica em conteúdo fossilífero do período Triássico (251 Ma – 199 Ma), com fósseis tanto de origem animal quanto vegetal, rochas do Cretáceo Inferior (145 Ma), e se destaca também pela geodiversidade que contribui para a riqueza fisiográfica e paisagística da região (GODOY et al.,2011).

Somado a isso, a região conta com um Inventário do Patrimônio Histórico e Cultural da Quarta Colônia elaborado através da parceria entre o CONDESUS e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), entre os anos de 2008 e 2010, em que foi identificado uma cultura material e imaterial com arquitetura (urbana e rural), igrejas, capitéis, monumentos, paisagens, histórias, famílias, festas, comidas, vinhos, santos, orações, etc. (SCHWERZ, 2010). A região também faz parte da Área Prioritária da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, sendo essa a maior reserva da biosfera em área florestal do planeta, com mais de 89 milhões de hectares, abrangendo área em 17 estados brasileiros de ocorrência natural do Bioma Mata Atlântica (RBMA, 2021).

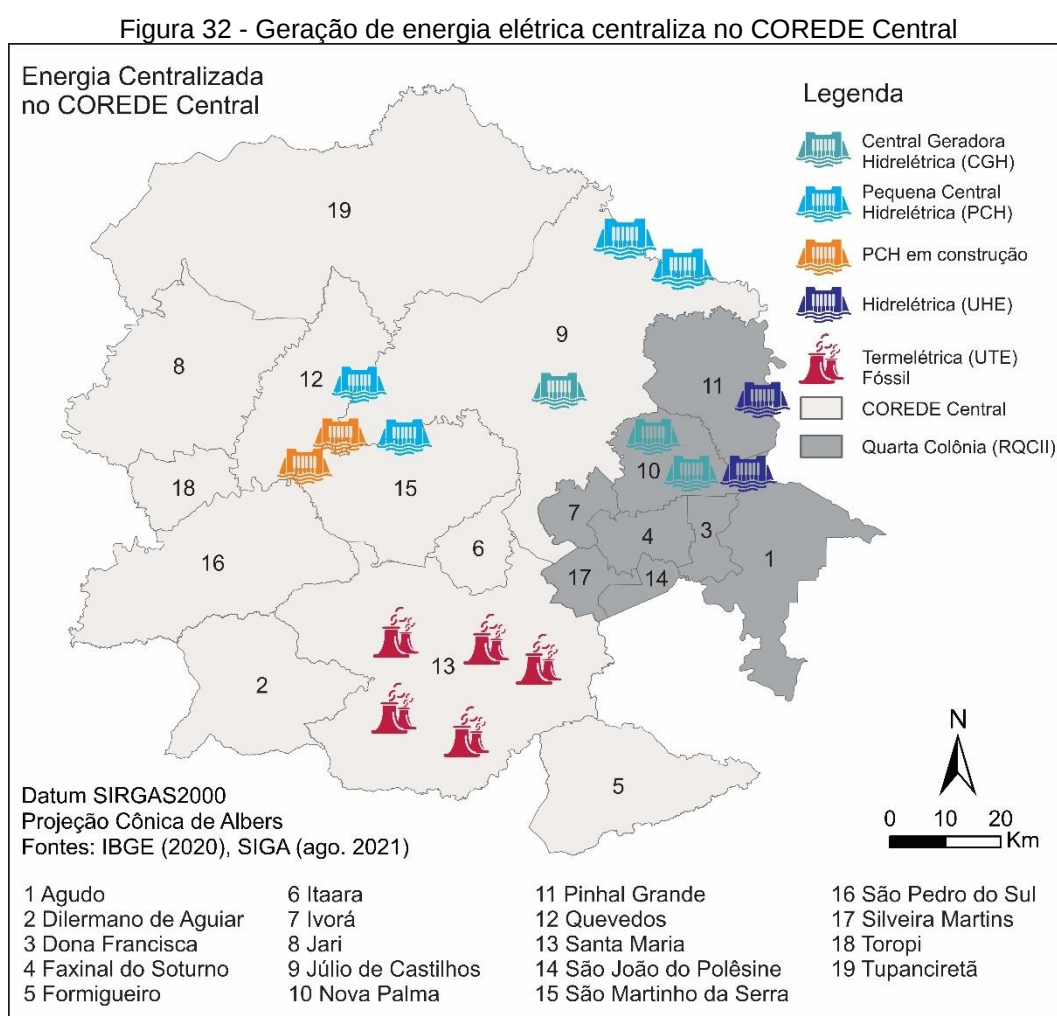
Diante da diversidade histórica, cultural e ambiental da Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana, desde 2018, o CONDESUS em parceria com a UFSM tem desenvolvido uma série de projetos que busca junto a UNESCO o reconhecimento da região como um Geoparque⁷ (UFSM, 2021). Além disso, outra ação realizada por intermédio da parceria entre o CONDESUS e o Governo do Estado, foi a criação da Rota Paleontológica da Quarta Colônia (2005) que se constitui em uma rota turística com forte comprometimento ambiental e científico.

Sendo assim, entende-se a região da Quarta Colônia como uma área impar dentro do COREDE Central que apresenta significativo potencial turístico. Atualmente, sua economia é predominante agropecuária com a maior população vivendo nas áreas rurais, entretanto, há esforços de diferentes esferas governamentais e da população local na retomada de sua origem, e na possibilidade de diversificar e desenvolver a região economicamente por meio do reconhecimento e valorização de sua vasta cultura material e imaterial.

⁷Geoparques consistem em áreas geográficas unificadas, onde sítios e paisagens de relevância geológica internacional são administrados com base em um conceito holístico de proteção, educação e desenvolvimento sustentável (UNESCO, 2021).

3.2.2 Sistema Energético do Corede Central

Com relação a geração de energia centraliza, o COREDE Central conta com a presença de duas barragens, que são: a Barragem de Dona Francisca, no município de Nova Palma, com capacidade de geração de energia elétrica de 125 MW e reservatório de 20 km²; e a Barragem de Itaúba, no município de Pinhal Grande, com capacidade de geração de energia elétrica de 500 MW e reservatório de 13,29 km², ambas no Rio Jacuí (PEDCC, 2017), como mostra a Figura 32.



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e SIGA (2021).

Somado a isso, conforme dados do SIGA (2021), há ainda seis pequenas centrais hidrelétricas (91,632 MW), três centrais geradoras hidrelétricas que somam mais de 2 MW, e cinco usinas termelétricas que também totalizam mais de 2 MW. Ressalta-se que a maior produção energética de geração centralizada do COREDE Central, esta localizada na região que abrange os municípios da Quarta Colônia de

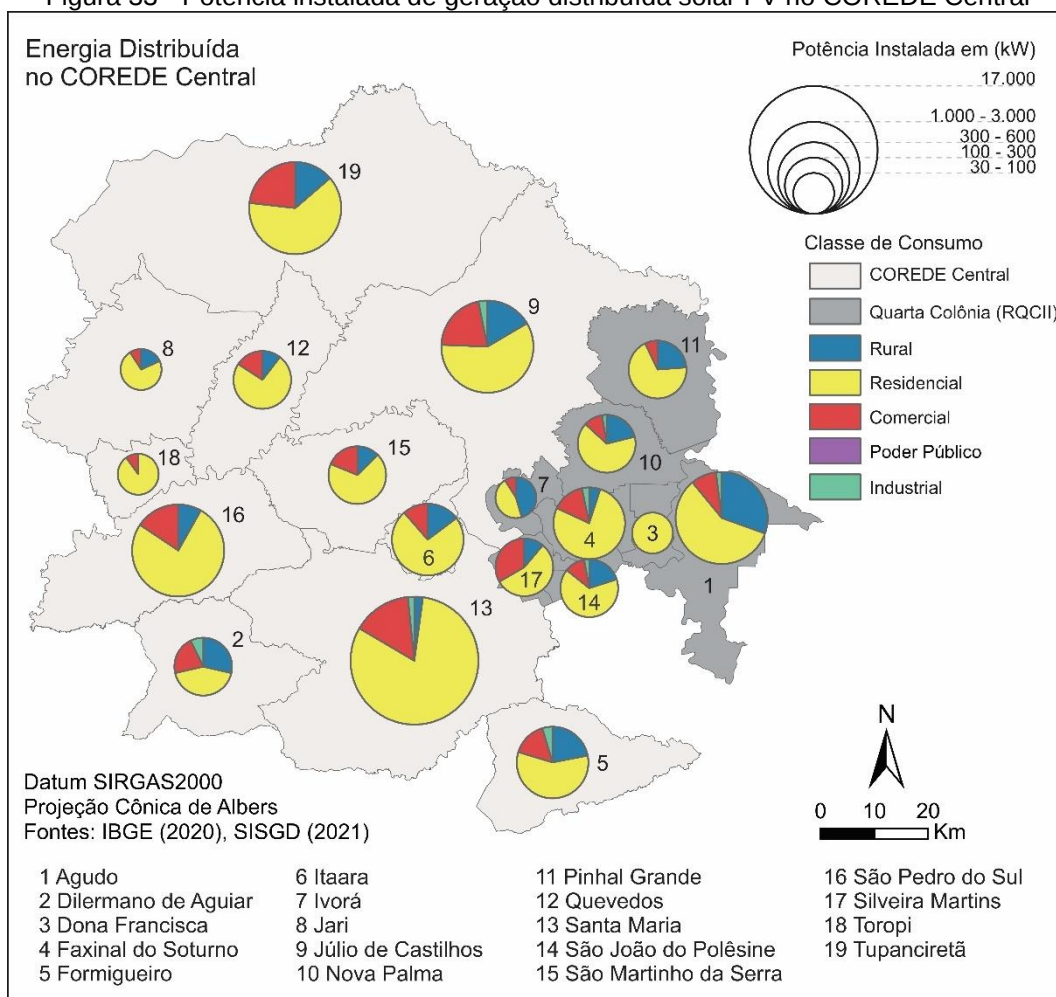
Imigração Italiana onde estão dispostas as duas hidrelétricas e mais duas centrais geradoras hidrelétricas.

Outro ponto relevante é que a região centro-oeste, assim como o COREDE Central, possuem linhas de transmissão de no máximo 230 kV, diferentemente de outras regiões do estado que apresentam linhas de até 525 kV (SPGG RS/DEPLAN, 2017). Salienta-se que as linhas de transmissão de maior tensão minimizam as perdas técnicas relacionadas à transformação de energia elétrica em energia térmica nos condutores (Efeito Joule), o que representa uma maior qualidade na distribuição da energia (ANEEL, 2020).

Sobre a geração de energia distribuída, na região, as primeiras instalações registradas pela ANEEL no Sistema de Análise de Geração Distribuída (SISGD, 2021), ocorreram nos meses de julho (2 kW) e novembro (2,35 kW) de 2014, ambas no município de Faxinal do Soturno e na classe de consumo residencial (SISGD, 2021). Cabe enfatizar que no Brasil o primeiro registro ocorreu em dezembro de 2008, no município de Bocaiúva em Minas Gerais com uma potência instalada de 25 kW, na classe de consumo comercial e no Rio Grande do Sul foi em novembro de 2013, no município de Lajeado com uma potência de 5,29 kW e na classe de consumo residencial (SISGD, 2021).

Com isso, a implementação de sistemas solar FV no COREDE Central se configura da seguinte forma: 2 unidades (2014), 5 unidades (2015), 16 unidades (2016), 95 unidades (2017), 210 unidades (2018), 593 unidades (2019), 1.249 unidades (2020), e até o fim do mês de junho de 2021 houve 764 instalações (SISGD, 2021), número esse que leva a crer que o ano de 2021 irá superar o número de instalações de 2020. Na Figura 33 é possível analisar a distribuição e as classes de consumo dessas instalações na região.

Figura 33 - Potência instalada de geração distribuída solar FV no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e SISGD, 2021.

Observa-se que as primeiras instalações registradas a nível estadual e regional ocorreram após a regulamentação da energia solar fotovoltaica de geração distribuída pela ANEEL em 2012, por meio da Resolução Normativa 482. No COREDE Central, há uma concentração de instalações de energia solar FV nos centros urbanos dos municípios que compõem a região, com o predomínio de instalações em edificações residenciais, seguido de edificações comerciais e, então, instalações no meio rural, industrial e, ainda pouco representativo, no setor do poder público. Sendo assim, constatou-se que na forma de geração centralizada os sistemas de origem hídrica são predominantes, enquanto que na forma de geração distribuída há registros apenas de instalações com o uso de sistemas de geração solar FV.

3.3 DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS UTILIZADOS

Primeiramente, fez-se um reconhecimento do sistema energético do Rio Grande do Sul de acordo com a regionalização dos COREDES, para identificar a distribuição e a potência instalada nas regiões e no estado. Em seguida, fez-se uma análise mais aprofundada na região do COREDE Central de modo a identificar sua delimitação geográfica, as principais fontes de energia elétrica tanto no sistema de geração centralizada quanto distribuída, bem como aspectos relacionados a densidade demográfica, economia e as particularidades de seu território com ênfase na Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana. Na sequência, por meio de embasamento teórico e particularidades da região, identificou-se os critérios que interferem na seleção dos locais para instalação de parques FV. Nessa perspectiva, os critérios são dados espaciais os quais permitiram a construção de uma base cartográfica com o mapeamento dos mesmos sobre a região.

Os critérios adotados possuem duas categorias sendo os restritivos e os de ponderação, para a espacialização das camadas restritivas na região, utilizou-se apenas o SIG. Já a espacialização das camadas de ponderação exigiu a atribuição de pesos (ou a importância relativa) para cada camada. Para isso, fez-se uso do método multicritério AHP-TOPSIS-2N e, posteriormente, o ambiente SIG possibilitando, assim, identificar as áreas com maior potencial para a instalação dos parques fotovoltaicos elencadas em cinco categorias, ou seja, (1) áreas menos adequadas – (2) marginalmente adequadas – (3) moderadamente adequadas – (4) mais adequadas – (5) altamente adequadas.

Sendo assim, o presente trabalho consiste em etapas sequencias interdependentes que contam com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), e dos métodos de apoio multicritério a decisão Processo Hierárquico Analítico (AHP) e Técnica para a Ordem de Preferência por Similaridade com a Solução Ideal (TOPSIS) combinados no método AHP-TOPSIS-2N para identificar as áreas mais adequadas.

3.3.1 Identificação e Elaboração do Banco de Dados Espacial dos Critérios Restritivos

Os critérios restritivos são entendidos como áreas, que por motivos ambientais, de infraestrutura, históricos/culturais, dentre outros, não são recomendadas para a instalação de parques fotovoltaicos. Para identificar os fatores que interferem na escolha de locais para a inserção de parques FV no COREDE Central referenciou-se, tanto nas particularidades da região quanto nas bases teóricas mencionadas no Capítulo 2.9. Nesse sentido, após realizar-se um levantamento dos critérios utilizados em 20 estudos, adotou-se para a região do COREDE Central os seguintes critérios:

3.3.1.1 Centros urbanos e povoados rurais

A eliminação de áreas com a presença de centros urbanos e de povoados rurais se dá de modo que os parques FV não interfiram no crescimento e no planejamento desses espaços. Para sua exclusão, foi considerada a camada *shapefile8* com as poligonais, obtida no banco de dados do Instituto Nacional de Geografia e Estatística (IBGE), com base no mapeamento dos setores Censitários, do ano de 2020, na escala compatível de 1:5.000 a 1:250.000 (IBGE, 2020).

3.3.1.2 Sistema viário

O sistema viário, que compreende estradas federais, estaduais, municipais e a ferrovia que interceptam o COREDE Central, foram também desconsiderados, pois representam áreas com infraestrutura já consolidada na região. De acordo com a Lei N° 6.766/2019, para as rodovias a largura mínima é de 40 metros, sendo 30 m referente a faixa de domínio e 10 m da faixa não edificável, e para as ferrovias é de 30 metros relativo a sua faixa de domínio. Os dados referentes ao sistema viário em *shapefile*, foram obtidos no banco de dados desenvolvido em parceria entre a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA) e a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM), em 2018, na escala 1:25.000.

⁸*Shapefile* - consiste em um arquivo que pode descrever espacialmente qualidades vetoriais como pontos, linhas e polígonos georreferenciados em um sistema SIG (*ESRI Shapefile Technical Description*, 1998).

3.3.1.3 Hidrografia

A hidrografia perene e intermitente inclui trechos de massa d'água, massa d'água e ilhas. Os trechos de massa d'água podem ser entendidos como segmentos de cursos d'água que possuem fluxo. Já as massas d'água como oceano, baías, enseadas, meandros abandonados, lagos, lagoas, e os açudes que não possuem fluxo d'água. As ilhas, por sua vez, são porções de terra emersa circundada de água doce ou salgada em toda a sua periferia (SEMA/FEPAM, 2018). Esses locais foram removidos da área investigada respeitando, assim, tanto legislações ambientais quanto questões técnicas do sistema de energia solar fotovoltaico. A área ocupada pelos trechos de drenagem (rios) permanentes ou temporários, não foram contabilizadas nesta pesquisa, visto que, os dados obtidos possuem a geometria do tipo linha o que inviabiliza o cálculo das áreas. A camada *shapfile* da hidrografia, foi obtida junto ao banco de dados SEMA/FEPAM (2018), na escala 1:25.000.

3.3.1.4 Áreas com declividade superior a 20%

Segundo Doorga, Rughooputh e Boojhawon (2019), áreas de alta declividade não são viáveis para projetos solares fotovoltaicos, devido à baixa viabilidade econômica. Na literatura não há um consenso, sendo utilizado vários valores limiares. Para a presente análise, adotou-se as três primeiras classes (Plano, Suave-ondulado e Ondulado) sugeridas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979), conforme Quadro 10.

Quadro 10 - Distribuições das classes de declividade em percentual

Classe	Declividade (%)
Plano	0 – 3
Suave-ondulado	3 – 8
Ondulado	8 – 20
Forte-ondulado	20 – 45
Montanhoso	45 – 75
Forte-montanhoso	> 75

Fonte: EMBRAPA, 1979.

Com isso, o fator de declividade considerado favorável para a instalação de parques FV é inferior ou igual a 20%. Os dados de declividade foram adquiridos por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) o qual foi obtido por meio das imagens do *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS, 2011). Esse satélite foi lançado em 2006 pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), em parceria com a *Japan Resources Observation System Organization* (JAROS), no centro espacial de Tanegashima (Japão) e saiu de órbita em 2011.

Três sensores estiveram à bordo do ALOS (Daichi): o radiômetro PRISM (*Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping*) capaz de adquirir imagens tridimensionais detalhadas da superfície terrestre; o radiômetro multiespectral AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2*) voltado aos mapeamentos de uso e cobertura das terras e o sensor de microondas PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) capaz de obter imagens diurnas e noturnas sem a interferência de nebulosidade (EMBRAPA, 2018). A escolha por esse MDE se deu em função de estar disponível de forma gratuita e sua resolução ser cerca de 12,5 m, o que possibilita maior riqueza de informações.

3.3.1.5 Encostas orientadas para o Sudoeste, Sudeste e Sul

Conforme simulação realizada (tendo como parâmetro o município de Santa Maria-RS) na ferramenta online disponibilizado pela *Global Solar Atlas*, e administrada pela Solargis, foi possível analisar os níveis de Irradiação Global Inclinada (kWh/m²/ano) e estimar a produção de energia FV de um sistema montado sobre o solo com capacidade instalada de 1 MW para cada uma das orientações solares (Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste).

A inclinação utilizada foi 26°, sendo essa a indicada pela ferramenta como a ideal para Santa Maria e para a maior parte da região do COREDE Central, com exceção dos municípios de Jari, Júlio de Castilhos, Pinhal Grande, Quevedos e Tupanciretã que é indicado a inclinação de 27°, os resultados dessa simulação podem ser analisados no Quadro 11.

Quadro 11 - Simulação de um parque FV (1 MW) em Santa Maria-RS

Orientação	Azimute	Energia FV Estimada (GWh/ano)	Irradiação Global Inclinada (kWh/m ² /ano)
Norte	0° e 380°	1.507	1.865,80
Noroeste	315°	1.447	1.810,50
Nordeste	45°	1.437	1.787,60
Oeste	270°	1.299	1.642,70
Leste	90°	1.287	1.614,40
Sudoeste	225°	1.134	1.439,60
Sudeste	135°	1.124	1.418,00
Sul	180°	1.044	1.331,70

Fonte: Autora com base em Global Solar Atlas (ESMAP, 2021).

Observa-se que as áreas orientadas para o sudoeste, sudeste e sul recebem a menor irradiação solar e, conseqüentemente, propiciam a menor produção energética. Assim, optou-se por eliminar as áreas com inclinação a partir de 1% dispostas para essas orientações solares, pois entende-se que para manter o princípio de sustentabilidade do sistema não cabe a maior utilização de infraestrutura para compensar o desnível, nem a ampliação da área utilizada ou movimentações de terras em prol da melhor produção do sistema. Os dados de orientação das encostas foram obtidos com o MDE das imagens do satélite ALOS (2011), com resolução média de 12,5m.

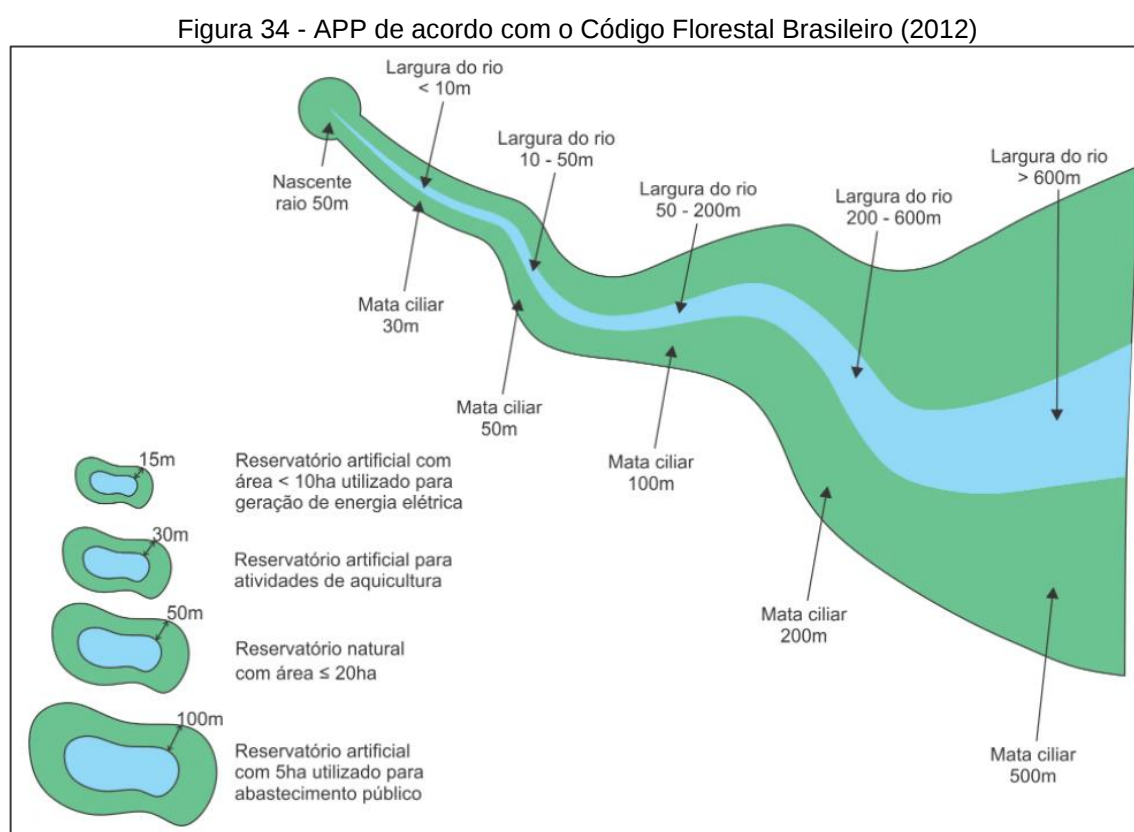
3.3.1.6 Áreas de vegetação nativa e de preservação permanente

As Áreas de Preservação Permanente (APP) se constituem em locais protegidos, cobertos ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Foram estabelecidas como APP de acordo com a Lei 12.651/2012 conhecida como “Código Florestal”, as altitudes acima de 1.800 m, as áreas com declividade superior a 45°, os topos de morro com altura mínima de 100 m e declividade superior a 25°. Além disso, o entorno de corpos hídricos também exigem áreas de APP, as

especificidades de acordo com as dimensões e características destes podem ser analisadas na Figura 34.

Vale ressaltar que, a área dos trechos de drenagem não foi contabilizada por sua geometria ser do tipo linha, porém, na tabela de atributos desta camada consta a categorização dos rios em menor que 10m, de 10 – 50 m, de 50 – 200 m, de 200 – 600 m e mais de 600 m possibilitando, assim, a identificação da APP dos mesmos. Nesse sentido, a APP dos trechos de drenagem contabiliza a área dos rios de até décima ordem no contexto da hierarquia fluvial.



Fonte: Hendges, 2014.

Somado a isso tem-se a área da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA) que está presente em vários estados do Brasil, inclusive no Rio Grande do Sul e na região do COREDE Central. Os dados de APP foram obtidos por meio do arquivo em formato *raster* (MDE) do satélite ALOS (2011), com resolução média de 12,5m, e dos arquivos *shapefile* disponibilizados pela SEMA/FEPAM (2018), na escala 1:25.000. Já os dados da RBMA foram obtidos no formato *shapefile* fornecidos pela FEPAM (2009), na escala 1:250.000

3.3.1.7 Áreas úmidas e passíveis de inundação

As áreas úmidas, são aquelas que contém água permanentemente, porém, em uma quantidade não comparável à uma massa d'água, propriamente dita (SEMA/FEPAM, 2018). Já as áreas passíveis de inundação conforme Coelho (2016), é o transbordamento ou extravasamento das águas de um canal de drenagem atingindo as áreas marginais, ou seja, a planície de inundação ou área de várzea. Os dados georreferenciados em formato *shapefile* das áreas úmidas e passíveis de inundação, foram obtidos no banco de dados SEMA/FEPAM (2018) na escala 1:25.000.

3.3.2 Identificação e Elaboração do Banco de Dados Espacial dos Critérios de Ponderação

Os critérios de ponderação são elementos espaciais que tem interferência na escolha da localização de parques FV, sendo que para esses é necessário a atribuição de pesos de acordo com a importância/influência que cada um exerce nesse processo. Posteriormente, com os pesos identificados, cabe realizar a sobreposição dessas camadas para identificar as áreas mais adequadas. Para identificar os critérios de ponderação referenciou-se, nas particularidades da região e nas bases teóricas mencionadas no Capítulo 2.9.

Entretanto, antes de nos aprofundarmos nos critérios de ponderação, é importante entender que esses apresentam diferentes análises para um mesmo critério, assim, ao longo da descrição dos mesmos será usado os termos: altamente adequado (1) para as áreas e/ou elementos entendidos como ideais, seguido por mais adequado (2), moderadamente adequado (3), marginalmente adequado (4) e, por fim, menos adequado para áreas e/ou elementos mais distantes a solução ideal. Assim, adotou-se para a região do COREDE Central os seguintes critérios de ponderação:

3.3.2.1 Áreas com declividade de até 20%

A declividade das áreas possui um impacto, principalmente, no viés econômico da instalação de parques FV, com isso, para a presente análise delimitou-se áreas com declividade de até 20%. Assim, com base na distribuição das classes de

Declividade da Embrapa (1979), já relacionadas no item 3.3.1.4, classificou-se as áreas com declividade de 0-3% (Plano) como as altamente adequadas, de 3-8% (Suave-ondulado) como mais adequadas e de 8-20% (Ondulado) como moderadamente adequadas.

3.3.2.2 *Índice de irradiação solar*

Ter conhecimento da irradiação solar na região é fundamental para identificar as áreas de maior potencial, já que esse elemento tem efeito direto sobre o desempenho e a produção de energia do sistema. Urbanetz Junior et al. (2018), ao realizar a análise (de 2012 a setembro de 2017) da operação do sistema FV do edifício *Green Office* localizado na Universidade Federal de Tecnologia do Paraná, campus de Curitiba, identificou que a geração de energia elétrica é proporcional a irradiação incidente no módulo fotovoltaico. Além disso, nos meses de verão (maior incidência solar) há maior geração de energia elétrica e nos meses de inverno (menor incidência solar) há menor geração (URBANETZ JUNIOR et al., 2018).

Para analisar a irradiação solar no território do COREDE Central obteve-se o arquivo em formato *shapefile* junto ao Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN) / Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), (PEREIRA, 2017). De acordo com os índices de irradiação, na média anual do total diário, há uma variação na região de 4.671 Wh/m².dia a 4.933 Wh/m².dia. Dessa forma, Classificou-se esses índices em cinco categorias sendo elas: 4.933 a 4.851 (Wh/m².dia) altamente adequado; 4.850 a 4.801 (Wh/m².dia) mais adequado; 4.800 a 4.751 (Wh/m².dia) moderadamente adequado; 4.750 a 4.701 (Wh/m².dia) marginalmente adequado; 4.700 a 4.671 (Wh/m².dia) as áreas menos adequadas.

3.3.2.3 *Orientação solar das encostas*

A orientação solar possui relação com os níveis de irradiação solar e, conseqüentemente, sobre o desempenho do sistema FV. Para o hemisfério sul é recomendado que o módulo fique disposto ao norte com uma declividade próxima a latitude local. Entretanto, isso não restringe o uso de outras orientações solares, com

ressalva as orientações sul, sudeste e sudoeste as quais apresentam os menores índices de irradiação solar. Como já mencionado no item 3.3.1.5, de acordo com a simulação realizada para o município de Santa Maria – RS, na ferramenta online disponibilizado pela Global Solar Atlas, pôde-se observar que os melhores índices de irradiação e potencial FV foram, em ordem decrescente: norte, noroeste, nordeste, oeste e leste.

Dessa forma, para esta análise a orientação norte é considerada altamente adequada, a noroeste mais adequada, a nordeste moderadamente adequada, a oeste marginalmente adequada e leste a orientação solar menos adequada. Salienta-se que as orientações sudoeste, sudeste e sul (com declividade a partir de 1%) foram eliminadas nos critérios restritivos, uma vez que, está pesquisa preza pelo maior desempenho energético com o menor uso e movimentação do solo, bem como o menor uso de infraestrutura para a instalação do sistema.

3.3.2.4 Concentração populacional

A região do COREDE Central apresenta uma densidade demográfica com acentuada variação entre os municípios, do total de 414.256 habitantes estimados pelo IBGE (2020), 283.677 (68%) concentram-se em Santa Maria. Considerando que a densidade demográfica e o consumo energética estão inter-relacionados e que a instalação dos parques FV próximos aos centros de maior consumo tendem a reduzir perdas técnicas no transporte da energia, classificou-se os dezenove municípios da região em cinco categorias conforme o Quadro 12.

Quadro 12 - Número de habitantes por município do COREDE Central

Município	População	Classificação
Ivorá	1.881	Menos Adequado
Silveira Martins	2.374	Menos Adequado
São João do Polêsine	2.543	Menos Adequado
Toropi	2.772	Menos Adequado
Quevedos	2.790	Menos Adequado
Dona Francisca	2.999	Menos Adequado
Dilermando de Aguiar	3.002	Marginalmente Adequado
São Martinho da Serra	3.231	Marginalmente Adequado
Jari	3.486	Marginalmente Adequado
Pinhal Grande	4.329	Marginalmente Adequado

Itaara	5.537	Marginalmente Adequado
Nova Palma	6.515	Moderadamente Adequado
Formigueiro	6.616	Moderadamente Adequado
Faxinal do Soturno	6.663	Moderadamente Adequado
São Pedro do Sul	16.148	Mais Adequado
Agudo	16.401	Mais Adequado
Júlio de Castilhos	19.224	Mais Adequado
Tupanciretã	24.068	Mais Adequado
Santa Maria	283.677	Altamente adequado

Fonte: Autora, com base em IBGE (2020).

3.3.2.5 Proximidade com o sistema viário

O sistema viário (rodovias e ferrovia), em geral, trata-se de uma malha já consolidada na região e sua área efetivamente ocupada já foi eliminada nos critérios restritivos. Entretanto, prezar pela proximidade da instalação de parques FV ao sistema viário é fundamental tanto por aspectos econômicos quanto ambientais, já que, haverá um significativo volume de materiais a serem transportados até os locais designados para a implantação de sistemas FV. Com isso, classificou-se as distâncias em cinco categorias sendo: 0 a 1 km altamente adequado; 1 km a 2 km mais adequado; 2 km a 3 km moderadamente adequado; 3 km a 4 km marginalmente adequado; 4 km a 5,05 km (distância máxima encontrada na região) as áreas menos adequadas.

3.3.2.6 Proximidade com a subestação de transmissão de energia

A região do COREDE Central possui uma subestação de transmissão de energia operada pela Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE GT) com uma tensão de 230/138/69 kV, esse elemento se caracteriza por distribuir a energia elétrica produzida nas usinas, pequenas centrais geradoras ou centrais geradoras. A energia ao passar por essa central pode ter sua tensão aumentada para diminuir as perdas técnicas no transporte de energia ou diminuída para viabilizar o transporte e suprimento da energia gerada às empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas de distribuição que atuam na região. Nesse sentido, classificou-se as distâncias em cinco categorias sendo: 0 a 30 km altamente adequado; 30 a 45 km mais adequado; 45 a 60 km moderadamente

adequado; 60 a 75 km marginalmente adequado; 75 a 94,90 km as áreas menos adequadas. A camada *shapefile* das Subestações de Transmissão, foi obtida junto ao banco de dados da ONS (2021), na escala 1:250.000.

3.3.2.7 Proximidade com as redes de transmissão de energia

A implantação de parques FV próximos as redes de transmissão de energia possibilitam ganhos econômicos e ambientais, pois a necessidade da instalação de longas linhas de transmissão torna-se um processo oneroso, com impactos ambientais e na paisagem. Assim, com base nas linhas de transmissão existentes na região classificou-se as distâncias em cinco categorias sendo: 0 a 10 km altamente adequado; 10 a 20 km mais adequado; 20 a 40 km moderadamente adequado; 40 a 60 km marginalmente adequado; 60 a 95,49 km as áreas menos. A camada *shapefile* das Redes de Transmissão, foi obtida junto ao banco de dados da ONS (2021), na escala 1:250.000.

3.3.2.8 Proximidade com os centros urbanos e povoados rurais

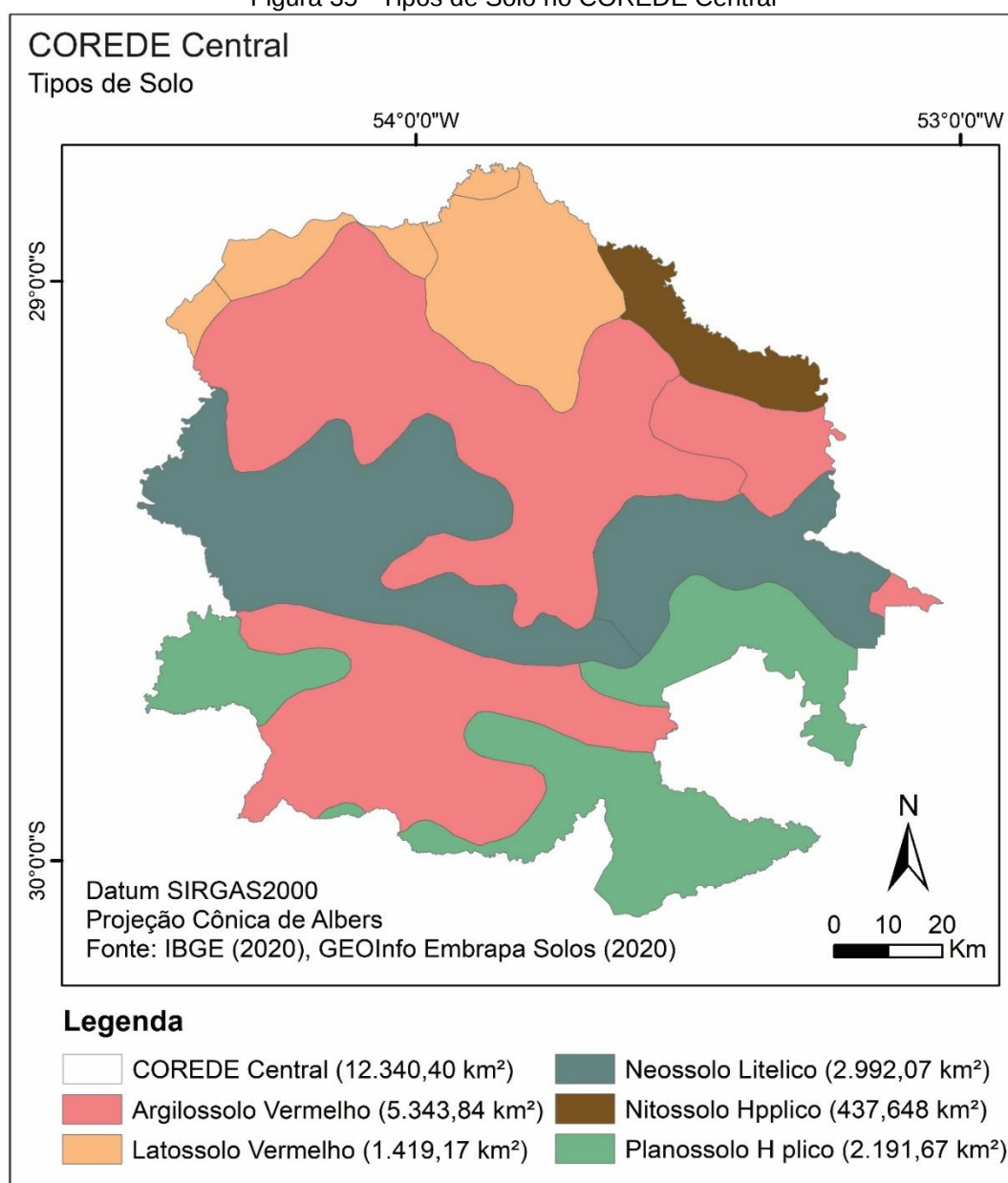
A proximidade com os centros urbanos e povoados também se caracteriza como uma questão relevante, pois são as áreas com a maior concentração de pessoas e, por consequência, onde há o maior consumo energético. Possibilitar essa adjacência é um meio de reduzir não só as perdas técnicas do sistema em detrimento do Efeito Joule como também econômicas e ambientais já que exige menos infraestrutura para o transporte da energia. Assim, como nos demais critérios de ponderação classificou-se as distâncias dos centros urbanos e povoados em cinco categorias sendo: 0 a 5 Km a mais adequada; 5 Km a 10 Km altamente adequado; 10 Km a 15 Km moderadamente adequado; 15 Km a 20 Km marginalmente adequado; 20 a 29,10 Km (distância máxima encontrada na região) as áreas menos adequadas.

3.3.2.9 Capacidade agrícola dos solos

Cabe destacar que nos estudos analisados muitos fazem uso da capacidade agrícola do solo como critério de ponderação, priorizando as áreas com menor

potencial agrícola para a instalação dos parques FV. Entretanto, esta pesquisa não faz distinção com relação aos diferentes tipos de solo presentes no COREDE Central (Figura 35), visto que, uma vez encontrada as áreas mais adequadas para a instalação de sistemas solares FV na forma de geração centralizada, indica-se que sua distribuição sobre o solo se dê na forma *Land Integrated Photovoltaics (LIPV) / Agrivoltaic*.

Figura 35 - Tipos de Solo no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em GEOInfo Embrapa Solos (2020).

Salienta-se que a capacidade agrícola, de determinado local, não deve ser entendida como um resultado direto de sua pedologia, no entanto, esse aspecto fisiográfico é item fundamental nas análises do solo. Diante disso, conforme a Embrapa (2018), no Brasil predomina os Latossolos, Argissolos e Neossolos, que juntos se distribuem em aproximadamente 70% do território nacional. Desse total, há ainda o predomínio das classes Latossolos e Argissolos que representam 58% do território, ambos são solos profundos, altamente intemperizados, ácidos, de baixa fertilidade natural e, em certos casos, com alta saturação por alumínio.

Em menor proporção, há os Neossolos, Luvisolos, Planossolos, Nitossolos, Chernossolos e Cambissolos que, de modo geral, possuem uma média a alta fertilidade sendo, na maior parte, pouco profundos em decorrência de seu baixo grau de intemperismo (EMBRAPA, 2018). Com base nos solos presentes no COREDE Central, Benedetti (2006), destaca que os Neossolos possuem aptidão para o reflorestamento e fruticultura, os Planossolos são adequados para o cultivo de arroz irrigado, milho, soja e pastagens e nos Argissolos há um predomínio de vegetação rasteira. Souza e Lobato (2021), indicam que os Latossolos são passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento e os Nitossolos têm aptidão boa para lavouras e demais usos agropastoris (SOUZA;LOBATO, 2021).

Com isso, entende-se que integrando o sistema de produção energética e agropecuária pode haver um maior aproveitamento do uso do solo, assim como demonstrado nos estudos da Universidade de Piacenza, na Itália, em que algumas culturas como o milho, por exemplo, demonstraram melhor rendimento em sua produção com o uso de módulos com rastreamento solar (REM TEC, 2021). Ou como destacado por Wang et al. (2019), que houve um aumento geral da produtividade da terra, em torno de 22%, com o uso compartilhado entre módulos fixos e a cultura de trigo.

Além disso, destaca-se o estudo realizado na Faculdade de Ciências Agrárias da *Oregon State University*, o qual demonstrou que a integração dos painéis solares na agricultura ajuda as plantas a crescerem não só com mais eficiência, como também com menor consumo de água. Conforme Higgins (2021), isso se dá pelo fato de que as plantas têm um limite de utilização da luz solar, o chamado ponto de saturação de luz, uma vez alcançado esse ponto não há aumento na fotossíntese ou no crescimento das plantas, e sim apenas um aumento na sua demanda de água.

Somado a isso, as plantas ajudam a manter os painéis solares a uma temperatura mais amena, o que os torna mais eficientes, esse estudo em questão mostrou um aumento de 10% na produção de eletricidade (HIGGINS, 2021). Outro estudo realizado, com o uso de vegetação sob os painéis FV foi realizado por Peter Irga na *University of Technology de Sydney*, em que no topo de dois prédios dispostos lado, em um instalou-se o sistema solar FV convencional, e no outro cercaram os painéis com plantas e folhagens.

Após o período de oito meses de análise, o resultado foi que o “telhado verde” melhorou o desempenho em até 20% nos horários de pico e em 3,6% ao longo do experimento gerando, assim, 9,5 MWh adicionais. Ademais, em dias quentes a temperatura da superfície no telhado verde era até 20° mais baixa em comparação ao que não possuía as vegetações (MALONE, 2021). Dessa forma, o *agrivoltaic* é uma relação simbiótica em que tanto os painéis solares quanto as plantas se beneficiam porque ajudam uns aos outros a ter um melhor desempenho. Trata-se de uma relação ganha-ganha-ganha entre os três elementos mais fundamentais da vida moderna: comida, água e energia (HIGGINS, 2021).

3.4 ELABORAÇÃO DO MAPEAMENTO EM SIG

Após a identificação dos critérios restritivos e obtenção das camadas *shapefile* e *raster* iniciou-se o desenvolvimento do mapeamento da região no SIG ArcGIS, sua última versão é o ArcGIS PRO. A ESRI, empresa americana responsável pelo ArcGIS, disponibilizou pelo período de um ano a licença de estudante original de forma gratuita para que seus usuários fizessem a migração do ArcGIS Desktop para o ArcGIS Pro possibilitando, assim, a utilização dessa ferramenta para a elaboração desta pesquisa. Com isso, em ambiente SIG, primeiramente, coube a importância de identificar qual a projeção cartográfica que atenderia de forma mais adequada o objetivo principal da análise que, neste caso, é a obtenção das áreas de cada camada restritiva e da área disponível para a instalação de parques FV no COREDE Central.

Para isso, embasou-se no sistema de projeção utilizado para a medição das áreas municipais pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que utiliza como referencial cartográfico, coordenadas geográficas (latitude e longitude), e recomenda a Projeção Cônica Equivalente de Albers, já que essa projeção não deforma as áreas, isto é, as áreas na carta guardam uma relação constante com as suas correspondentes na superfície da Terra (IBGE, 2019). Entretanto, no SIG essa projeção vem com o Sistema de Referência (*Datum*) SAD69, e como já mencionado, desde 2005, o *Datum* oficial do Brasil é o SIRGAS2000. Com isso, criou-se uma projeção personalizada no SIG que utiliza o sistema de coordenadas Projeção Cônica Equivalente de Albers e o *Datum* SIRGAS2000 valendo-se dos parâmetros recomendados pelo IBGE, conforme Figura 36.

Figura 36 - Parâmetros Projeção Equivalente de Albers/SIRGAS2000

Longitude origem: -54°
Latitude origem: -12°
Paralelo padrão 1: -2°
Paralelo padrão 2: -22°
Unidade de trabalho: km

Fonte: Base Cartográfica - BC250 (IBGE, 2019).

Embora o cálculo das áreas não seja afetado com os parâmetros originais da projeção se comparados com os indicados pelo IBGE. A aplicação desses parâmetros se dá visando evitar distorções visuais da área analisada, visto que, se alterou o *Datum* de SAD69 para SIRGAS2000. A utilização desta projeção personalizada é recomendada para áreas que fazem parte de mais de um Fuso UTM como, por exemplo, o território brasileiro que é cortado por 8 fusos, o território do RS e do COREDE Central que são cortados por 2 fusos. Destaca-se que essa mesma projeção foi utilizada na elaboração dos mapas do Atlas Eólico e Solar do RS.

Feito isso, configurou-se o SIG para a utilização da projeção personalizada, e reprojeteu-se o *shapefile* dos municípios do RS disponibilizado pelo IBGE (2020) para a mesma projeção, extraiu-se os 19 municípios que compõem o COREDE Central. Em seguida, calculou-se a área da região no SIG que resultou em 12.384,40 km², e comparou-se com a área disponibilizada para os 19 municípios pelo IBGE (2020) que juntos também somaram 12.384,40 km², demonstrando assim, a correta projeção do sistema.

3.4.1 Elaboração do mapeamento em SIG das camadas restritivas

Primeiramente, criou-se uma máscara, ou seja, uma camada *shapefile* com a delimitação externa dos 19 municípios que compõem a região, essa serviu de base para o recorte dos demais *shapefiles* posteriormente. Dessa forma, para as camadas da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA), as áreas inundáveis e úmidas o processo foi reprojeter as camadas para o sistema Albers/SIRGAS2000, recortar a região de interesse com o auxílio da máscara e da ferramenta *clip* para então calcular a área restritiva de cada camada com a unidade de medida de superfície em km², unidade essa que será trabalhada em todas as demais camadas.

O sistema viário seguiu o mesmo processo de reprojeter para o sistema Albers/SIRGAS2000 e recortar a região de interesse com o auxílio da máscara e da ferramenta *clip*. Contudo, essa camada é disponibilizada pela SEMA/FEPAM (2018), no formato de linhas o que impossibilita o cálculo da área ocupada por essa infraestrutura. Visando obter essas áreas, para a ferrovia utilizou-se a largura de sua faixa de domínio que é 30 metros com base na Lei N° 6.766/2019, dessa forma, aplicou-se a ferramenta *buffer* com uma distância de 15 metros do eixo na camada da ferrovia. Para as rodovias, buscou-se um valor aproximado para fins de cálculo, onde

foi considerado sua faixa de domínio de 30m, mais 10m de faixa não edificável, de acordo com a atualização da Lei N° 6.766/2019, com isso, aplicou-se um *buffer* com uma distância de 20 metros do eixo da camada das rodovias, em seguida, aplicou-se a ferramenta *dissolve* tanto na camada da ferrovia quanto das rodovias para eliminar as áreas sobrepostas e, então, procedeu-se o cálculo de suas respectivas áreas.

Os centros urbanos e povoados foram obtidas através do *shapefile* do mapeamento dos Setores Censitários, elaborado no ano de 2020, pelo IBGE. Para a obtenção desses dados reprojeteu-se a camada, recortou-se a mesma com o auxílio da máscara e da ferramenta *clip*, e aplicou-se a ferramenta *dissolve* para eliminar a delimitação dos Setores Censitários, uma vez que, a área de interesse da presente análise se restringe aos limites das áreas habitadas nas zonas rurais e urbanas e, em seguida, efetuou-se o cálculo das áreas.

Os cursos de água foram obtidos em formato *shapefile* sendo os trechos de drenagem representados em forma de linhas, enquanto que os trechos de massa d'água, massa d'água e ilhas em forma de polígono. Reprojeteu-se todas as camadas com a ferramenta *project*, e com o *clip* e a máscara recortou-se para a área de interesse. A área dos trechos de drenagem não foi contabilizada neste estudo, pois os dados obtidos no formato de linha inviabilizam seu cálculo. Porém, as áreas de APP do entorno desses trechos de drenagem foram calculadas, isso foi possível porque na camada de atributos do *shapefile* consta a largura de cada trecho de drenagem categorizada com os mesmos critérios das Áreas de Preservação Permanente do Código Florestal (BRASIL, 2012), ou seja, menor que 10 m – 10 a 50 m – 50 a 200 m – 200 a 600 m e acima de 600 m de largura. Com essas informações selecionou-se cada categoria na camada de atributos e exportou-se criando cinco novas camadas *shapefile*. Posteriormente, de acordo com cada categoria aplicou-se *buffers* de 30, 50, 100, 200 e 500 m, conforme os critérios do Código Florestal.

Feito isso, para obter a área total ocupada pela APP dos trechos de drenagem sem sobreposições, primeiramente, utilizou-se a ferramenta *merge* para juntar esses cinco novos *shapefile* e, posteriormente, a ferramenta *dissolve* para tirar a sobreposição de áreas APP, feito esse processo, calculou-se a área ocupada. Já para os trechos de massa d'água, massa d'água e ilhas foi possível calcular a área que esses critérios ocupam, pois estavam representados em forma de polígonos. Entretanto, para essas camadas não foram consideradas as áreas de APP devido a complexidade de identificar a função que cada unidade possui, e o contexto territorial

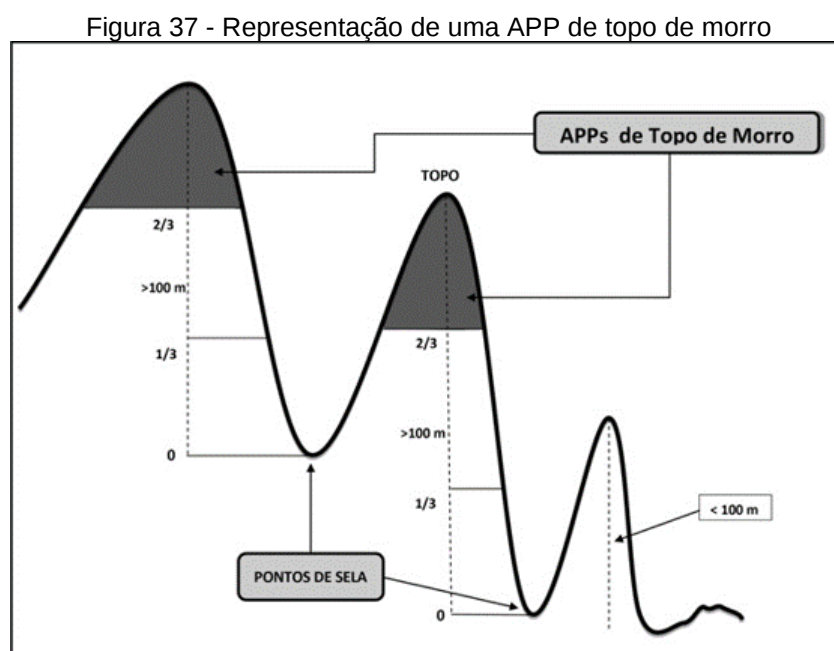
em que esta inserida, para viabilizar a aplicação de *buffers* conforme o Código Florestal.

Para identificar as áreas com declividade superior a 20% utilizou-se o MDE do satélite ALOS - Daichi. Feito o *download* dos dados, primeiramente, foi necessário unir as diferentes imagens que cobrem a área de interesse com a ferramenta *mosaic to new raster*, em seguida, recortou-se a imagem com o auxílio da máscara por meio da ferramenta *extract by mask*, e aplicou-se a ferramenta *Fill*, visando corrigir possíveis imperfeições no MDE. Posteriormente, aplicou-se a ferramenta *slope* com a declividade em percentual como parâmetro o que resultou em uma nova camada com diferentes categorias. Contudo, como objetiva-se apenas duas (até 20% e acima de 20%) utilizou-se a ferramenta *reclassify* obtendo, assim, as duas categorias almeçadas.

Como esse processo resulta em uma camada *raster* a qual não é possível calcular a área foi necessário aplicar a ferramenta *raster to poligon* que gerou uma nova camada *shapefile* em que as áreas com declividade superior a 20% são representadas na forma de polígonos, possibilitando então o cálculo da área. O mesmo processo foi realizado para se obter as áreas de APP com declividade superior a 45°, conforme o Código Florestal. Porém, ao aplicar a ferramenta *slope* foi utilizado como parâmetro o cálculo em graus, e ao aplicar a ferramenta *reclassify* as duas categorias solicitadas foram de até 45° e acima de 45°. Com relação a análise de APP de altitude superior a 1.800 m utilizou-se o MDE da região de interesse já corrigido com a aplicação do *Fill*, para este caso bastou a análise da altitude máxima e mínima fornecida pelo o MDE, que para a região é de 18 a 623 m de altitude (ALOS, 2011), logo o COREDE Central não possui APP acima de 1.800m.

Para identificar as encostas orientadas ao sul, sudeste e sudoeste com o MDE da região já pronto (processo feito para identificar as áreas com declividade superior a 20%), aplicou-se a ferramenta *aspect* este procedimento resultou em uma camada *raster* com a indicação da orientação das encostas, sendo elas: norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste, noroeste e a localização das áreas planas. Em seguida, aplicou-se a ferramenta *reclassify* e, posteriormente, *raster to poligon* que gerou uma camada *shapefile* a qual possibilitou a seleção na tabela de atributos apenas das orientações de interesse, ou seja, sul, sudeste e sudoeste e calcular a área que essas orientações ocupam na região.

Por fim, uma avaliação um tanto mais complexa se refere a APP de Topo de Morro, uma vez que, de acordo com o Código Florestal os “ topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e declividade média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo está definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d’água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação (BRASIL, 2012), são caracterizadas áreas como APP de Topo de Morro, na Figura 37 pode-se analisar essa delimitação.



Fonte: Eugenio et al. (2017).

Assim, primeiramente deve-se identificar onde estão os pontos de topo e os pontos de sela, e qual sua respectiva altitude. Cabe destacar que para esta análise utilizou-se o MDE disponibilizado pelo TOPODATA/INPE (2021), com resolução de 30m. Assim, após o *download* dos dados foi necessário unir as diferentes imagens que cobrem a área de interesse com a ferramenta *mosaic to new raster*, em seguida, recortou-se a imagem com o auxílio da máscara por meio da ferramenta *extract by mask*, e aplicou-se a ferramenta *Fill*, visando corrigir possíveis imperfeições no MDE.

O trabalho para a obtenção desses dados iniciou sobre o MDE já corrigido com a aplicação do *Fill*, dessa forma, inverteu-se o MDE com a ferramenta *Minus*, resultando na delimitação da base hidrológica dos morros. Em seguida, determinou-

se a direção do fluxo da água com a ferramenta *Flow Direction* e delimitou-se todas as bacias de drenagem com a ferramenta *basin*. O processo até então foi realizado sobre o MDE em formato de *raster*, contudo, posteriormente, converteu-se em *shapefile* o arquivo resultante da aplicação do *basin* com a ferramenta *raster to polygon*.

Com a aplicação da ferramenta *zonal statistics* no arquivo *shapefile* da base hidrológica dos morros, identificou-se os pontos de topo, ou seja, o ponto de altitude máxima para cada topo de morro da região. Em seguida, utilizou-se a *raster calculator* para encontrar esse mesmo ponto no MDE (*raster*). Com os pontos de topo de morro identificados no MDE, aplicou-se a ferramenta *conde* de condicional para obter uma camada apenas com os pontos mais altos dos topos de morro, e depois aplicou-se a ferramenta *raster to point* para transformar esses pontos obtidos em formato *raster* para pontos no formato *shapefile*. Entretanto, ao abrir a tabela de atributos desses pontos no formato *shapefile* observa-se que não tem a informação da altitude de cada morro, para conseguir essa informação utilizou-se a ferramenta *add surface information*, esse processo resultou na identificação da altitude máxima em metros de cada morro da região analisada.

Identificados a localização e altitude dos topos de morro, cabe a identificação dos pontos de sela. Para isso, a partir do MDE com a base hidrológica dos morros aplicou-se a ferramenta *features to line* para transformar o arquivo de *raster* para *shapefile*, em seguida, utilizou-se a *zonal statistics* para obter o ponto de sela (cota máxima das linhas da base dos morros). Com a utilização da *raster calculator* selecionou-se os pontos que deram iguais no resultado do *zonal statistics* e no MDE, assim, apenas os pontos de sela serão selecionados.

Aplicou-se então a ferramenta *con* para obter uma camada apenas com os pontos de sela, e transformou-se os pontos obtidos em *raster* para *shapefile* com a ferramenta *raster to point*. Em seguida, aplicou-se a ferramenta *add surface information* para obter a cota de altitude da sela. Com a ferramenta *generate near table* gerou-se uma tabela de proximidade entre o topo de morro e seu respectivo ponto de sela, com a ferramenta *join* foi possível trazer para a tabela de proximidade a altitude do ponto de morro, esse mesmo processo fez-se para trazer a altitude dos pontos de sela.

Com isso, pode-se calcular a diferença de altitude entre os pontos de topo e os pontos de sela na tabela, essa informação foi levada, então, para o *shapefile* dos

pontos de topo de morro com o uso da ferramenta *join* onde relacionou-se a tabela de proximidade ao *shapefile* dos pontos de topo. Em seguida, aplicou-se um *spacial join* para passar a informação da diferença de altitude que está na camada dos pontos de morro para a camada dos polígonos das bases hidrológicas. Agora, já foi possível usar o *select by attributes* e selecionar apenas os polígonos (morros) que tenham diferença maior que 100 m e exportá-los para uma nova camada *shapefile*, atendendo ao primeiro critério do Código Florestal (2012).

Para o critério de declividade média, aplicou-se a ferramenta *zonal statistics* com as camadas de entrada (1) *shapefile* com o polígono dos morros com altura mais de 100 m (2) *raster* com a declividade calculada em graus com a ferramenta *slope*. Após esse processamento, aplicou-se a ferramenta *reclassify* com a categorização de até 25° e acima de 25°, e identificou-se que não havia morros com declividade superior a 25°, ou seja, não foi localizado APP de topo de morro no COREDE Central.

Com todas as camadas restritivas obtidas elaborou-se tanto os mapas individuais de cada critério quanto um mapa com todas as camadas sobrepostas para possibilitar a visualização desses critérios sobre a região. Entretanto, com todos os processos realizados até então foi possível obter apenas a área que cada critério ocupa na região de forma individual, cabe então identificar a área que efetivamente é restrita, uma vez que, há sobreposição dos critérios resultando em um somatório de área maior do que de fato ocorre.

Sendo assim, com a ferramenta *merge* uniu-se os seguintes arquivos *shapefiles*: (1) centros urbanos e povoados, (2) ferrovia, (3) rodovias, (4) áreas orientadas ao sul, sudeste e sudoeste (5) áreas com declividade superior a 20%, (6) áreas com declividade superior a 45°, (7) APP dos trechos de drenagem, (8) APP da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, (9) ilhas, (10) massa d'água, (11) trecho de massa d'água, (11) áreas úmidas e (12) áreas inundáveis, o que resultou em um novo arquivo *shapefile*. Feito isso, aplicou-se a ferramenta *dissolve* na camada gerada anteriormente e eliminou-se todas as áreas sobrepostas possibilitando, então, o cálculo da área efetivamente restrita na região e, em seguida, elaborou-se um mapa para a visualização dos critérios restritivos em uma camada única sobre o COREDE Central.

3.4.2 Elaboração do mapeamento em SIG das camadas de ponderação

Diferentemente das camadas restritivas as camadas de ponderação apresentam diferentes pesos, conforme já descrito no item 3.3.2. Destaca-se que as camadas de ponderação finais serão todas no formato *raster*, visto que, posteriormente, para haver a sobreposição das mesmas e a identificação das áreas categorizadas (altamente adequado, mais adequado, moderadamente adequado, marginalmente adequado e menos adequado) por meio da ferramenta *weighted overlay* é necessário este formato de arquivo.

Assim, com base nos arquivos previamente obtidos na elaboração das camadas restritivas foi necessário obter ainda os dados das linhas de transmissão, da subestação e dos índices de irradiação solar. Em posse dessa informação, para os três arquivos, reprojeteu-se para o sistema de coordenadas Albers/SIRGAS2000, e aplicou-se a ferramenta *clip* com base na máscara do COREDE Central obtendo novos arquivos *shapefile* com os dados apenas da região.

Dos oito critérios de ponderação analisados, quatro realizou-se o mesmo processo, sendo os critérios relativos à proximidade (centros urbanos e povoados, sistema viário, linhas de transmissão e subestação). Dessa forma, aplicou-se a ferramenta *euclidean distance* para cada um destes critérios. De modo que esse processo ocorresse apenas dentro dos limites do COREDE Central na ferramenta *euclidean distance* na opção *enviroments – processing extent* selecionou-se a opção *same as display* e na opção *raster analysis (mask)* colocou-se a máscara com o limite territorial da região. Como resultado obteve-se quatro camadas *raster* com diferentes categorizações e distâncias. Entretanto, para ficar de acordo com as cinco categorias previamente estipuladas no item 3.3.2 utilizou-se a ferramenta *reclassify*, e ajustou-se as distâncias conforme as especificidades de cada critério.

A camada de declividade já havia sido obtida na elaboração da camada restritiva das áreas acima de 20%, então aplicou-se apenas a ferramenta *reclassify* fazendo uso de três categorias de interesse conforme as classes de declividade propostas pela EMBRAPA (1979), sendo elas: 0-3% (plano), 3-8% (suave-ondulado) e 8-20% (ondulado). A camada com a orientação das encostas também foi obtida na elaboração dos critérios restritivos, sendo que as orientações sul, sudeste e sudoeste são entendidas como restritas e as demais terão os pesos de acordo com o item 3.3.1.5.

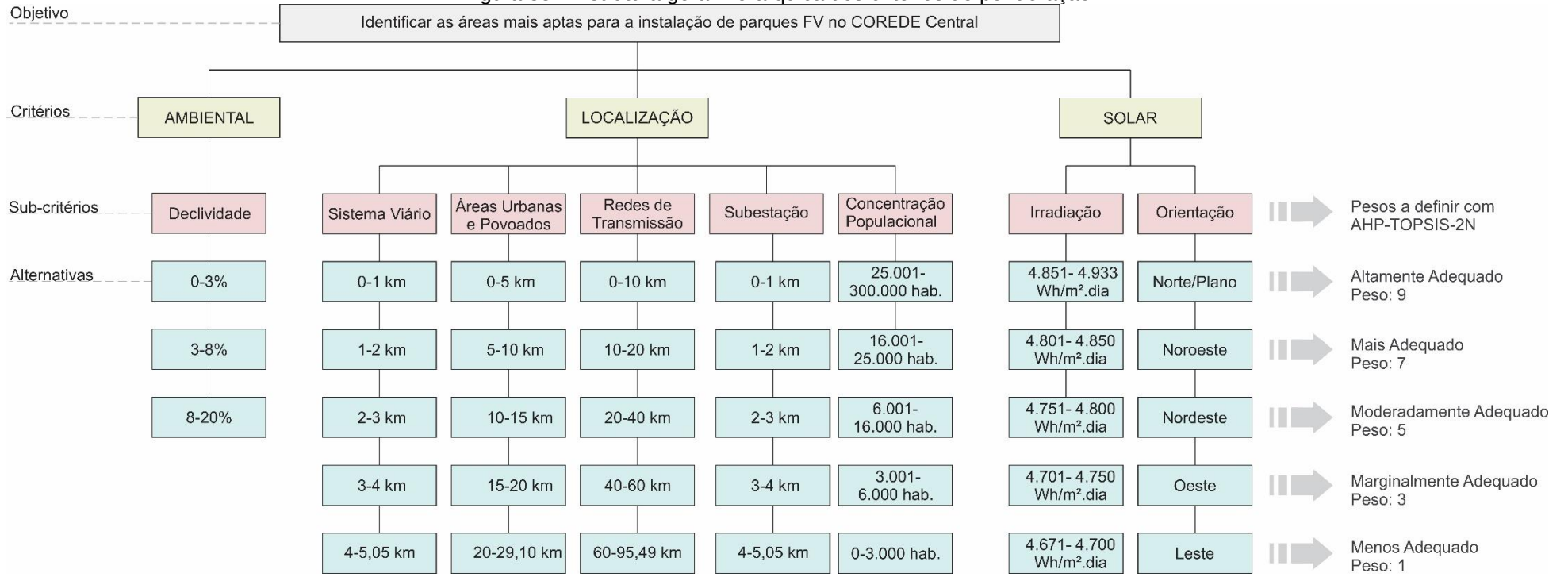
Com o arquivo dos dados de irradiação solar já recortado para a região e reprojetoado para o sistema de coordenadas Albers/SIRGAS2000 converteu-se o arquivo *shapefile* com o uso da ferramenta *polygon to raster* e, por fim, o *reclassify* para se obter as cinco categorias (altamente adequado, mais adequado, moderadamente adequado, marginalmente adequado e menos adequado).

Para o critério de concentração populacional, utilizou-se o *shapefile* com os municípios do COREDE Central obtido anteriormente. Após, fez o levantamento da estimativa populacional disponibilizada pelo IBGE (2020). Com esses dados, criou-se uma nova coluna na tabela de atributos e agregou-se essa informação ao *shapefile* dos municípios. Com a ferramenta *polygon to raster* gerou-se um arquivo *raster* e, em seguida, a ferramenta *reclassify* de modo que os 19 municípios fossem dipostos nas cinco categorias almejadas.

Após obter todas as camadas de ponderação no formato *raster* houve a necessidade de identificar o peso que cada critério/sub-critério possui na escolha dos locais para a instalação de parques FV. Destaca-se que a estrutura hierárquica dos critérios de ponderação se constitui em critérios, sub-critérios e alternativas. Para a produção dos mapas com as áreas mais aptas para a instalação dos parques FV é necessário aplicar o peso dos sub-critérios em percentual e das alternativas em números inteiros. O peso das alternativas trata-se de número quantificáveis (conforme Figura 38), assim, com base na escala de Saaty os pesos a serem aplicados são os seguintes: Altamente Adequado (9), Mais Adequado (7), Moderadamente Adequado (5), Marginalmente Adequado (3) e Menos Adequado (1).

Por outro lado, os sub-critérios tratam-se de questões não quantificáveis, nesse sentido, qualquer ordenamento de prioridade ou mesmo manter o mesmo peso para todos os sub-critérios seria uma avaliação subjetiva do pesquisador. Dessa forma, para identificar o peso desses critérios de forma imparcial fez-se uso da ferramenta de Apoio na Tomada de Decisão AHP-TOPSIS-2N, que se constitui em um método matemático híbrido constituído por duas técnicas de tomada de decisão multicritério que são, usualmente, adotadas em cenários complexos, caracterizados pela presença de objetivos múltiplos e conflitantes (COLOMBO; SANTOS; GOMES, 2020). A estrutura hierárquica do método, bem como o peso atribuído para cada alternativa podem ser analisadas na Figura 38.

Figura 38 – Estrutura geral hierarquica dos critérios de ponderação



Fonte: Autora.

Diante da complexidade de realizar os cálculos matemáticos do método AHP-TOPSIS-2N de forma manual (em que quanto mais critérios e alternativas mais complexa se torna a análise) a Universidade Federal Fluminense (UFF) em parceria com o Instituto Militar de Engenharia (IME) e o Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) disponibilizaram um arquivo executável em linguagem de programação *Python* para a realização da parte axiomática. Nesse sentido, o primeiro passo na ferramenta é indicar o método, visto que, na mesma é possível escolher entre o AHP, o TOPSIS e o AHP-TOPSIS-2N.

Após essa definição o *software* solicita, em sequência, as informações necessárias para a realização dos cálculos. Importante ressaltar, que apesar dos valores iniciais serem aplicados pelo pesquisador, o cálculo só se desenvolve se tais valores estiverem dentro dos índices admissíveis pelo método, ou seja, o *software* só permite a realização de todo processo se os valores aplicados forem condizentes, o desenvolvimento do cálculo na ferramenta esta disponível no Anexo 1.

Observa-se, nos resultados, que o peso nos sub-critérios das duas normalizações apresenta valores distintos, isso ocorre por se tratar de diferentes fórmulas matemáticas utilizadas, contudo, o que não pode apresentar distinção é o ranqueamento que os mesmos apresentam. Visto que, ambas normalizações apresentaram o mesmo ranqueamento conclui-se que a análise está coerente e consistente e pode, então, ser aplicada no SIG. Porém, como já mencionado, no SIG esses pesos devem ser aplicados em percentual, logo, os pesos e ranqueamento dos sub-critérios se configuram da seguinte forma:

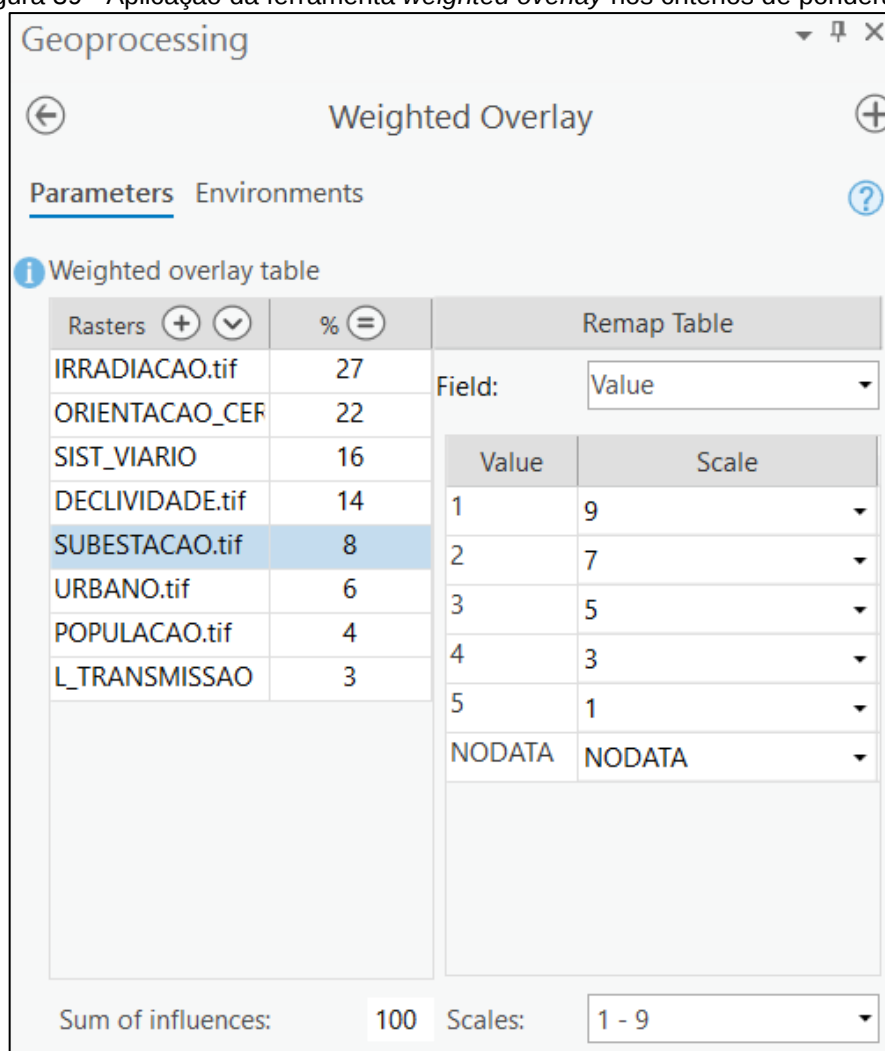
Quadro 13 - Ranqueamento dos critérios de ponderação

Sub-critérios	Normalização 1	Normalização 2	Percentual (%)
Irradiação Solar	0.8904	0.8828	27
Orientação Solar	0.7165	0.7123	22
Sistema Viário	0.4970	0.4956	16
Declividade	0.4912	0.4892	14
Subestação	0.2686	0.2708	8
Centros Urbanos e Povoados	0.1483	0.1605	6
Concentração Populacional	0.1427	0.1528	4
Redes de Transmissão	0.1384	0.1468	3

Fonte: Autora, com base no método AHP-TOPSIS-2N.

Por fim, com as camadas dos critérios de ponderação já prontas no formato de *raster*, o peso dos sub-critérios e o peso das alternativas conhecidos, finalmente, pode-se elaborar o mapa para identificar as áreas mais aptas para a inserção dos parques FV. Dessa forma, com os oito arquivos *raster* no SIG ArcGIS Pro aplicou-se a ferramenta *weighted overlay* e adicionou-se cada camada aplicando seu respectivo peso. Na Figura 39 pode-se observar como ocorre esse processo no SIG.

Figura 39 - Aplicação da ferramenta *weighted overlay* nos critérios de ponderação



Fonte: Autora.

Observa-se que na coluna *raster* está denominado os sub-critérios, na coluna % o peso que cada sub-critério exerce, a coluna *field* representa as alternativas, contudo, o SIG atribui um número em vez da nomenclatura, com isso, tomando como exemplo o critério da proximidade com a subestação, entende-se esses valores conforme o demonstrado no Quadro 14.

Quadro 14 - Exemplificação dos dados para a alternativa subestação

<i>Value</i>	Distância	Classificação	<i>Scale</i>
1	0-30 Km	Altamente Adequado	9
2	30-45 Km	Mais Adequado	7
3	45-60 Km	Moderadamente Adequado	5
4	60-75 Km	Marginalmente Adequado	3
5	75-94,90 Km	Menos Adequado	1

Fonte: Autora.

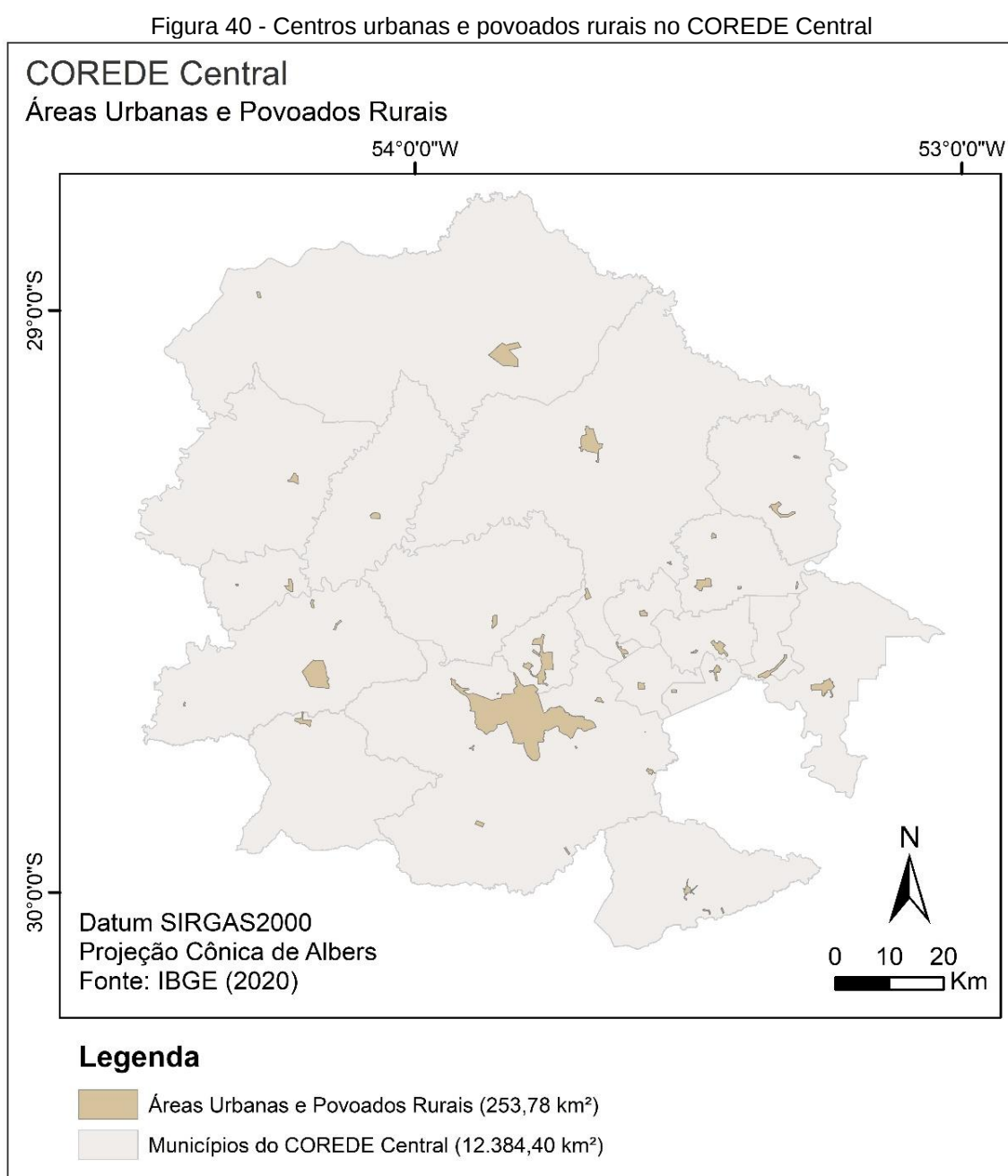
A coluna *scale* esta representada com a aplicação da escala numérica de comparação par a par proposta por Saaty (1980), em ordem decrescente, onde 9 representa o local mais adequado e 1 o local menos adequado, a escala numérica citada pode ser consultada na Figura 24. Feito isso, o SIG gera um arquivo *raster* com a identificação dos locais mais ou menos aptos com diferentes intervalos, contudo, ajustou-se esses intervalos com a ferramenta *reclassify* para cinco categorias atendendo a classificação descrita no Quadro 14.

Contudo, gerou-se um mapa onde toda a área do COREDE Central se insere nessa classificação, logo, não foi descontado, ainda, as áreas onde há restrição. Sendo assim, para aplicar os critérios restritivos transformou-se o arquivo *raster* em *shapefile* com a ferramenta *raster to polygon*, em seguida, realizou-se uma correção das geometrias no arquivo resultante com a ferramenta *dissolve* aplicada apenas no atributo das cinco classes eliminando, assim, sobreposições e evitando possíveis erros no próximo processo.

Por fim, para eliminar as áreas restritas, com o *shapefile* dos doze critérios restritivos, já apresentados, aplicou-se um a um a ferramenta *erase* que foi responsável por recortar/eliminar essas áreas possibilitando, então, identificar a localização das áreas aptas e realizar o cálculo da área disponível para cada uma das cinco categorias. A opção de aplicar cada camada de forma individual, em vez da camada restrita final, se deu tanto para não sobrecarregar o processamento no SIG quanto para conferir o resultado da área restrita total identificada anteriormente. Após esse processo elaborou-se os mapas finais da região.

4 RESULTADOS

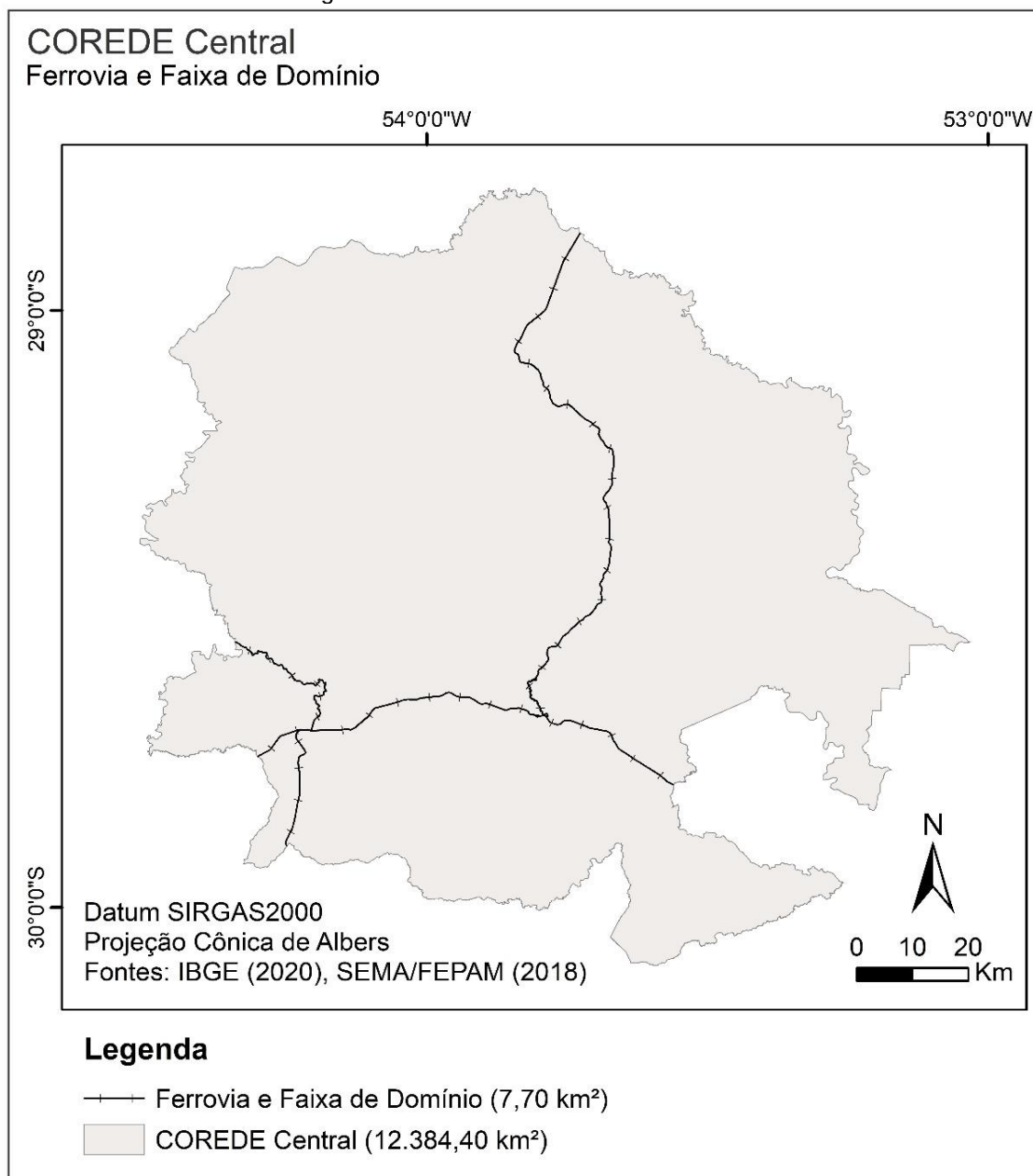
Com base na metodologia apresentada obteve-se como resultados, primeiramente, os mapas individuais de cada critério restritivo adotado. Esse processo é fundamental para o reconhecimento da região e para identificar as áreas não indicadas para a instalação de parques FV. Dessa forma, dos 12.384,40 km² (IBGE, 2020) do COREDE Central, cerca de 253,78 km² (2%) são ocupados pelos centros urbanos e povoados rurais, conforme Figura 40.



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020).

A ferrovia que intercepta o COREDE Central, totalizou 7,70 km² (considerando sua faixa de domínio de 30,00 metros, de acordo com a Lei N° 6.766/2019), isso representa menos de 1% quando comparado com a área total da região, sua disposição sobre o território pode ser analisada na Figura 41.

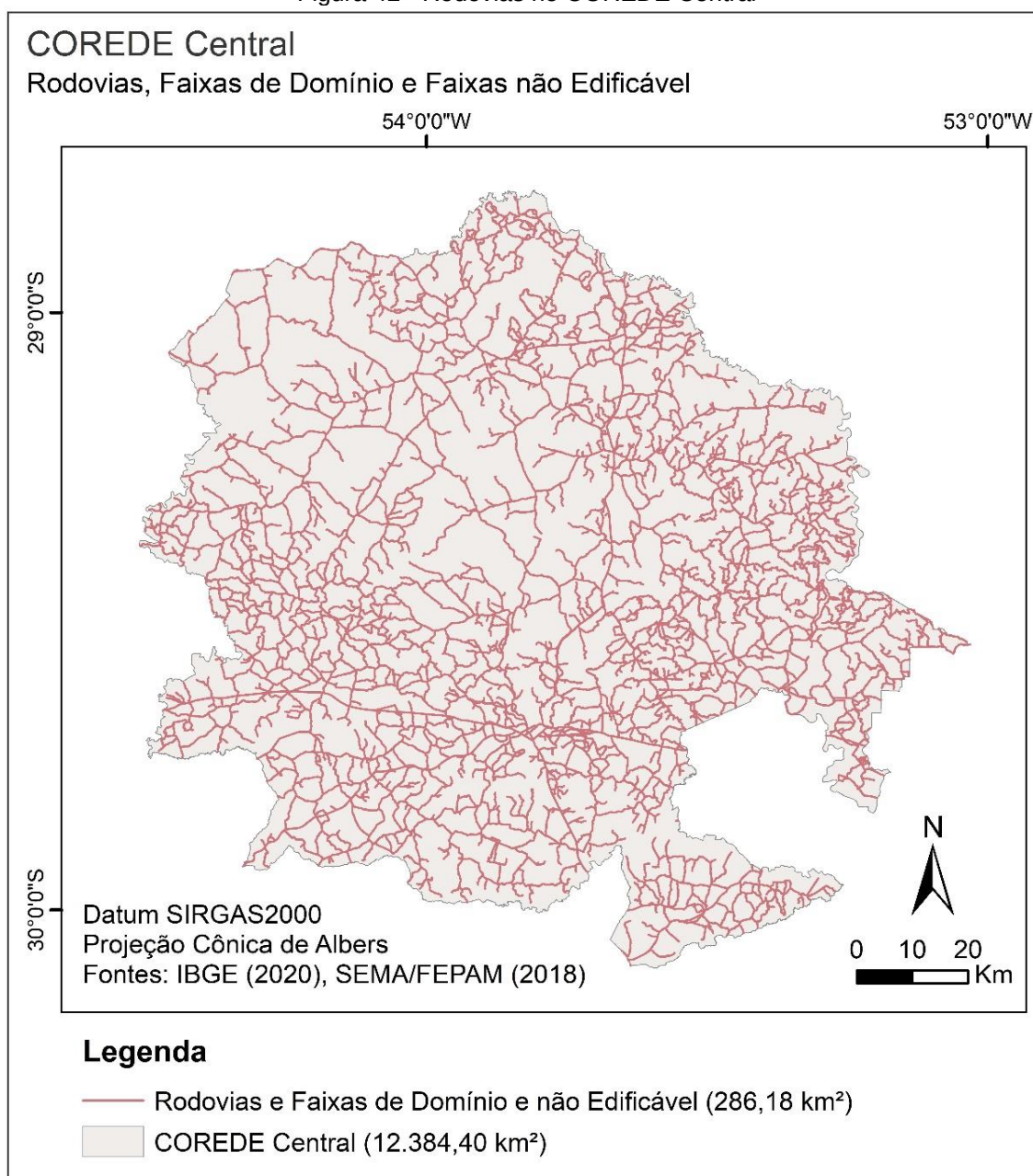
Figura 41 - Ferrovia no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e SEMA/FEPAM (2018).

As rodovias, para fins de cálculo, foi considerado sua faixa de domínio de 30m, mais o mínimo exigido de 5m de faixa não edificável, para cada lado da rodovia (BRASIL, 2019). Isso resultou em 286,18 km² (2%) ocupados no COREDE Central, por estradas municipais, estaduais e federais como demonstra a Figura 42.

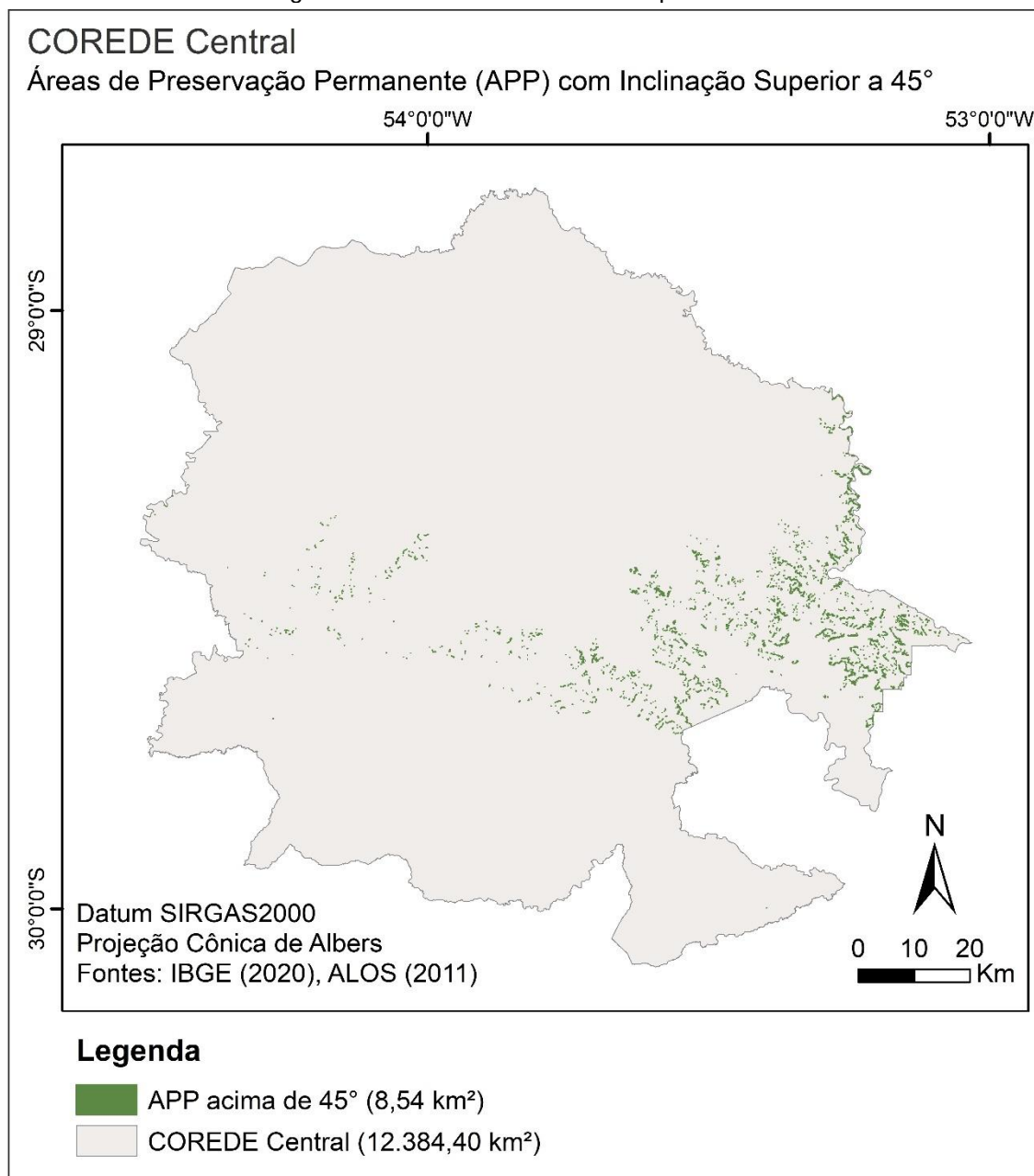
Figura 42 - Rodovias no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e SEMA/FEPAM (2018).

A declividade na região varia de 0° a $74,10^\circ$ (ALOS, 2011), assim, as declividades acima de 45° somaram $8,54 \text{ km}^2$, menos de 1% na região. (Figura 43). Destaca-se que deste total, $6,88 \text{ km}^2$ estão localizados ao leste nos municípios que abrangem a Quarta Colônia, o que demonstra o relevo acentuado dessa região turística.

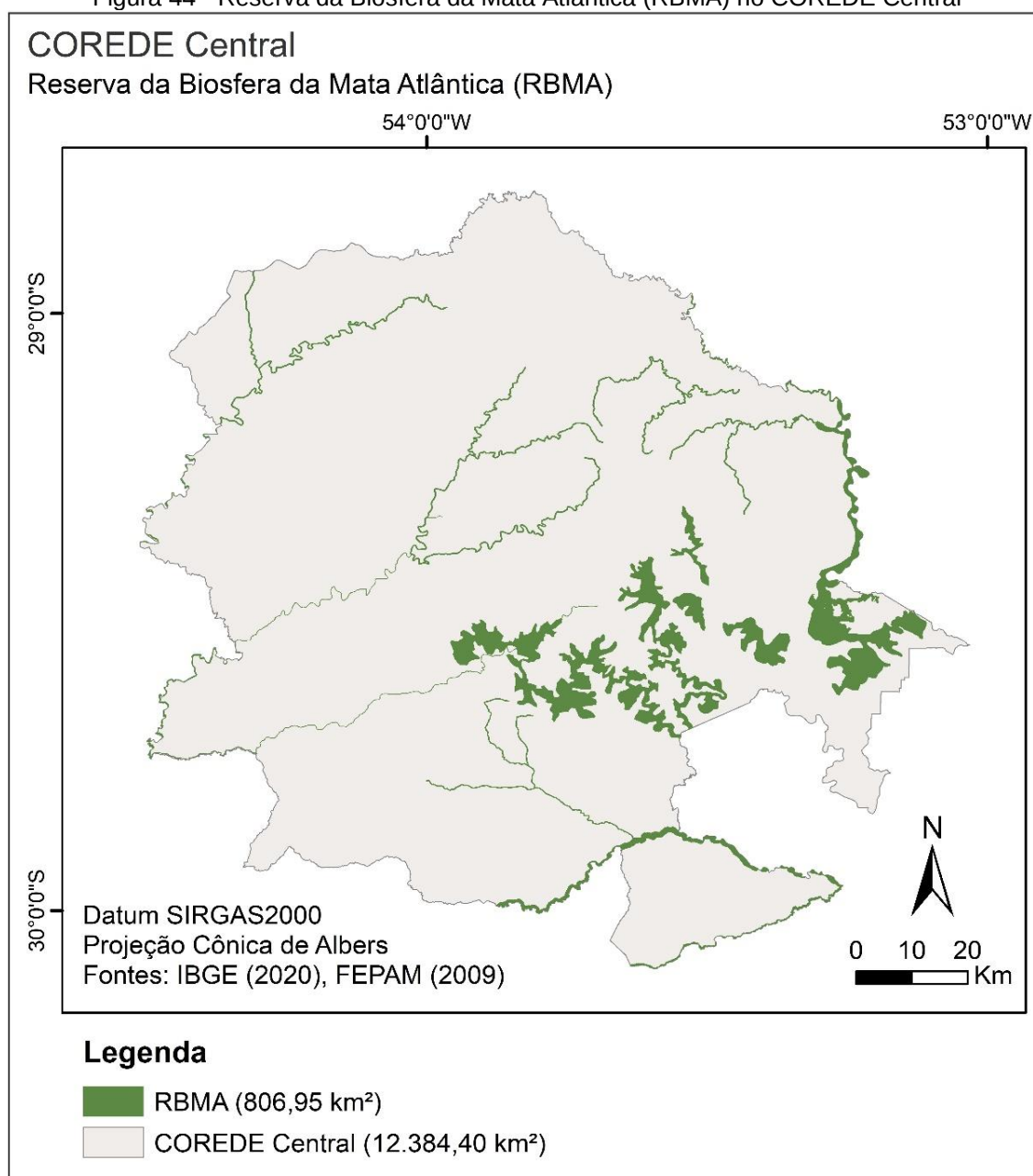
Figura 43 - APP com declividade superior a 45°



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e ALOS (2011).

O núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA/RS) totalizou 806,95 km² (6%) no COREDE Central, conforme Figura 44. Destaca-se que, como observado no critério das APP acima de 45°, também há uma concentração da RBMA nos municípios ao leste da região.

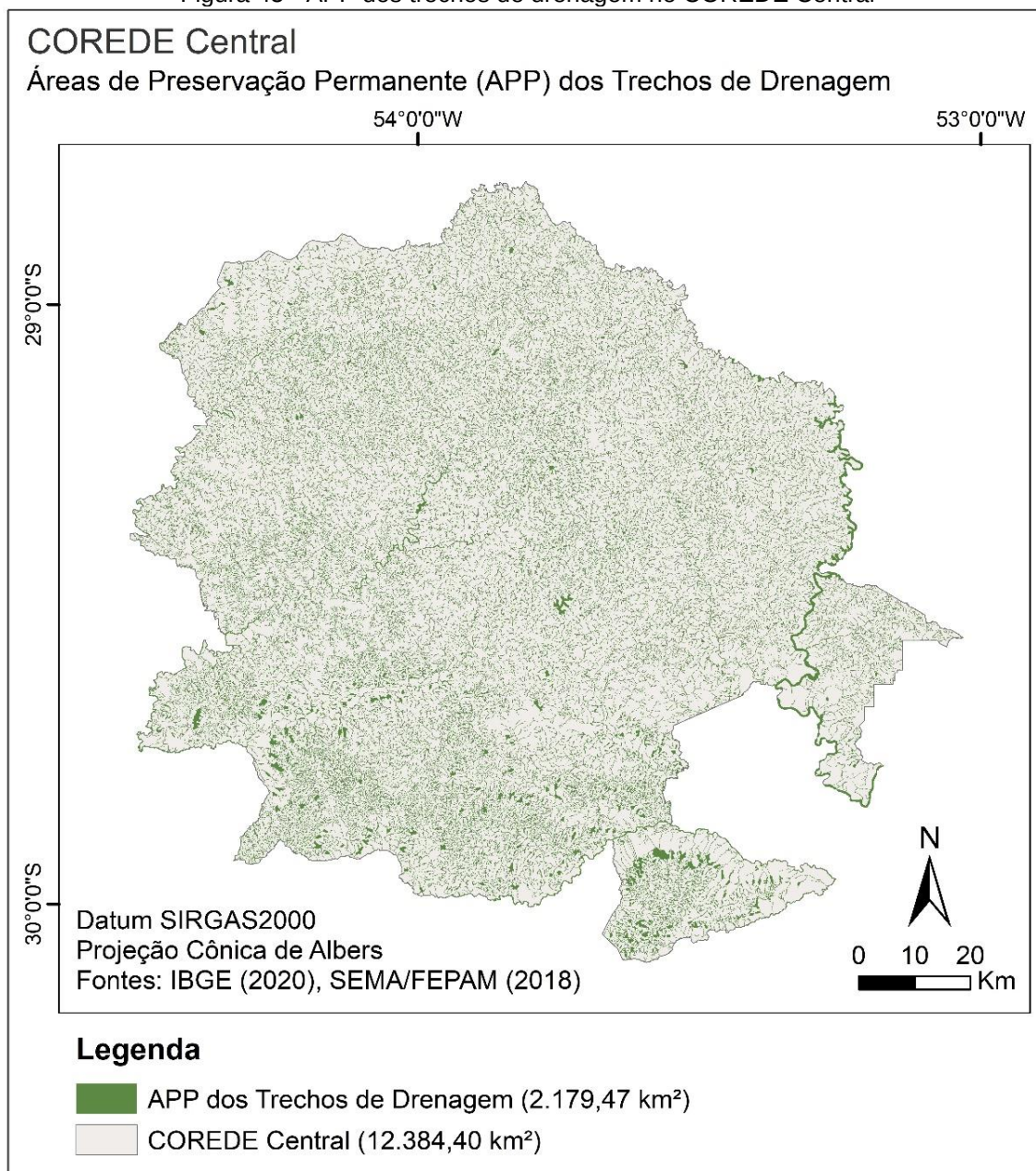
Figura 44 - Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA) no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e FEPAM (2009).

As Áreas de Preservação Permanente em torno dos trechos de drenagem ocupam 2.179,47 km² (Figura 45), o que representa 15% da área total da região. Observa-se que essas áreas obtidas atendem até a ordem (hierarquização da rede fluvial de drenagem) dez dos trechos de drenagem, ou seja, dos maiores rios (entendidos como 1) segue mais nove ordens percorrendo os rios de menor porte.

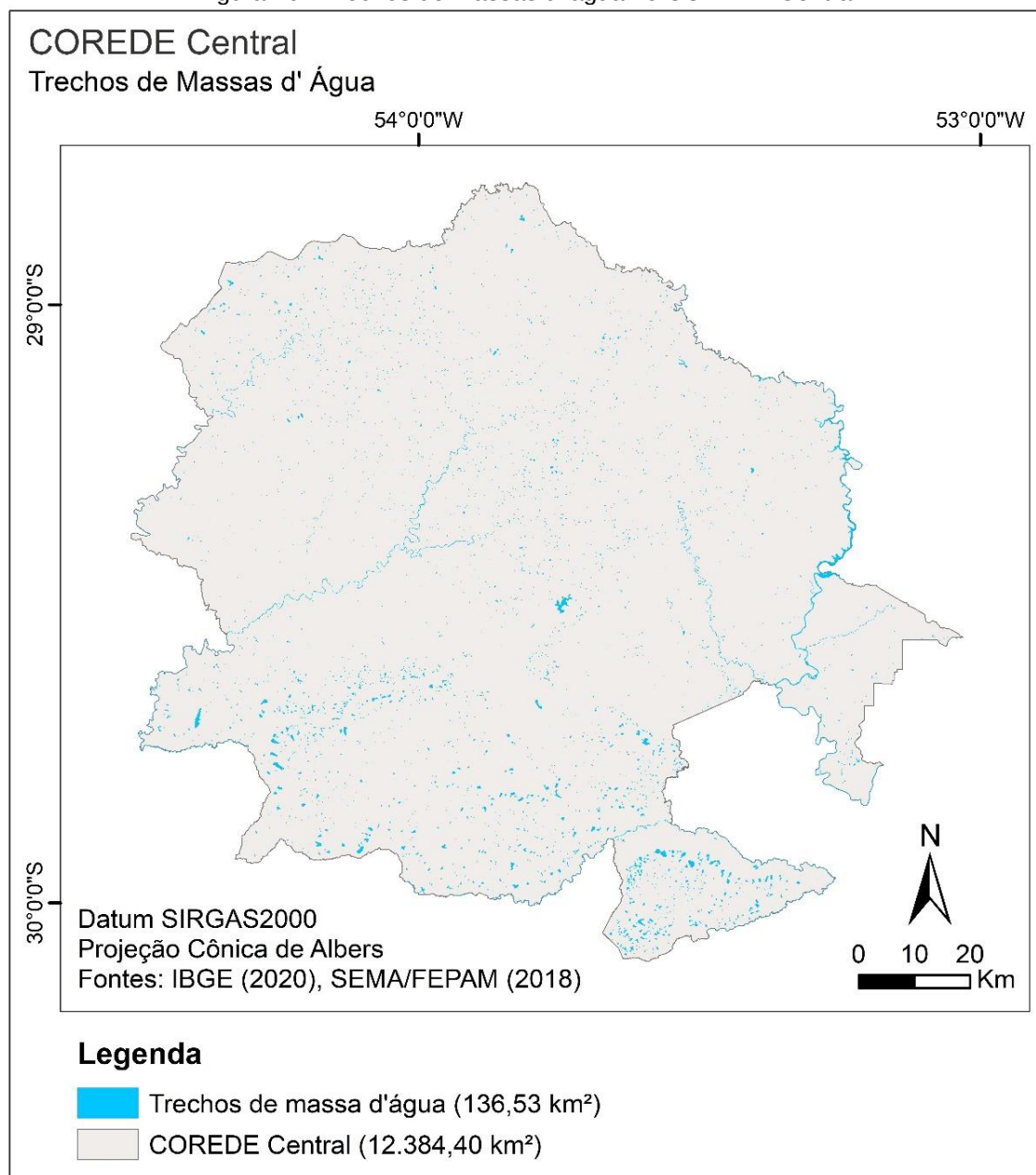
Figura 45 - APP dos trechos de drenagem no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e SEMA/FEPAM (2018).

Os Trechos de massa d'água totalizaram 136,53 km², cerca de 1% do total regional. Vale lembrar que esses trechos se caracterizam por cursos d'água que possuem fluxo de acordo com definição apresentada por SEMA/FEPAM (2018). A distribuição deste critério no território do COREDE Central pode ser analisada na Figura 46.

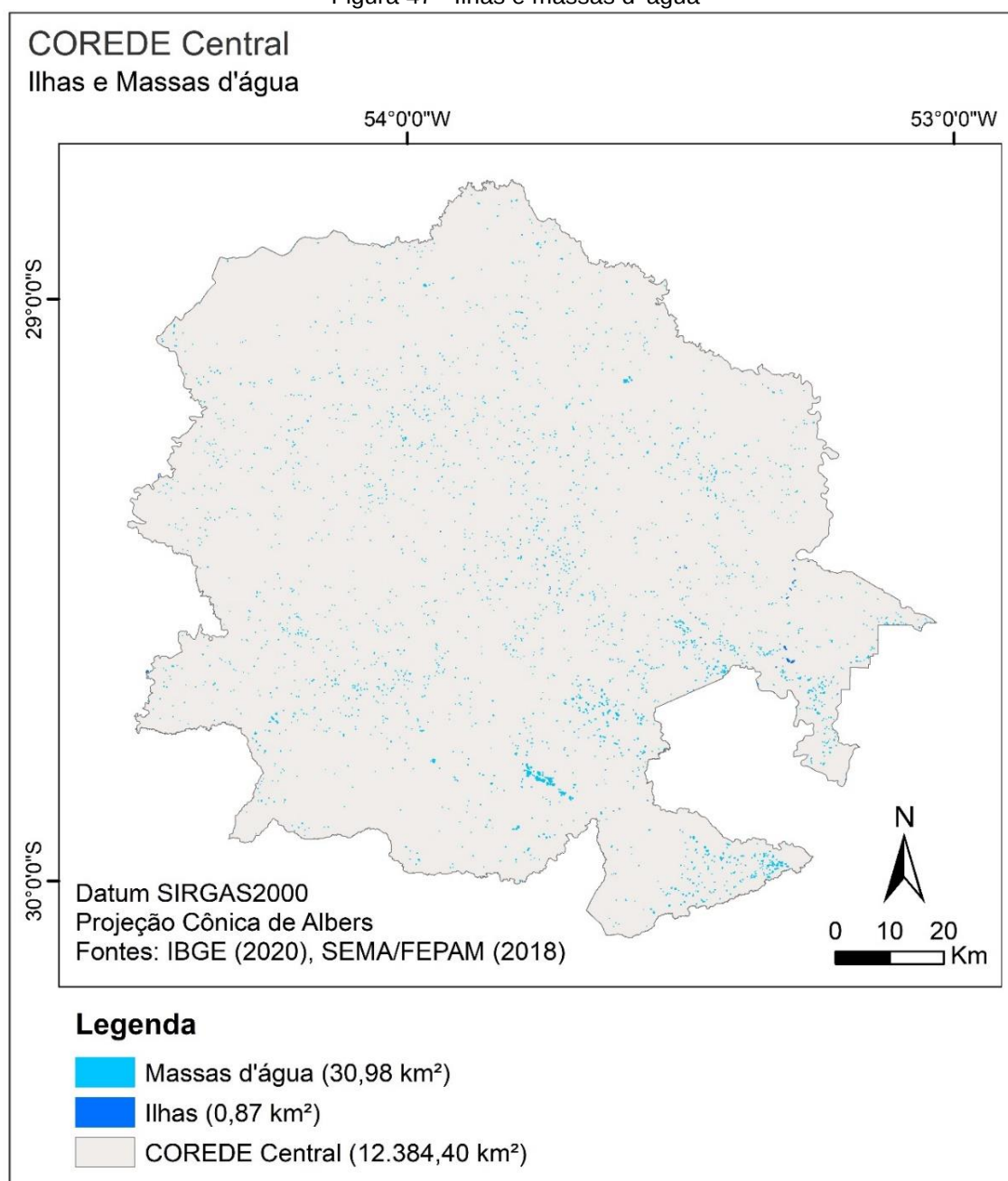
Figura 46 - Trechos de massas d' água no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e SEMA/FEPAM (2018).

As massas d'água, por sua vez, são entendidas como oceano, baías, enseadas, meandros abandonados, lagos, lagoas, e os açudes que não possuem fluxo d'água. Já as ilhas são porções de terra emersa circundada de água doce ou salgada em toda a sua periferia (SEMA/FEPAM, 2018). Assim, as massas d'água ocupam 30,98 km² e as ilhas 0,87 km² (Figura 47), que juntas somam menos de 1% de área na região.

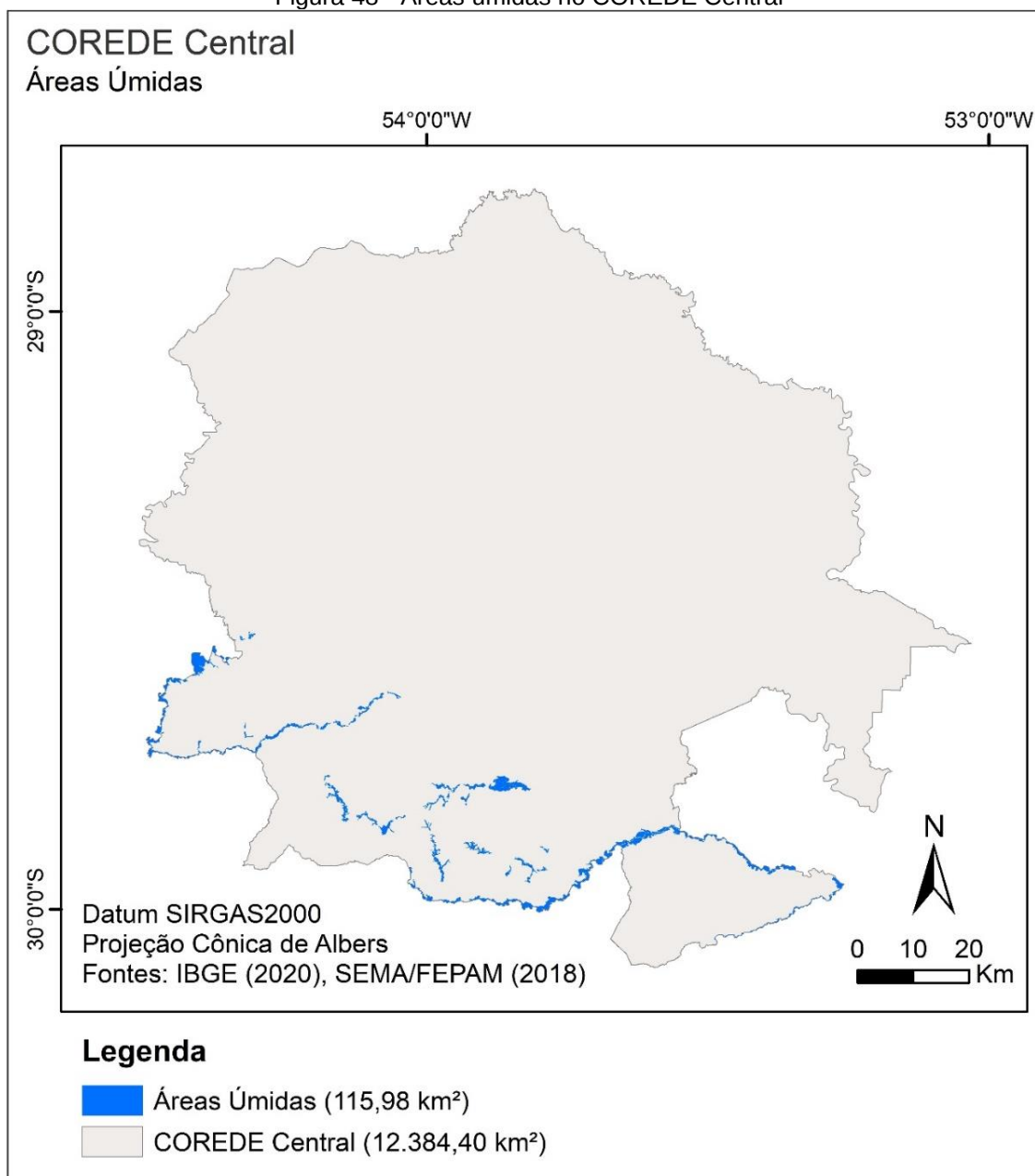
Figura 47 - Ilhas e massas d' água



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e SEMA/FEPAM (2018).

As áreas úmidas, entendidas como locais que possuem água permanentemente, contudo, em uma quantidade não comparável à uma massa d'água (SEMA/FEPAM, 2018), estão localizadas ao sul do COREDE Central, local que também possui as menores altitudes na região. Essas áreas ocupam 115,98 km² (cerca de 1%), como destaca a Figura 48.

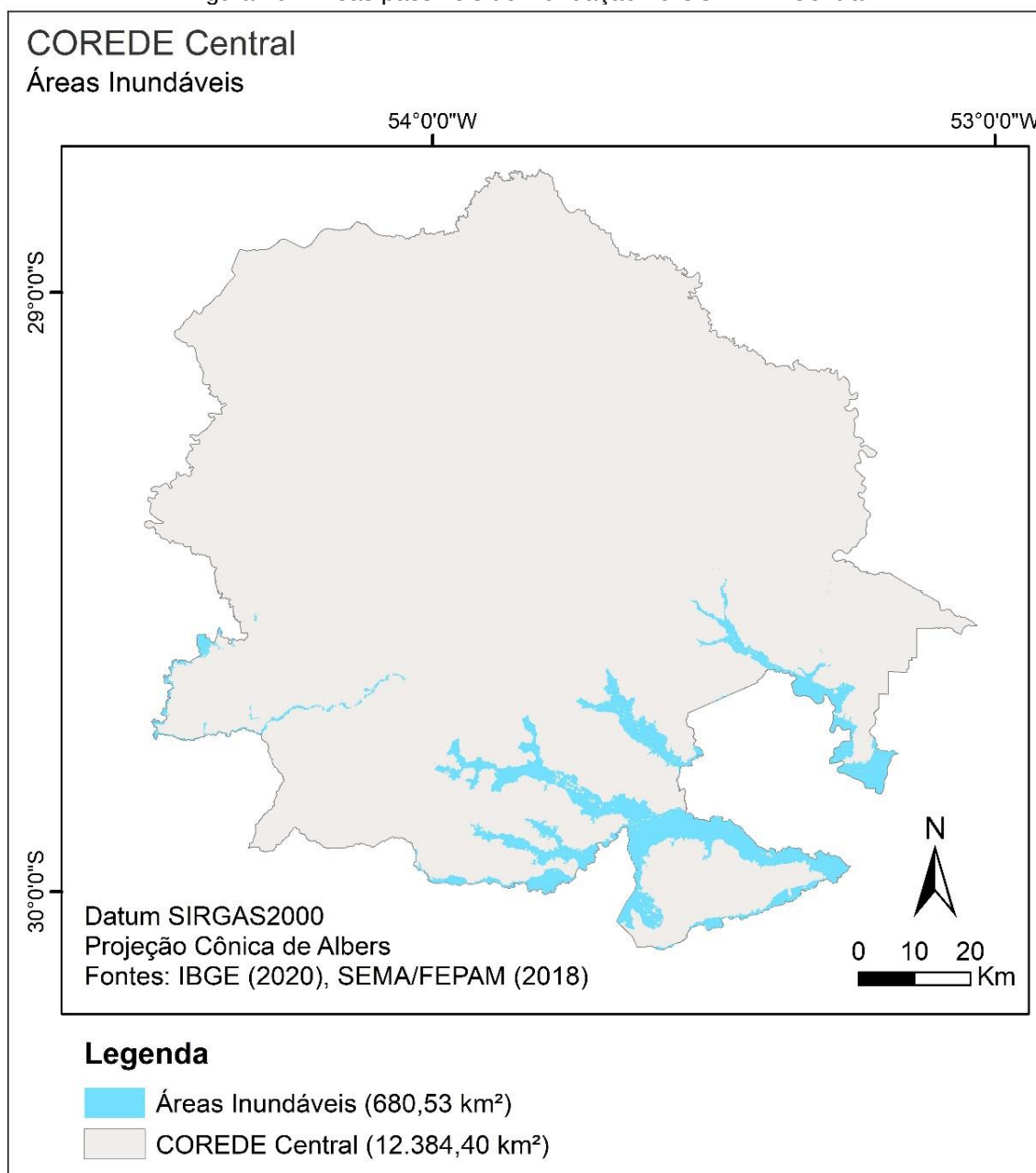
Figura 48 - Áreas úmidas no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e SEMA/FEPAM (2018).

As áreas passíveis de inundação sazonal ou esporádica ocupam 680,53 km², cerca de 5% da área total da região, como pode-se observar na Figura 49. Assim como as área úmidas, as áreas inundáveis também estão localizadas ao sul do COREDE Central, local com as menores altitudes da região e interceptada por rios de grande porte.

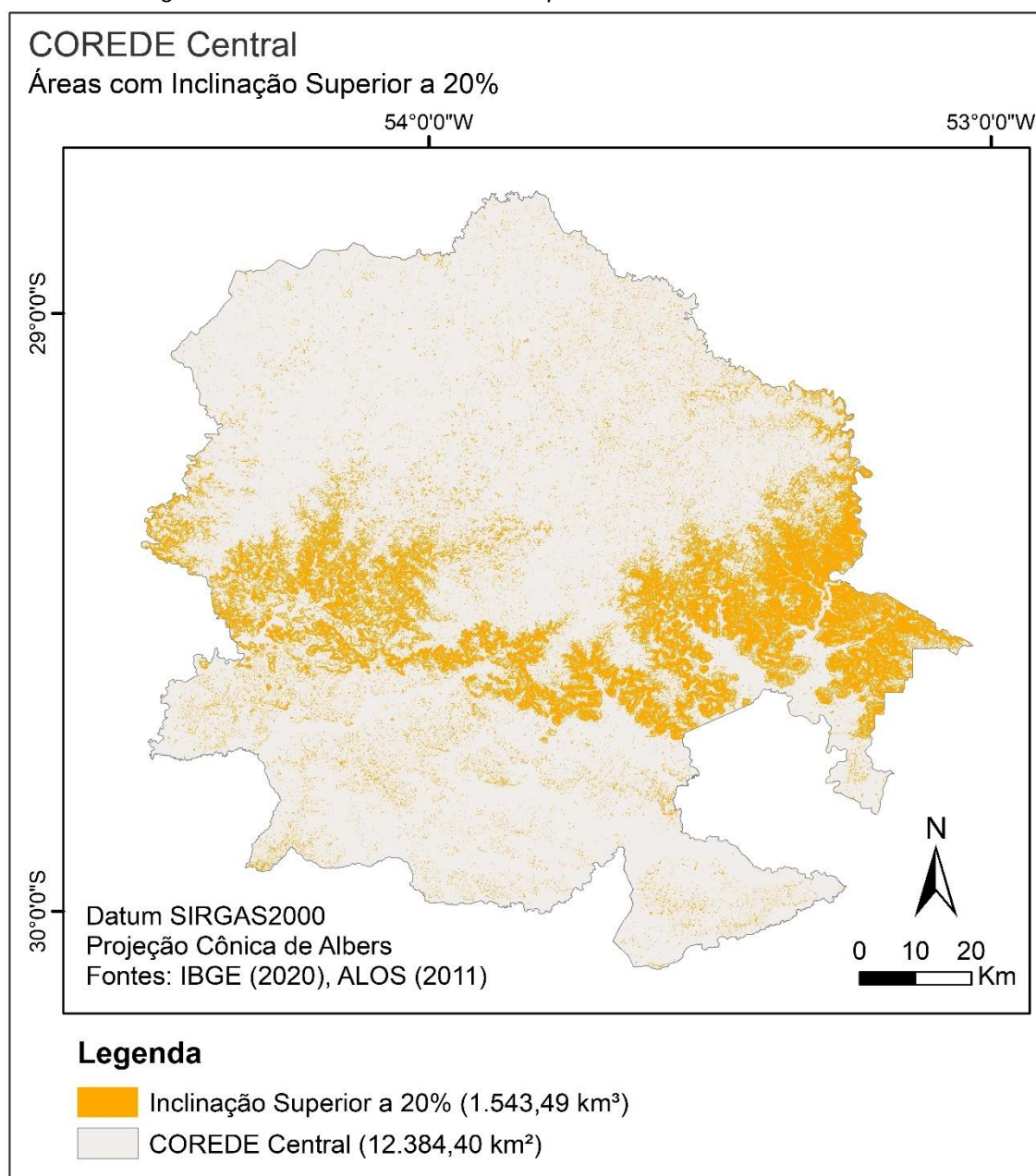
Figura 49 - Áreas passíveis de inundação no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e SEMA/FEPAM (2018).

As áreas acima de 20% de declividade, classificadas pela Embrapa como forte-ondulado (20-45%), montanhoso (45-75%) e forte-montanhoso (> 75) se concentram ao centro da região em uma faixa no sentido leste-oeste, e somam 1.543,49 km² (11%), conforme Figura 50. Desse total, 756,97 km² se localizam ao leste, nos municípios que abrangem a Quarta Colônia, demonstrando o relevo acentuado desse local.

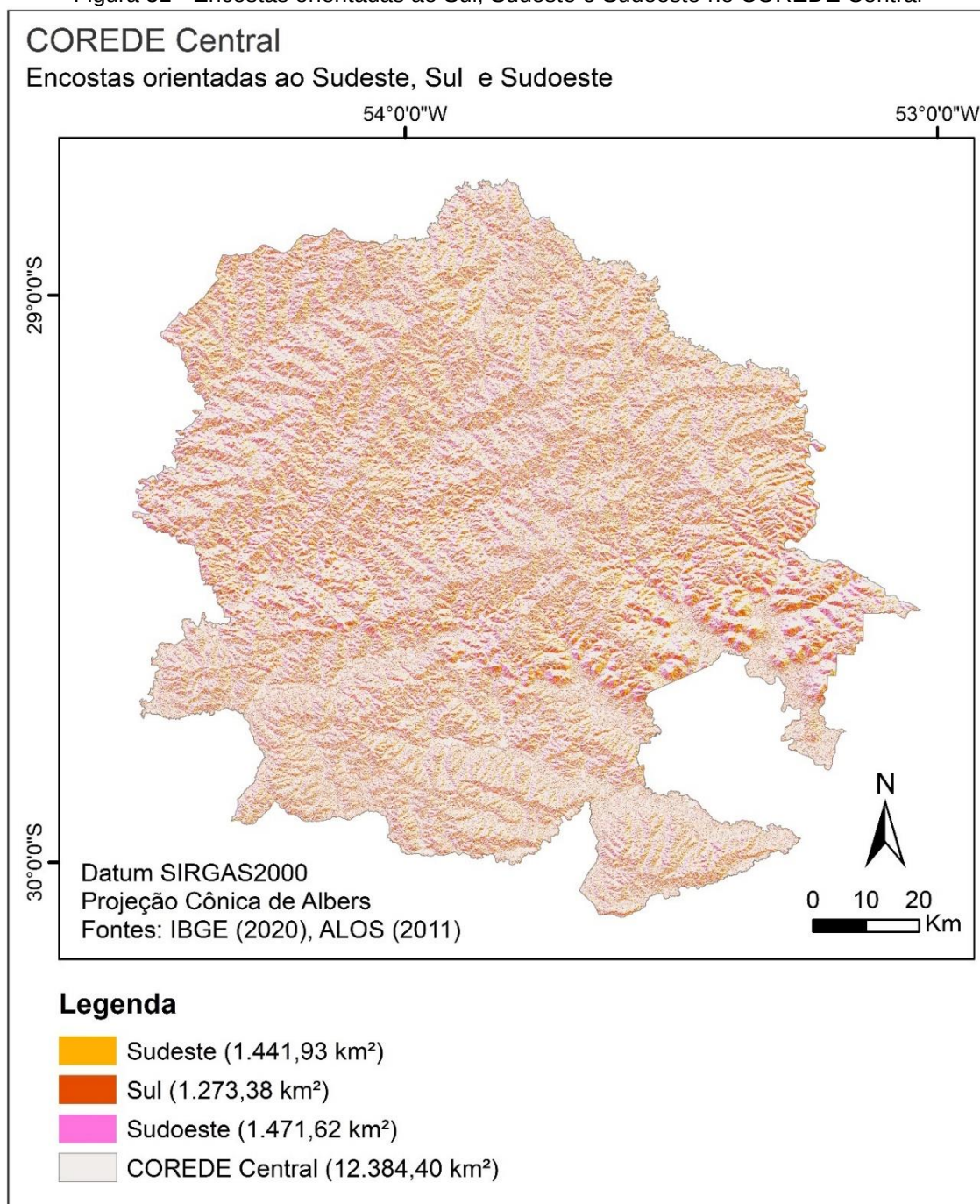
Figura 50 - Áreas com declividade superior a 20% no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e ALOS (2011).

As áreas orientadas ao sul, sudeste e sudoeste (com declividade a partir de 1%), critério que mais eliminou locais, somaram 4.186,93 km², cerca de 25% da área total do COREDE Central (Figura 51). Esse total é distribuído em: 1.273 km² com orientação ao sul, 1.441,93 km² com orientação ao sudeste e 1.471,62 km² com orientação ao sudoeste.

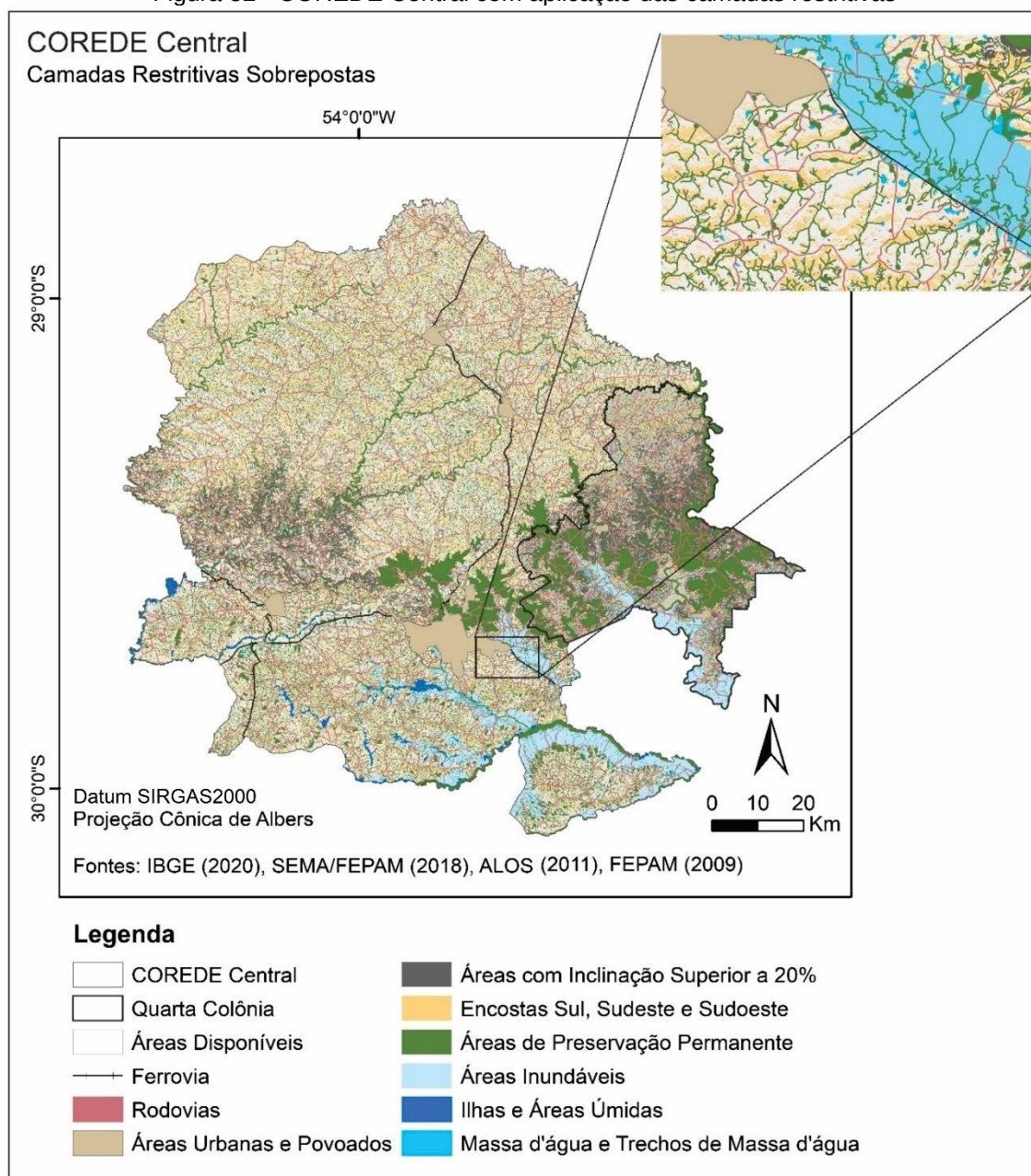
Figura 51 - Encostas orientadas ao Sul, Sudeste e Sudoeste no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020) e ALOS (2011).

A distribuição e sobreposição dos critérios restritivos podem ser observadas na Figura 52, pode-se notar que a parte norte da região é a que possui mais áreas livres para a instalação de parques FV. Ao leste pode se identificar a delimitação dos municípios da Quarta Colônia, região que apresenta significativa área restrita devido a área ocupada pela Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA), a topografia acidentada com mais de 20% de declividade e, conseqüentemente, áreas orientadas ao sul, sudeste e sudoeste, além de possuir áreas passíveis de inundação.

Figura 52 - COREDE Central com aplicação das camadas restritivas



Fonte: Autora, com base em FEPAM (2009), SEMA/FEPAM (2018), IBGE 2020 e ALOS (2011).

No sentido Leste-Oeste, a região apresenta, ao centro, topografia acidentada superior aos 20% delimitados nos critérios restritivos, uma extensa área de preservação permanente da mata atlântica, o centro urbano do município de Santa Maria que ocupa uma área representativa e, ainda, áreas passíveis de inundação. Já ao Sul, local de menor altitude da região há uma concentração de recursos hídricos, áreas úmidas e sujeitas a inundação, além das rodovias que restringem áreas em toda a região. No Quadro 15, é possível observar um resumo dos critérios restritivos e suas respectivas áreas ocupadas no COREDE Central.

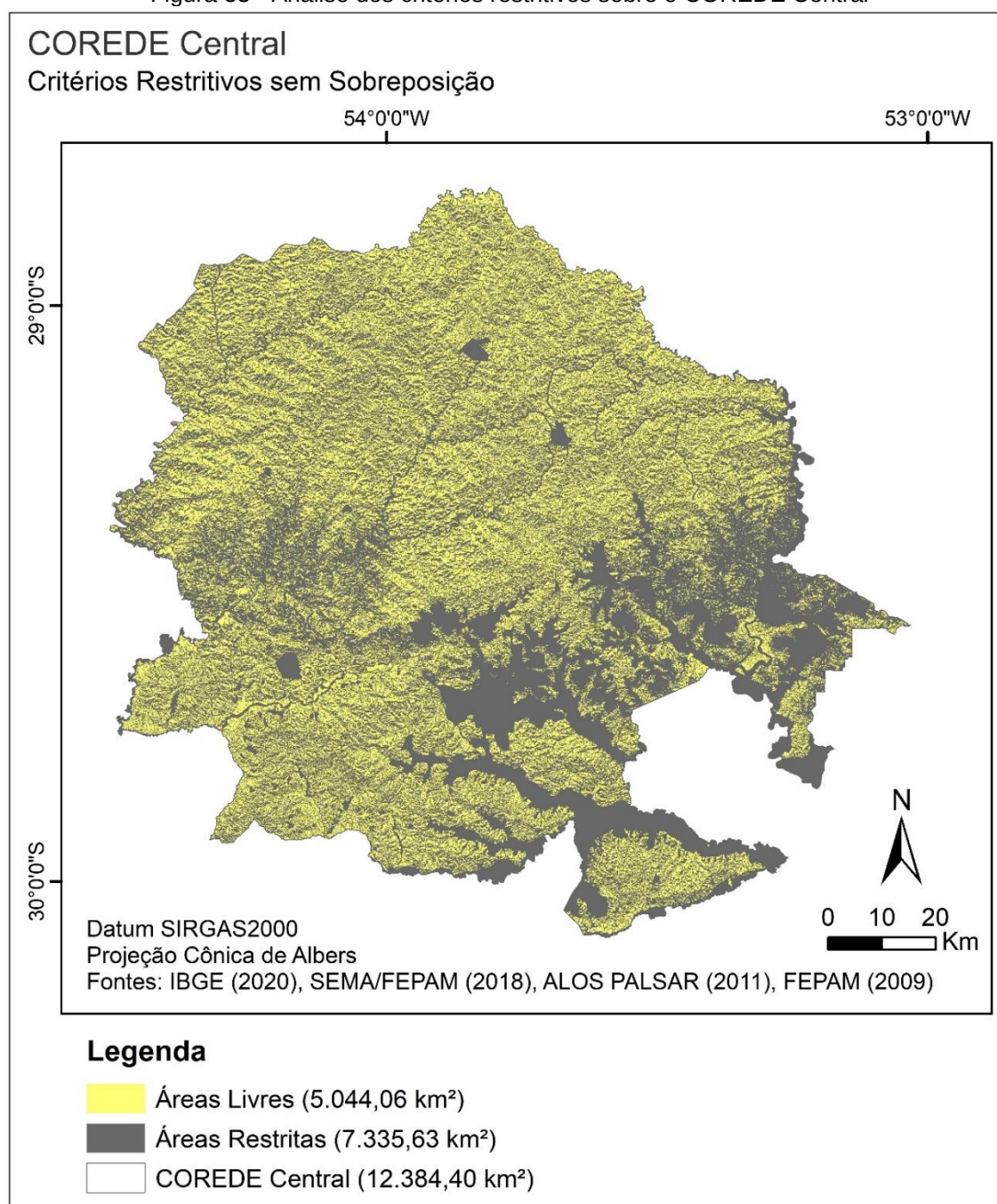
Quadro 15 - Critérios restritivos e suas respectivas áreas no COREDE Central

Critérios Restritivos	Área (km²)
Centros urbanas e Povoados Rurais	253,78
Sistema Ferroviário	7,7
Sistema Rodoviário	286,18
Encostas Orientadas a Sul	1.273,38
Encostas Orientadas a Sudeste	1.441,93
Encostas Orientadas a Sudoeste	1.471,62
Áreas com Declividade Superior a 20%	1.543,49
APP com Declividade Superior a 45°	8,54
APP dos Trechos de Drenagem	2.179,47
Reserva da Biosfera da Mata Atlântica	806,95
Ilhas	0,87
Massas d' Água	30,98
Trechos de Massas d' Água	136,53
Áreas Úmidas	115,98
Áreas Inundáveis	680,53
Somatório da área dos Critérios Restritivos	10.237,93
Somatório da área sem sobreposição de critérios	7.335,63
Total do COREDE Central	12.384,40

Fonte: Autora.

No entanto, mais que saber a área que cada critério ocupa, é imprescindível conhecer a área total que é efetivamente restrita, ou seja, sem a sobreposição de mais de um critério. Com isso, após o processamento de todos os critérios restritivos, gerou-se uma camada *shapefile* única onde identificou-se que 7.335,63 km² (cerca de 59,23%) são, de fato, a área restrita na região, conforme a Figura 53.

Figura 53 - Análise dos critérios restritivos sobre o COREDE Central

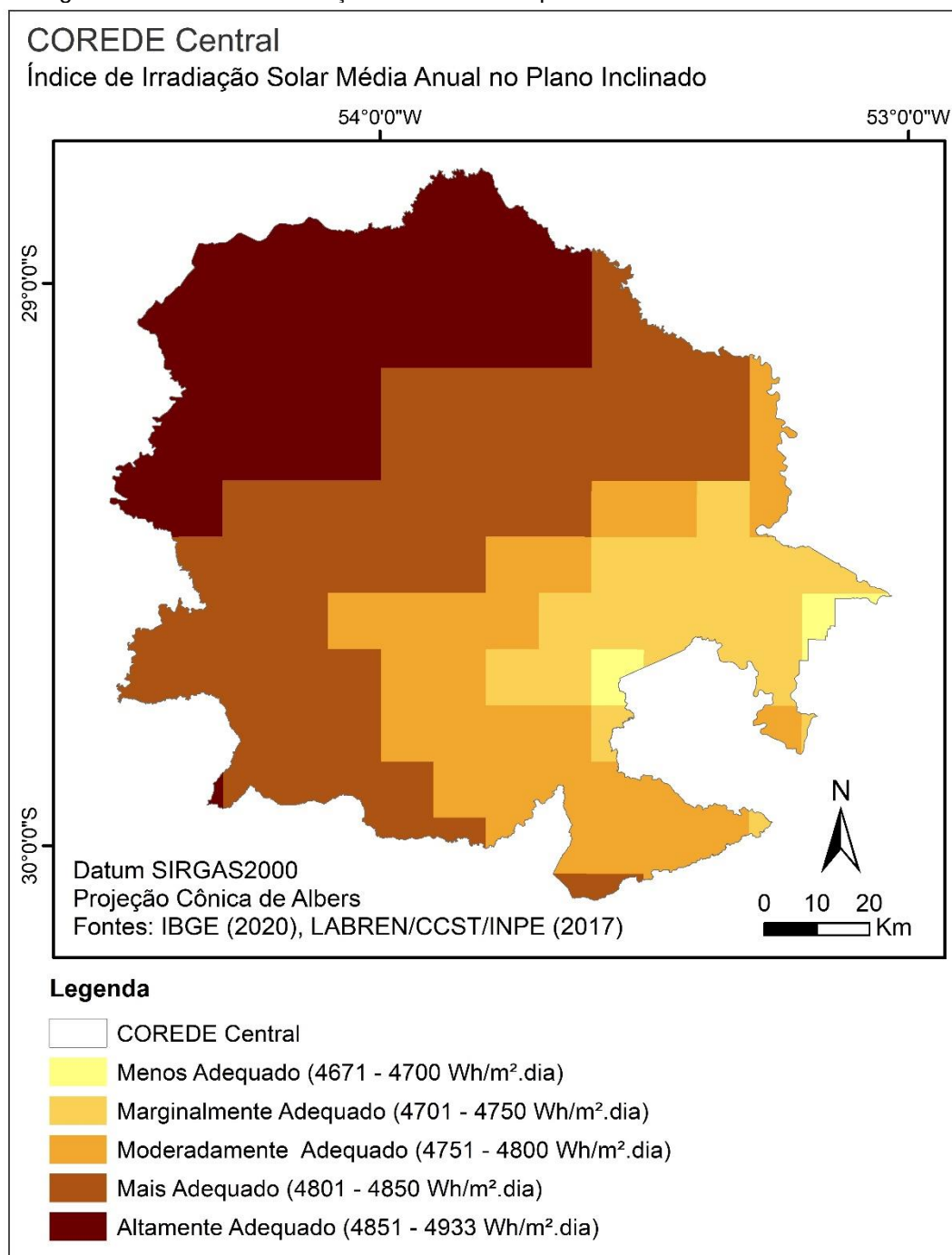


Fonte: Autora, com base em FEPAM (2009), SEMA/FEPAM (2018), IBGE 2020 e ALOS (2011).

Observa-se, ainda, que a concentração de restrições ao leste corrobora com as especificidades da região da Quarta Colônia apresentadas no Capítulo 3.2.1. Com isso, uma vez conhecidas as áreas restritas e sua distribuição na região, elaborou-se o mapeamento de forma individual de cada critério de ponderação adotado, os resultados podem ser analisados na sequência.

Embora os índices de irradiação solar, na região, não apresentem grande variação, sendo cerca de 5% quando comparado o maior (4.933 Wh/m².dia) e menor (4.671 Wh/m².dia) índice ainda, assim, cabe considerar que a parte norte da região é a que concentra a maior irradiação, como é possível analisar na Figura 54. O peso obtido para este critério com base no método AHP-TOPSIS-2N corresponde a 27%.

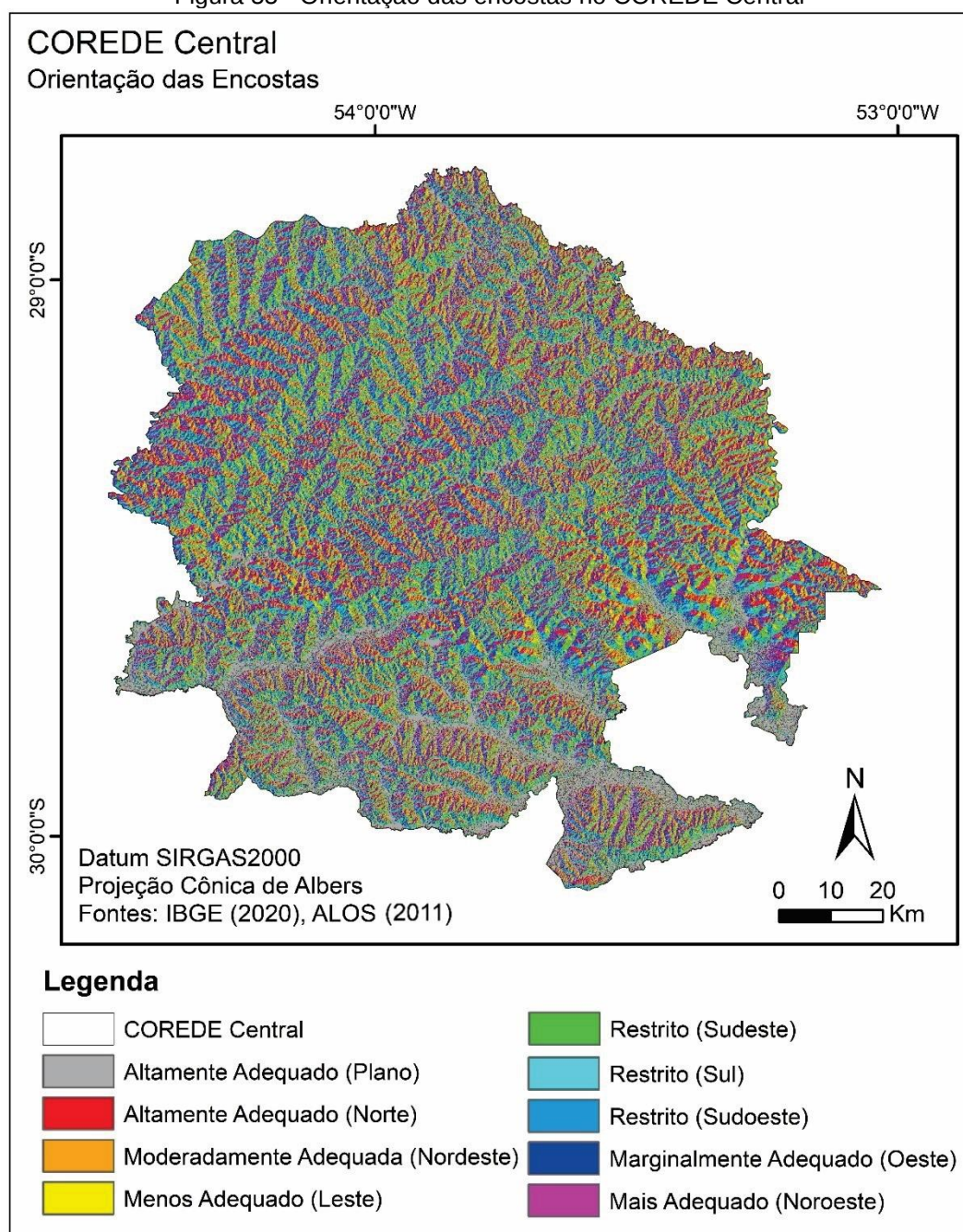
Figura 54 - Índice de irradiação solar anual no plano inclinado no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE 2020 e LABREN/CCST/INPE (2017).

Com base na análise do Quadro 11, observou-se que não há diferenças tão significativas na produção de energia FV para diferentes orientações solares, no sentido oeste a leste. Contudo, esta pesquisa visa as encostas com as orientações (declividade a partir de 1%), de maior produção energética, principalmente, por se tratar da busca de locais para a instalação de sistemas FV de maior escala. Com isso, a distribuição das encostas na região podem ser vistas na Figura 55. O peso obtido para este critério com base no método AHP-TOPSIS-2N, corresponde a 22%.

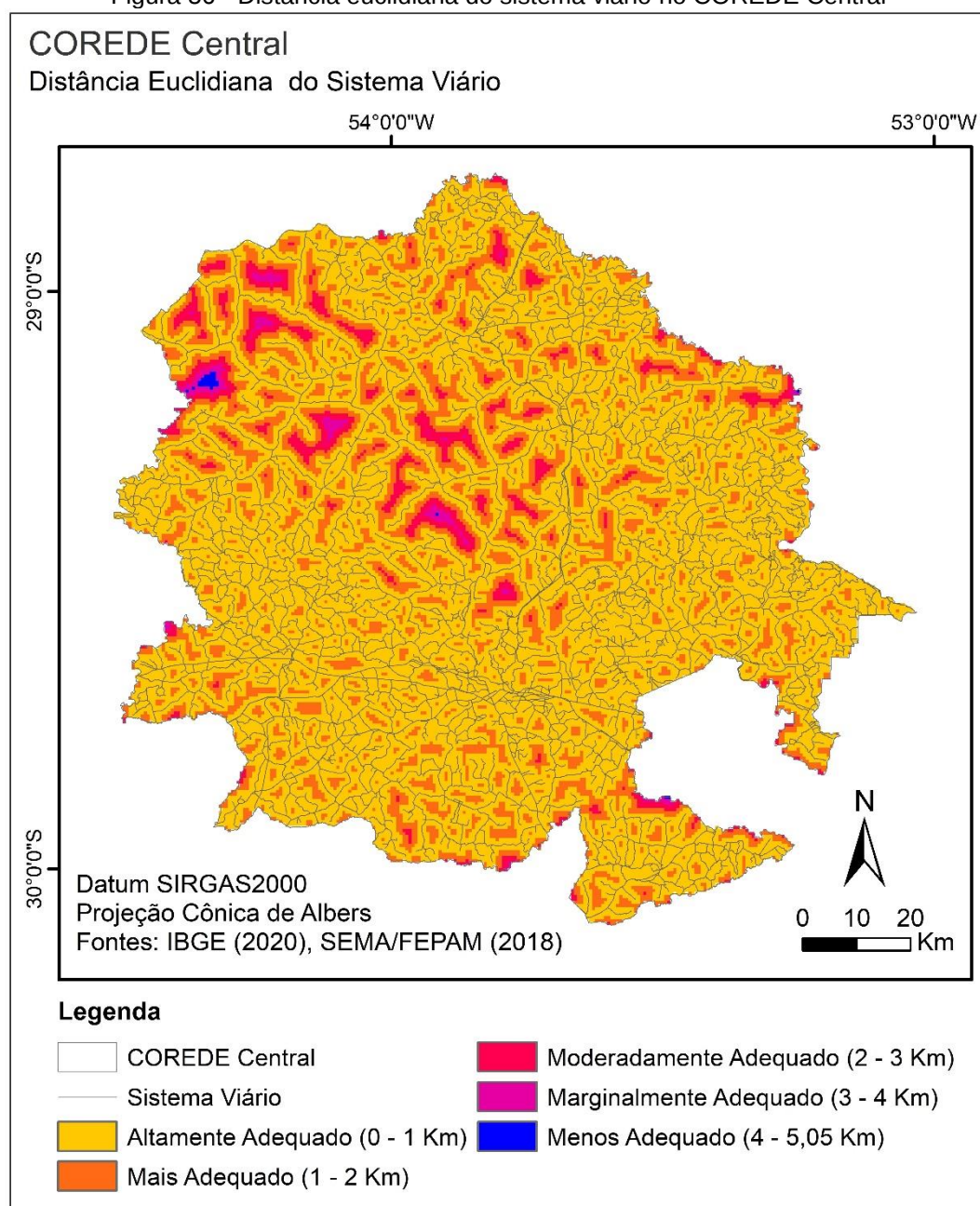
Figura 55 - Orientação das encostas no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE 2020 e ALOS (2011).

A proximidade de um parque FV com o sistema viário torna-se imprescindível, visto que, há a necessidade do transporte de um grande volume de material para a instalação do sistema. O COREDE Central como um todo apresenta uma boa distribuição do sistema viário (Figura 56) com poucos locais que demandam um maior deslocamento (entre 4 e 5,05 km) para além da infraestrutura viária já existente. O peso obtido para este critério com base no método AHP-TOPSIS-2N corresponde a 16%.

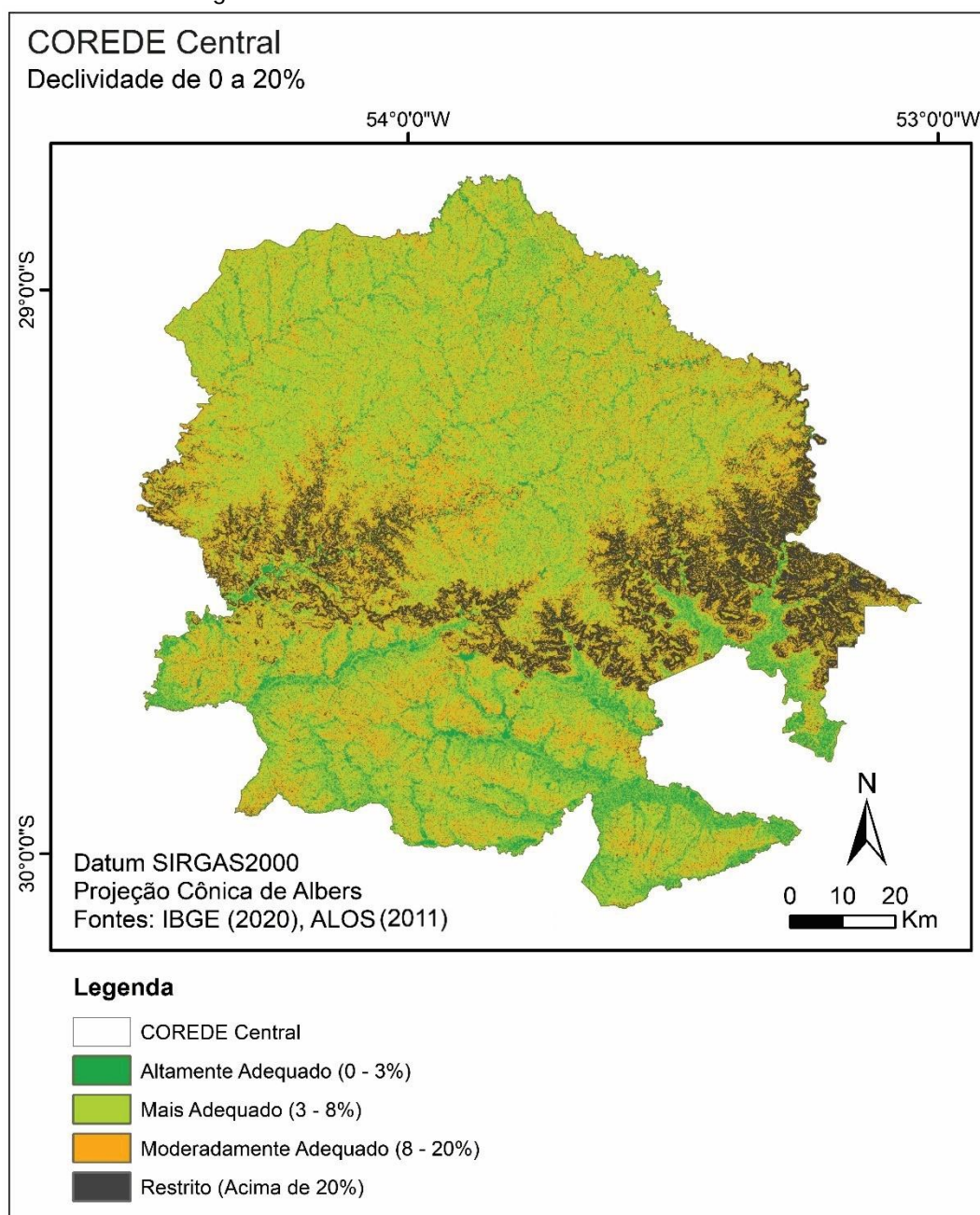
Figura 56 - Distância euclidiana do sistema viário no COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE 2020 e SEMA/FEPAM (2018).

A Figura 57 demonstra que boa parte da região atende ao critério de possuir declividade menor ou igual a 20%, e apesar de alguns locais tidos como altamente adequados serem na proximidade de recursos hídricos, isso não influenciará no resultado final já que essas áreas serão eliminadas, posteriormente, com a aplicação dos critérios restritivos. O peso obtido para este critério com base no método AHP-TOPSIS-2N corresponde a 14%.

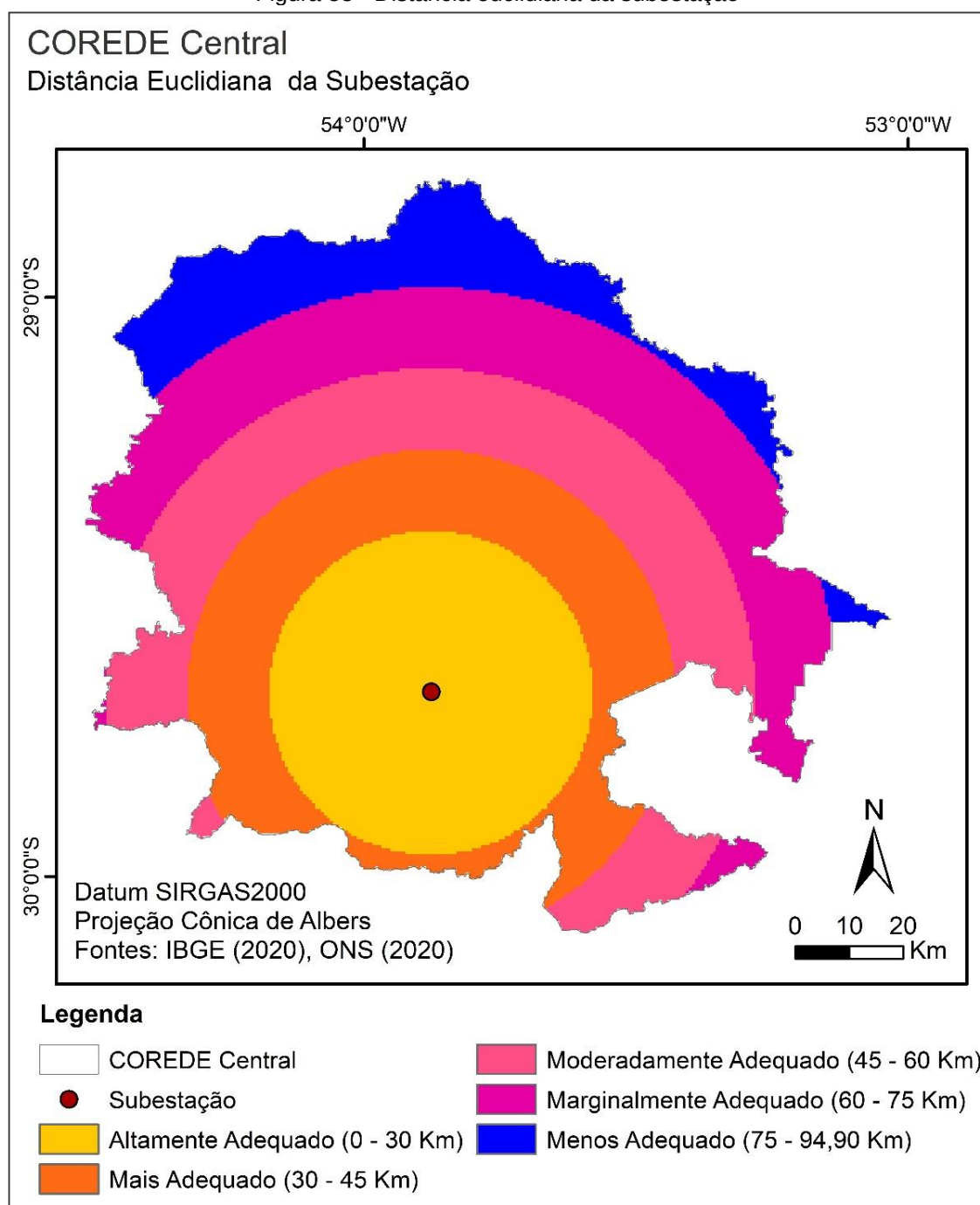
Figura 57 - Análise da declividade do COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE 2020 e ALOS (2011).

A região possui uma subestação situada no município de Santa Maria, ao sul no COREDE Central (Figura 58). A busca por essa proximidade, objetiva reduzir perdas técnicas e infraestrutura necessária para a instalação do sistema. O peso obtido para este critério com base no método AHP-TOPSIS-2N corresponde a 8%.

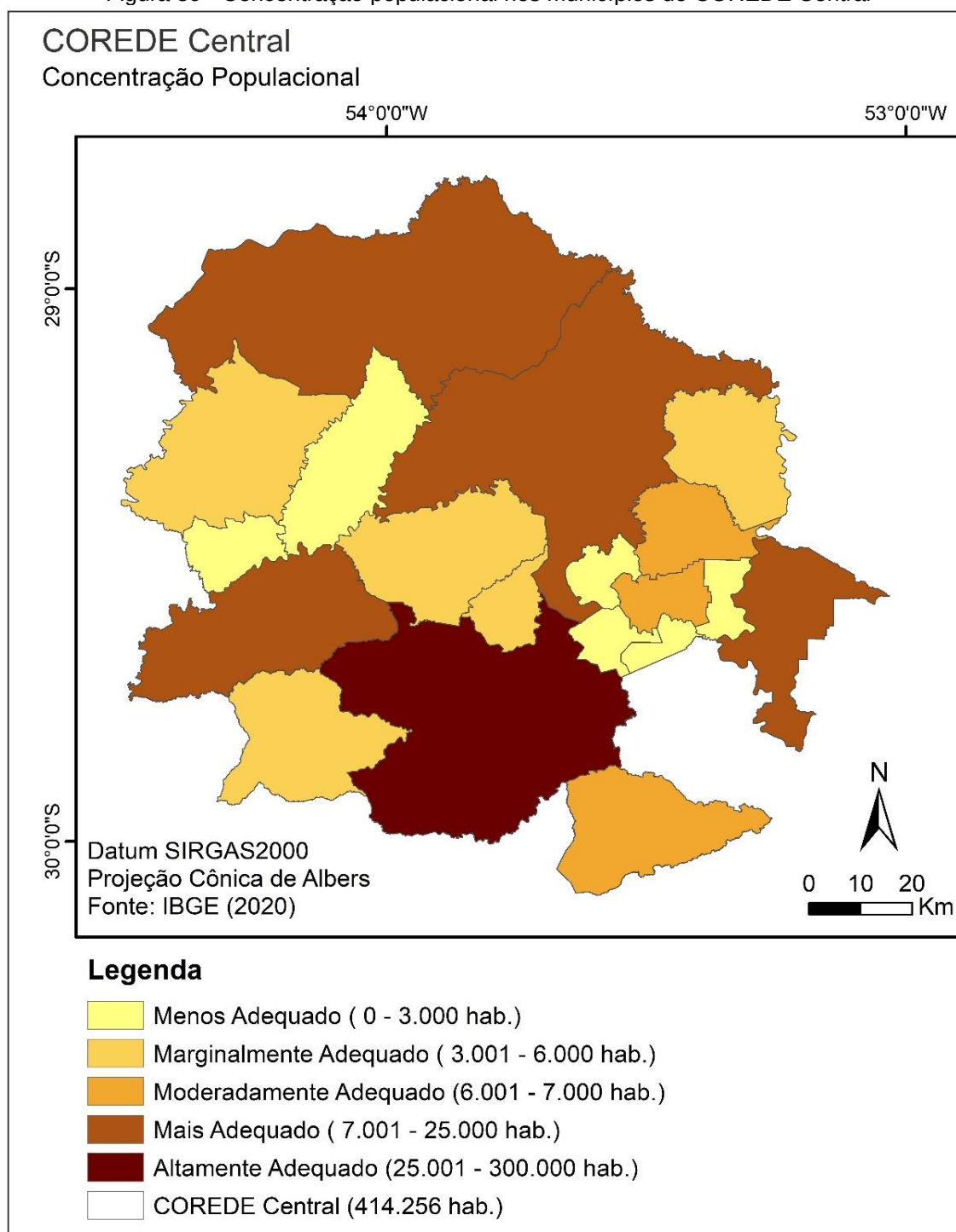
Figura 58 - Distância euclidiana da subestação



Fonte: Autora, com base em IBGE 2020 e ONS (2020).

De modo geral, a maior parte do COREDE Central é composto por municípios de pequeno porte, com exceção de Santa Maria que concentra 68% da população da região, conforme Figura 59. O peso obtido para este critério com base no método AHP-TOPSIS-2N corresponde a 6%.

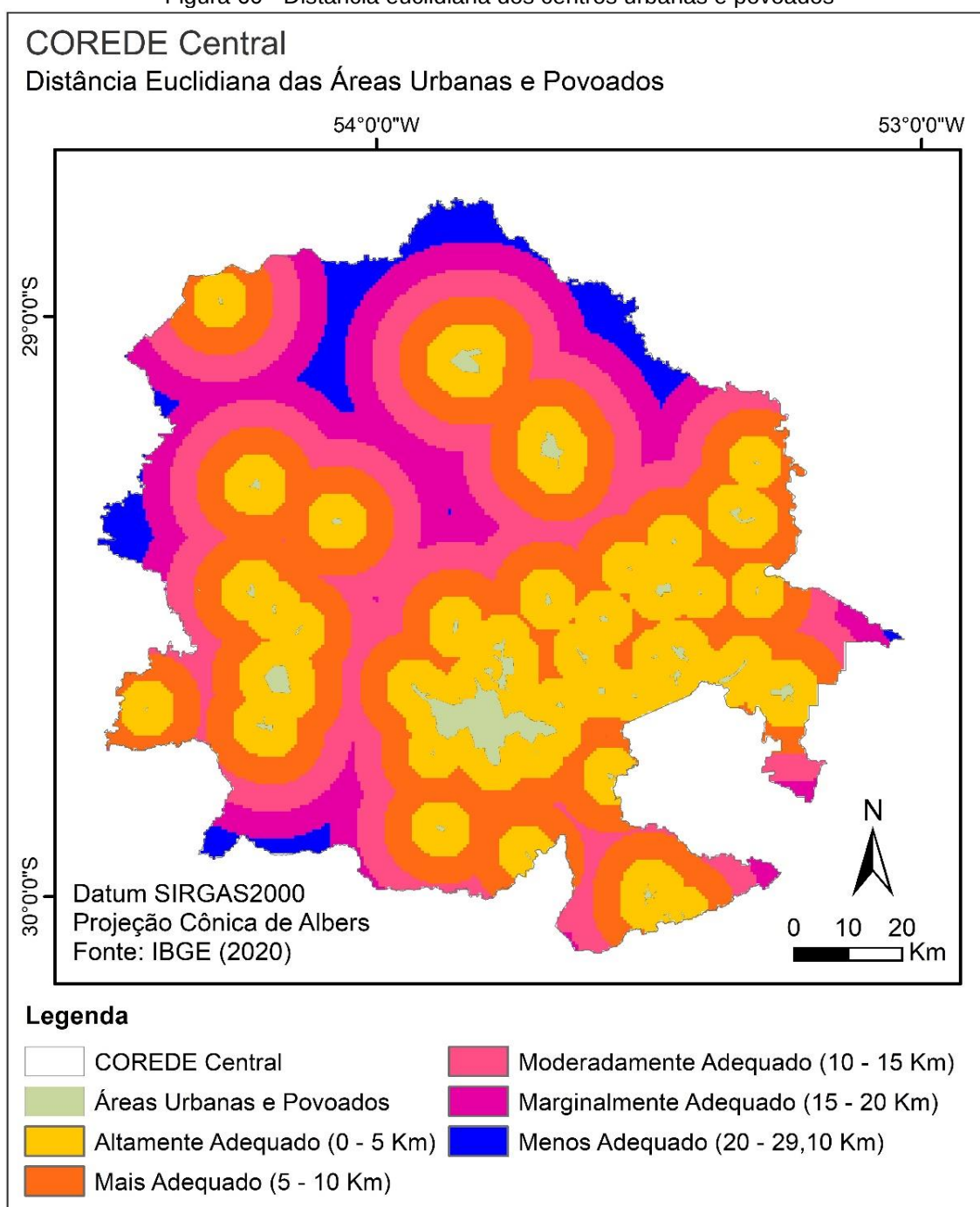
Figura 59 - Concentração populacional nos municípios do COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE 2020.

Na Figura 60 pode-se observar a localização dos centros urbanos e povoados, bem como os locais de maior e menor proximidade com os mesmos. Destaca-se que os maiores pontos de consumo energético se localizam nesses locais, com isso a proximidade dos parques FV a essas áreas pode vir a reduzir perdas técnicas e infraestrutura para a instalação do sistema. O peso obtido para este critério com base no método AHP-TOPSIS-2N corresponde a 4%.

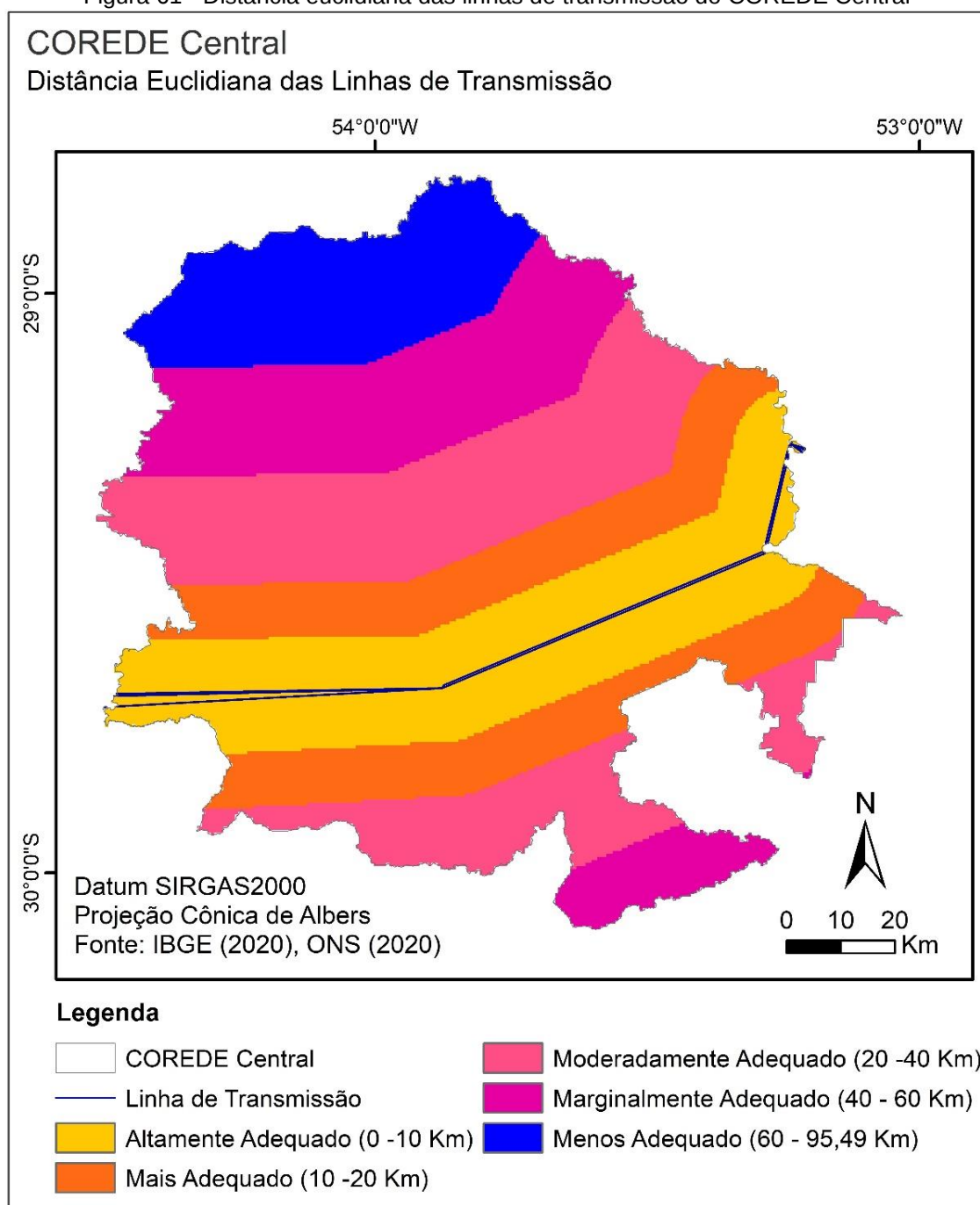
Figura 60 - Distância euclidiana dos centros urbanas e povoados



Fonte: Autora, com base em IBGE 2020.

A proximidade com as linhas de transmissão torna-se um pouco mais complexa já que há apenas duas linhas sobre a região de 230/138/69 kV localizadas ao sul, conforme Figura 61. Além disso, essas linhas são responsáveis por receber e transmitir a energia produzida nas barragens de Dona Francisca e Itaúba, situadas ao leste do COREDE Central. O peso obtido para este critério com base no método AHP-TOPSIS-2N corresponde a 3%.

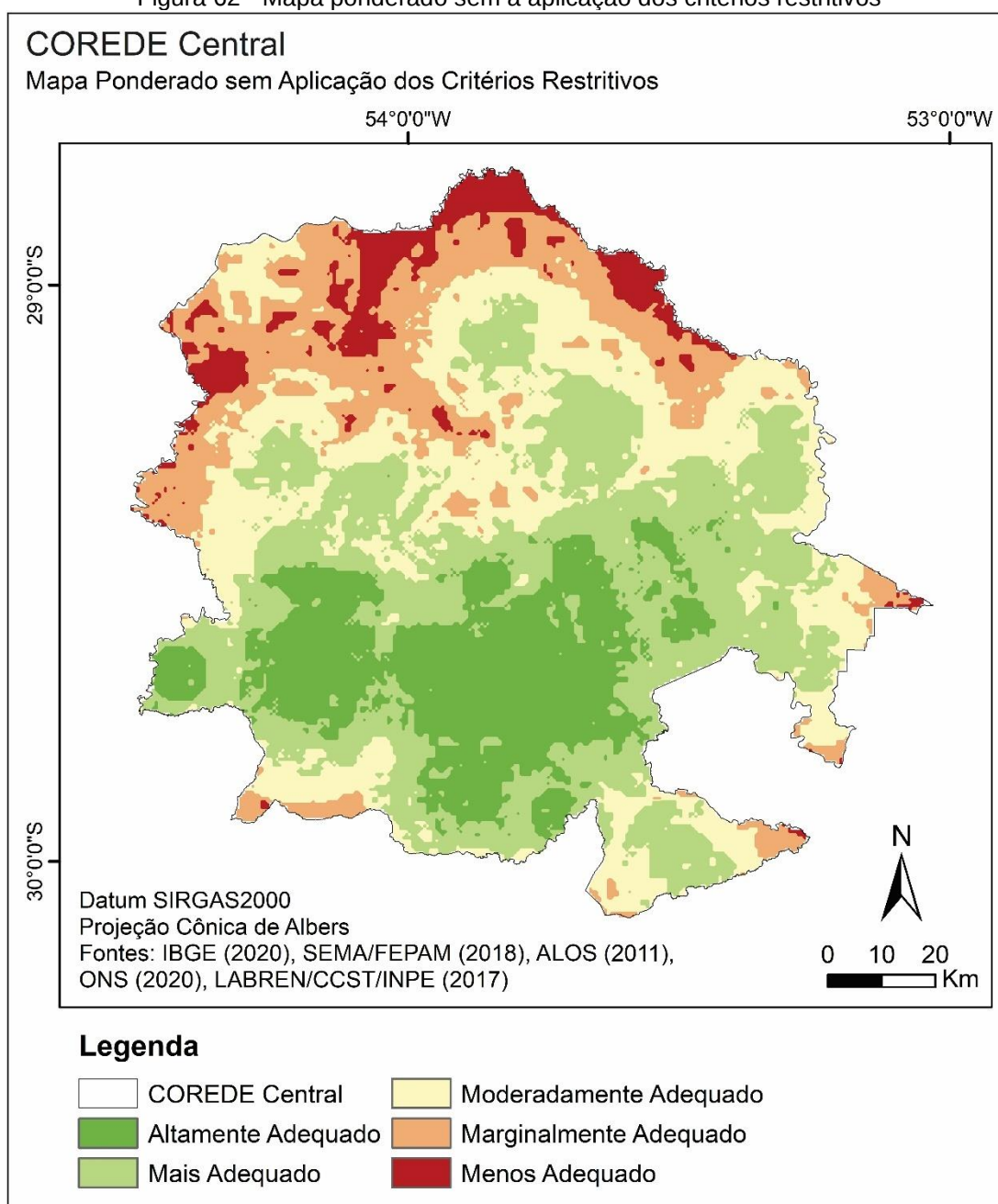
Figura 61 - Distância euclidiana das linhas de transmissão do COREDE Central



Fonte: Autora, com base em IBGE 2020 e ONS (2020).

Por fim, com a ponderação já realizada (Figura 62) observa-se que as áreas situadas ao sul do COREDE central foram identificadas com maior potencial para a instalação de parques FV. Isso decorre, por estar concentrado nessa região as áreas caracterizadas como Altamente Adequadas dos seguintes critérios: linhas de transmissão, subestação, concentração populacional, centros urbanos e povoados, menor declividade e uma maior concentração da malha viária, logo, mais áreas localizadas próximas a essa infraestrutura.

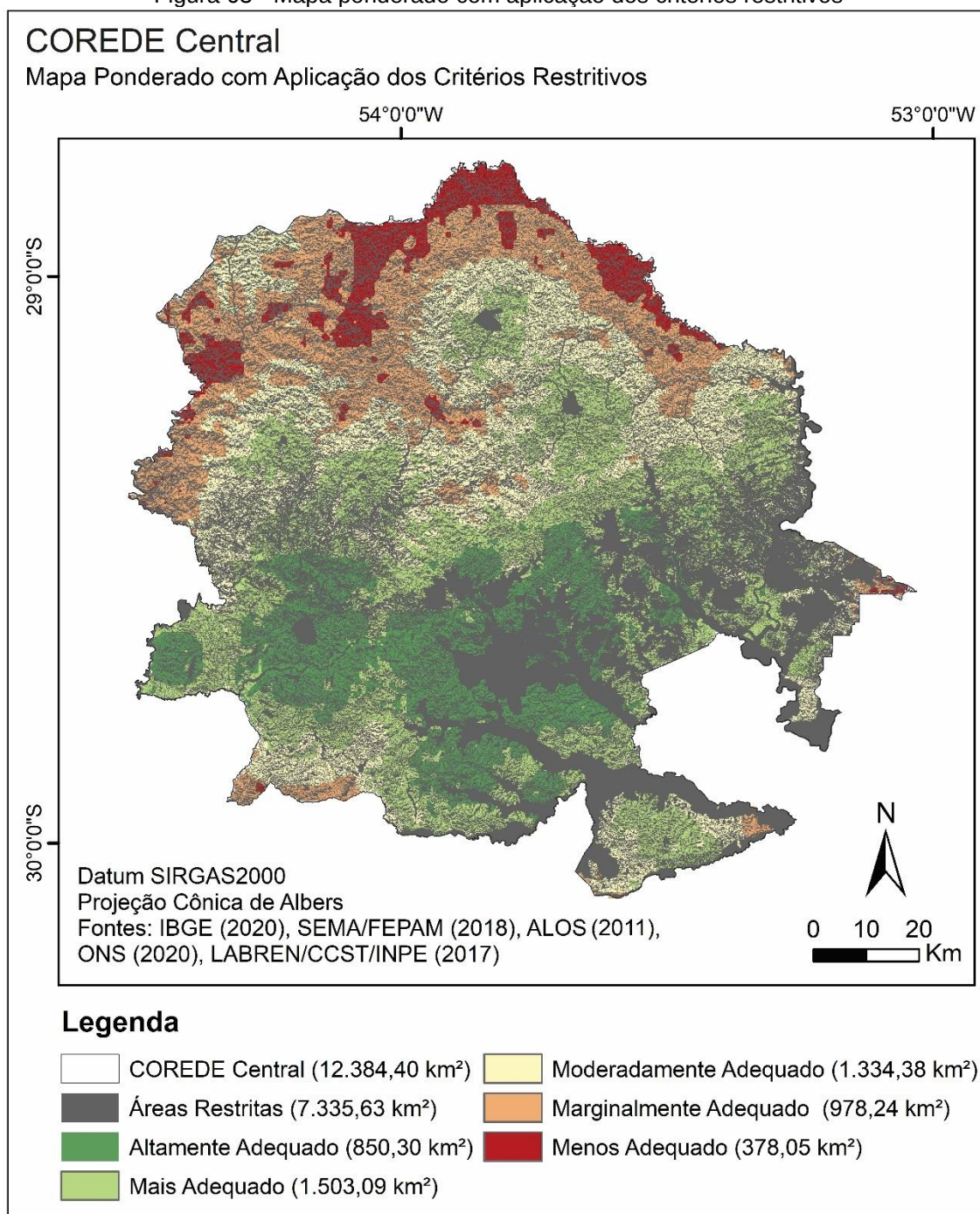
Figura 62 - Mapa ponderado sem a aplicação dos critérios restritivos



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020), SEMA/FEPAM (2018), ALOS (2011), ONS (2020), LABREN/CCST/INPE (2017).

Na Figura 63, pode-se analisar o mapa ponderado já com a aplicação dos critérios restritivos. Nota-se que, boa parte, dos locais identificados como Altamente Adequados e Mais Adequados também são onde há uma maior concentração dos critérios restritivos na parte sul e leste da região.

Figura 63 - Mapa ponderado com aplicação dos critérios restritivos



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020), SEMA/FEPAM (2018), FEPAM (2009), ALOS (2011), ONS (2020), LABREN/CCST/INPE (2017).

No Quadro 16 pode-se observar os resultados da ponderação das áreas livres identificadas no COREDE Central. Observa-se que as categorias com maior área são a Mais Adequado e a Moderadamente Adequado, representando 56% do total das áreas livres.

Quadro 16 - Somatório das áreas ponderadas no COREDE Central

Áreas Livres Ponderadas	Área (km²)
Altamente Adequado	850,3
Mais Adequado	1.503,09
Moderadamente Adequado	1.334,38
Marginalmente Adequado	978,24
Menos Adequado Adequado	378,05
Somatório das áreas livres	5.044,06
Total do COREDE Central	12.384,40

Fonte: Autora.

Outra questão a ser discutida é referente a diferença obtida no somatório das áreas dos critérios restritivos com os de ponderação com relação a área total do COREDE Central. No Quadro 17 pode-se observar que essa diferença foi de 4,71 km².

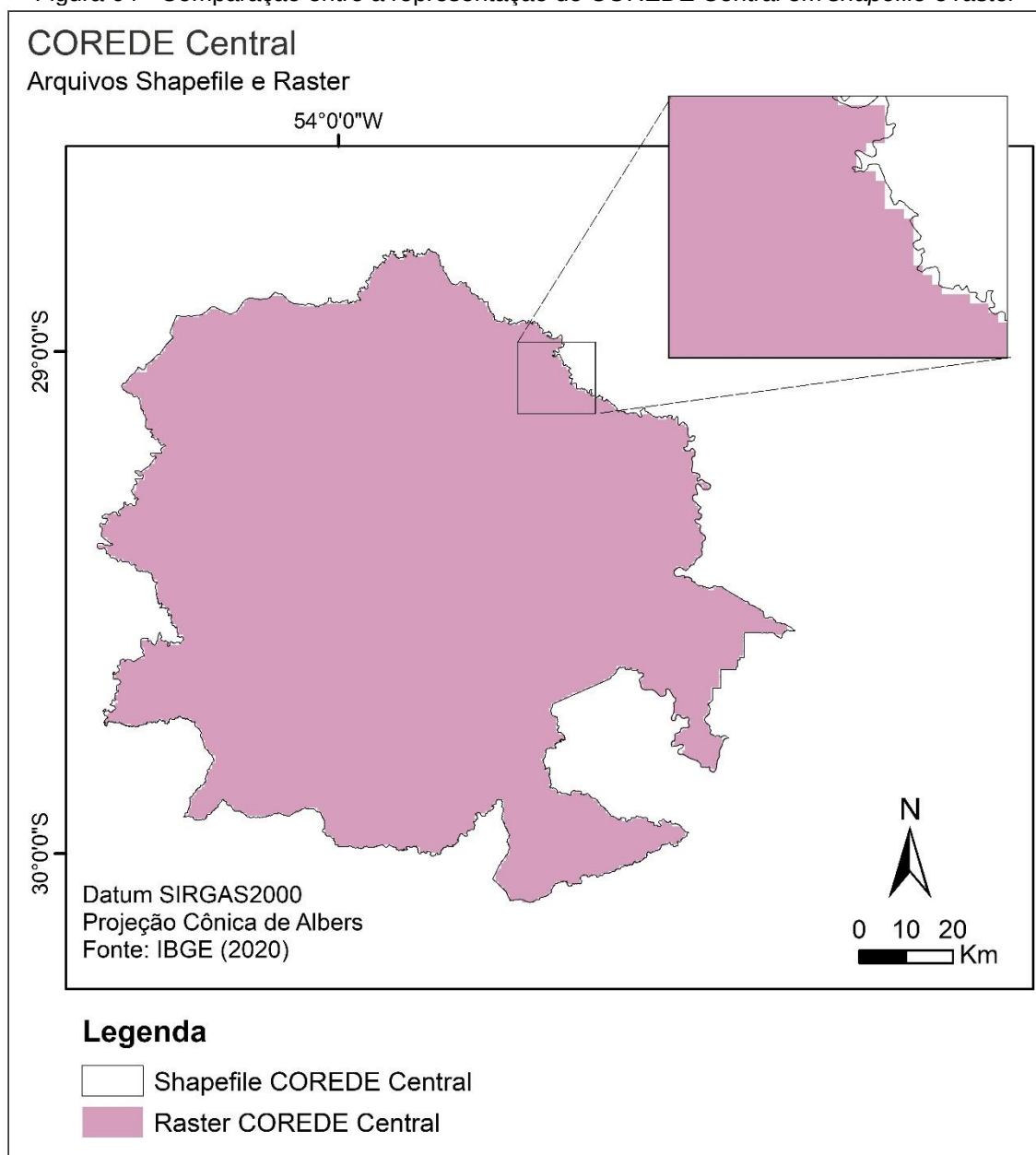
Quadro 17 - Diferença entre o somatório dos critérios restritivos

Avaliação das Áreas Livres e das Áreas Restritas	Área (km²)
Critérios Restritivos	7.335,63
Critérios Ponderados	5.044,06
Somatório das Áreas	12.379,69
Total do COREDE Central	12.384,40
Diferença Obtida	4,71

Fonte: Autora.

Isso ocorre, em especial, porque a análise dos critérios restritivos trata-se da sobreposição de várias camadas *shapefile* (apresentam maior precisão), que são unidas pela ferramenta *merge* e, em seguida, aplicado a ferramenta *dissolve* para eliminar as sobreposições de áreas restritas. Já a análise dos critérios de ponderação decorre da sobreposição de várias camadas no formato *raster* (menor precisão) que são unidas pela ferramenta *Weighted Overlay* e, posteriormente, transformada em *shapefile* para o cálculo das áreas. Como já destacado ao longo deste trabalho, os arquivos em formato *raster* são *pixels*, então nesse processo de conversão (*raster* para *shapefile*) há uma perda de área na borda da delimitação da região, conforme Figura 64.

Figura 64 - Comparação entre a representação do COREDE Central em *shapefile* e *raster*



Fonte: Autora, com base em IBGE (2020).

Contudo, apesar dessa diferença a precisão alcançada na análise foi de 99,96%. Com isso, é possível validar os dados obtidos na presente pesquisa, visto que, as áreas restritas somadas as áreas categorizadas geram um resultado coerente com a área oficializada pelo IBGE (2020) para a região. Além disso, a distribuição das áreas categorizadas no território também estão de acordo, já que há uma sobreposição de critérios de ponderação na parte sul e leste do COREDE Central, assim como a distribuição dos critérios de restrição que também apresentam uma concentração ao sul e ao leste.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim, com base nas análises realizadas, no que diz respeito ao território brasileiro, no ano de 2020, o consumo energético nacional se configurou da seguinte forma: industrial com 166.335 GWh, residencial com 148.173 GWh, comercial com 82.522 GWh, rural com 30.908 GWh, serviço público com 16.345 GWh, iluminação pública com 15.463 GWh, poder público com 12.764 GWh, e o consumo do próprio sistema com 3.138 GWh. Destaca-se que o consumo energético no país teve um aumento de 25,47% nos últimos 10 anos.

Observou-se também que o sistema hídrico é a fonte energética predominante no país representando 62% do total instalado, seguido da eólica (10,60%), biomassa (8,71%), gás natural (8,40%), derivados de petróleo (5,18%) carvão e derivados (2,03%), solar (1,94%) e nuclear (1,13%). Com ênfase na fonte de energia solar FV, embora todo o país tenha potencial para fazer uso do sistema, os estados do Ceará, Piauí, Paraíba, parte da Bahia e parte de Minas Gerais são as regiões que recebem o maior índice de irradiação solar, seguido por Pernambuco, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins e Maranhão.

Além disso, os estados que possuem maior potência instalada na geração centralizada não apresentam o mesmo desempenho na geração distribuída, visto que, na forma de geração centralizada há um predomínio de instalações na região Nordeste e Sudeste e na forma de geração distribuída um predomínio nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Esse descompasso pode ser observado, principalmente, nos estados do Piauí, Bahia, Rio Grande do Norte e Paraíba. Quanto as classes, a nível nacional, na forma de geração FV distribuída a residencial é detentora da maior parte das instalações, além disso, chama a atenção o número reduzido de sistemas instalados nas classes públicas (Poder Público, Serviço Público e Iluminação Pública).

No estado do Rio Grande do Sul (RS), notou-se uma alta no consumo de energia elétrica de 24,47% na última década, e há uma previsão de que para o ano de 2040 ocorra um aumento de mais de 65% na demanda estadual. As classes com o maior consumo são: industrial (32%), residencial (30%), comercial (16%) e rural (14%), iluminação pública, serviço público, poder público e o sistema energética somam 8%.

Já o atendimento da demanda energética, atual, se dá por meio de 357 empreendimentos em operação de energia centralizada, sendo de origem renovável

os sistemas: hídrico (58,15%), eólico (19,21%), solar (0,05%) e biomassa (3,29%), e de origem fóssil as termelétricas (19,36%). Pode-se notar que assim como na matriz energética brasileira, a matriz gaúcha também apresenta a energia solar ainda de forma incipiente. Entretanto, ressalta-se que na forma de geração centralizada o RS se encontra na 11ª posição no contexto nacional com 4,31 MW de potência instalada em centrais geradoras de solo, e na forma de geração distribuída o RS tem se mantido entre os principais estados com maior potência instalada sendo, atualmente, o 3º colocado com 767,31 MW de potência instalada.

Essas instalações FV de geração distribuída ocorrem, principalmente, nas classes residencial (71%), comercial (15%), rural (11%), industrial (3%) e o poder público, serviço público e iluminação pública que somam menos de 1%. Quanto aos índices de irradiação solar no Rio Grande do Sul, os locais com maior recebimento estão situados nos COREDES Campanha, Fronteira Oeste, Missões e parte dos COREDES Vale do Jaguari, Fronteira Noroeste, Noroeste Colonial e Alto Jacuí.

Já a parte leste, em especial, a região metropolitana de Porto Alegre é o local que recebe os menores índices de irradiação solar. O COREDE Central, por sua vez, situado na região centro do estado recebe índices intermediários quando comparado as regiões oeste e leste do RS. Contudo, ainda assim o território gaúcho possui índices maiores que outros países como, por exemplo, os europeus que empregam largamente o sistema solar fotovoltaico.

Sobre o abastecimento energético do COREDE Central a maior parte dos empreendimentos de energia centralizada são de fonte hídrica, e se localizam ao leste da região, com destaque para as barragens de Dona Francisca e Itaúba que juntas possuem uma capacidade de geração de energia elétrica de 625 MW. Há também a presença de quatro pequenas centrais hidrelétricas e mais duas em construção, três centrais geradoras hidrelétricas e cinco termelétricas de pequeno porte movidas a combustível fóssil em Santa Maria.

Já a geração de energia distribuída ocorre basicamente com o uso de sistemas FV na região, sendo que a maior parte das instalações é no setor residencial (75%), seguido de edificações comerciais (15%) e então instalações no meio rural (8%), industrial (2%) e, ainda pouco representativo, no setor do poder público com menos de 1%. Salienta-se que os primeiros registros de instalações na região iniciaram no ano de 2014, e até junho de 2021 somavam 3.497 instalações e uma potência instalada de 27.652,28 kW.

A região do COREDE Central está entre os nove COREDES (de vinte oito) com o maior consumo energético posição dada, principalmente, pela grande demanda de Santa Maria, uma vez que, o município possui 68% da população total da região, e concentra diversos órgãos públicos estaduais e federais, as unidades militares Brasileiro e da Aeronáutica, serviços nas áreas da saúde e educação, uma maior diversidade de empreendimentos dos setores industrial, comercial e de serviços. Enquanto os demais municípios apresentam uma concentração populacional reduzida e, em boa parte, os setores de serviços e agropecuário são os principais responsáveis pela economia local.

Nesse sentido, ao avaliar o COREDE Central na busca por locais mais indicados para a instalação de parques FV uma série de critérios (restritivos e de ponderação) foram estabelecidos sobre a região.

Assim, o critério restritivo que mais eliminou áreas na região foram as encostas orientadas ao sul, sudeste e sudoeste, seu somatório foi de 4.186,93 km² (41%), sendo desse total a orientação sul com 1.273,38 km², sudeste 1.441,93 km² e sudoeste 1.471,62 km². As áreas de preservação permanente dos trechos de drenagem também fazem uso de uma parcela significativa com 2.179,47 km² (21%).

Já as áreas com declividade superior a 20% somaram 1.543,49 km² (15%), a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica uma área de 806,95 km² (8%), e as áreas inundáveis 680,53 km² (7%). O sistema rodoviário 286,18 km² (3%), os centros urbanos e povoados rurais 253,78 km² (3%), os trechos de massa d'água 136,53 km² (1%), as áreas úmidas 115,98 km² (1%). Com a utilização de áreas menores, porém, representativas no contexto regional segue as massas d'água com 30,98 km², a APP com declividade superior a 45°, a área ocupada pela ferrovia e sua faixa de domínio com 7,70 km², e as ilhas com 0,87 km², que juntos somam 48,09 km² e representam menos de 1% do total regional.

Após descontar as áreas onde houveram sobreposição de critérios chegou-se ao valor de 7.335,63 km² (59 %). Salienta-se que boa parte dos critérios restritivos se sobrepõem na parte leste, com destaque para a RBMA, as áreas com declividade superior a 20%, a APP com declividade superior a 45°, as encostas orientadas a sul, sudeste, sudoeste e as áreas passíveis de inundação também restringem o uso de parte desse local.

Já para identificar dentro das áreas livres os locais mais aptos para a instalação de parques FV, as análises demonstraram que as áreas situadas ao sul da região

possuem maior potencial isso se dá, em especial, devido a concentração das áreas entendidas como altamente adequadas dos critérios de ponderação da (1) linha de transmissão, (2) da subestação, (3) da concentração populacional, (4) dos centros urbanos e povoados rurais, (5) da menor declividade, e (6) uma maior concentração de locais próximos ao sistema viário. Enquanto que na região norte apenas o critério de irradiação solar se sobressai, sobre o critério da orientação solar observou-se que, de certa forma, há uma homogeneidade em sua distribuição na região, ou seja, um valor de área similar para cada uma das orientações.

Assim, apesar do critério da irradiação solar possuir o maior peso (27%), devido a sobreposição dos demais critérios ao sul essas áreas foram identificadas como sendo as mais adequadas, entretanto, esses locais também possuem uma área significativa para ser eliminada pelos critérios restritivos. Dessa forma, chegou-se aos valores de: Altamente adequado (850,30 km²), Mais adequado (1.503,09 km²), Moderadamente adequado (1.334,38 km²), Marginalmente adequado (978,24 km²) e Menos adequado (378,05 km²).

Por fim, conclui-se que a tecnologia solar fotovoltaica tem potencial para ser explorada no COREDE Central na forma de geração centralizada, de modo a contribuir com um abastecimento energético mais homogêneo, bem como potencializar sua distribuição nas áreas rurais e nas proximidades do município de Santa Maria, conferindo aos residentes destes espaços maior autonomia e, conseqüentemente, alavancar o desenvolvimento socioeconômico da região. Cabe aos órgãos públicos regionais e estaduais viabilizarem e incentivarem estas instalações, uma vez que, há políticas nacionais de incentivo para a implementação de energia de matriz renovável.

Políticas as quais visam, principalmente, atender aos requisitos de sustentabilidade e baixa emissão de gás carbônico (CO₂) acordadas, por exemplo, na Agenda 2030 e no Acordo de Paris. No entanto, para manter o princípio de sustentabilidade, o qual é atribuído a energia solar fotovoltaica, sua implementação deve estar aliada a busca de um impacto mínimo sobre o meio ambiente, a sociedade e as infraestruturas. Assim, cabe aos projetistas ter pleno conhecimento e acesso as características da região, visando garantir uma escolha de locais adequados para a implantação dos parques fotovoltaicos.

O embasamento em uma ampla gama de informações proporciona um processo otimizado e integrado com as características locais possibilitando, assim,

identificar os locais de maior potencial e realizar um planejamento energético viável tanto econômico quanto ambiental a nível regional. Dessa forma, considerando que o Rio Grande do Sul possui 28 COREDES, entende-se que este estudo pode vir a contribuir, e ser replicado nas demais regiões possibilitando, um maior embasamento para o desenvolvimento de políticas de desenvolvimento do setor energético regional e estadual. Além disso, é um meio de enriquecer as análises energéticas realizada pelos COREDES no âmbito dos Planos Estratégicos de Desenvolvimento Regionais, de modo a propiciar um reconhecimento do território, e se valer dessas informações para identificar as potencialidades e limitações energéticas regionais

REFERÊNCIAS

- AEEE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). 2011. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoesdadosabertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 15 jul. 2021.
- AEEE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energiaeletrica>.
- ARCGIS PRO. **ArcGIS Desktop Student Trial**. ESRI. 2021. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop-student-trial>. Acesso em: 12 jan. 2021.
- REM TEC. **Agrovoltaico**. 2021. Disponível em: <https://remtec.energy/en/agrovoltaico>. Acesso em: 8 abr. 2021.
- AGENDA 2030. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/sobre/>. Acesso em: 02 maio 2021.
- ALBUQUERQUE, B. **Pronunciamento Nacional Ministro de Minas e Energia. Ministério de Minas e Energia**. 2021. Brasília, DF. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=_z_JxKMK33Q.
- AL GARNI, H. Z.; AWASTHI, A. Solar PV power plant site selection using a GIS AHP based approach with application in Saudi Arabia. **Applied Energy**, [s.l.], v. 206, n. October, p. 1225–1240, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>. Acesso em: 21 jun. 2021.
- ALOS PALSAR. **EARTHDATA**: open access for open science. 2011. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS>. Acesso em: 13 fev. 2021.
- AMIR, M.; DAIM, T. Selection of renewable energy Technologies for a developing country: A case of Pakistan. **Energy for Sustainable Development**, v. 15, n. December, p. 420-435, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082611000767?via%3Dihub>. Acesso em: 21 jun. 2021.
- ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2002. Brasília, DF. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf.
- ANEEL. **Relatório ANEEL 10 anos**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2008. Brasília, DF. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876457/2008_Relatorio10Anos/3e6e6e85-c2d9-98a3-d5fb-7646289abdf0.
- ANEEL. **Perdas de Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica**. 2020. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/metodologia-distribuicao/-/asset_publisher/e2INtBH4EC4e/content/perdas/654800?inheritRedirect=false. Acesso em: 14 abr. 2021.
- ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída**: Proposta em Audiência Pública. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2019. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BuMRgS0Bmp8&t=201s>.

AKKAŞ, Ö. P.; ARIKAN, Y.; ÇAM, E. Selection of a solar power plant location by using. **International Journal of Energy Applications and Technologies**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 122–128, 2017.

ATLAS RS. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. 2020. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. Departamento de Planejamento Governamental. 5 ed. – Porto Alegre. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/ocupacao-do-territorio>. Acesso em: 17 nov. 2019.

AZIZKHANI, M.; VAKILI, A.; NOOROLLAHI, Y. NASERI, F. Potential survey of photovoltaic power plants using Analytical Hierarchy Process (AHP) method in Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 75, n. December, p. 1198–1206, 2017.

BARBIÉRI, L. F. **Câmara aprova projeto que cria marco legal para geração própria de energia**. 2021. Brasília, DF. Disponível em: <https://g1.globo.com/politica/noticia/2021/08/18/camara-aprova-projeto-que-institui-marco-legal-para-geracao-propria-de-energia.ghtml>.

BERS. **Balanco Energético do Rio Grande do Sul 2015**: ano base 2014. Porto Alegre, Grupo CEEE / Secretaria de Minas e Energia do Rio Grande do Sul, 2015. 200p.

BENEDETTI, A. C. P. **Análise espacial da evolução do uso e cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal, Santa Maria/RS**. 2006. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.

BRASIL. **Lei Nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. 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 Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica [...]. 2002. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Institui o novo código florestal brasileiro. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 27 abr. 2021.

BRASIL. **Resolução nº 8, de 30 de janeiro de 2015**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 de fevereiro de 2015. Seção 1, pg. 100. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=02/02/2015&jornal=1&pagina=100&totalArquivos=156>. Acesso em: 16 maio 2021.

BRASIL. **Decreto Nº 5.334, de 6 de janeiro de 2005**. Dá nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. 2005. Câmara dos Deputados, Poder Executivo, Brasília, DF.

BRASIL. **Projeto de Lei Nº 10.370, de 6 de junho de 2018**. Institui a Política Nacional de Energia Solar Fotovoltaica-PRONASOLAR e dá outras providências. 2018. Câmara dos Deputados, Poder Executivo, Brasília, DF.

BRASIL. **Lei Nº 13.913, de 25 de novembro de 2019**. Altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 [...]. 2019. Câmara dos Deputados, Poder Executivo, Brasília, DF.

BRASIL. **Projeto de Lei Nº 5829, de 5 de novembro de 2019**. 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 nºs 10.848, de 15

de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. 2019. Câmara dos Deputados, Poder Executivo, Brasília, DF.

BEVILACQUA, D.; RORATO, G. Z.; COLUSSO, I.; MADRUGADA, P. R. de A. **Quarta Colônia: atlas ambiental**: mapas base e temáticos. Santa Maria: UFSM; Condesus, 2013.

BÜTTENBENDER, P. L.; SIEDENBERG, D. R.; ALLEBRANDT, S. L. Conselhos Regionais de Desenvolvimento (COREDES) RS: articulações regionais, referenciais estratégicos e considerações críticas. In: Circuito de Debates Acadêmicos, 1. 2011, Brasília. [Anais...] Brasília: CODE, 2011. p. 81-106.

CAITANO, A. L.; SANTOS, M. dos; SILVA, P. A. L da; PEREIRA, D. A. de M; COSTA, I. P. de A. Aplicação do método híbrido AHP TOPSIS 2N para escolha de sistema de transporte urbano: um estudo de caso no município de Magé/RJ. VIII Simpósio de Engenharia de Produção. 2020. [Anais...] v. 7 n. 3.

CAMARGO SCHUBERT et al. **Atlas Eólico Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SDPI- AGDI, 2014. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/atlas-das-energias-renovaveis-rs>. Acesso em: 10 jun. 2021.

CAMARGO SCHUBERT. et al. **Atlas Solar Rio Grande do Sul**. Curitiba: Camargo Schubert; Porto Alegre: SMERS, 2018. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/atlas-das-energias-renovaveis-rs>. Acesso em: 28 abr. 2021.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios Básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações geográficas**: Aplicações na agricultura. 2 ed. Brasília: Embrapa, 1998. Rev. e ampl. 434p.

CARPINETTI, L.C.R. Técnicas de Suporte à Decisão Aplicadas à Gestão de Desempenho de Cadeias de Suprimentos. 2020. **Notas de aula**. Universidade de São Paulo (USP). Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5165251/mod_resource/content/3/SEP5836%20Aula%20TOPSIS%202019.pdf. Acesso em: 16 ago. 2021.

CARGNIN, A. P. **Políticas de Desenvolvimento Regional no Rio Grande do Sul: Vestígios, Marcas e Repercussões Territoriais**. Brasília, Ministério da Integração Nacional, 240 p., 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/299135970_Políticas_de_Developolvimento_Regional_no_Rio_Grande_do_Sul_vestigios_marcas_e_repercussoes_territoriais Acesso em: 17 maio 2020.

CARGNIN, A. P. **Políticas de Desenvolvimento Regional no Rio Grande do Sul: vestígios, marcas e repercussões territoriais**. 2011. 317 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/36791>. Acesso em: 17 maio 2020.

CARRIÓN, J. A.; ESTRELLA, A. E.; DOLS, F. A.; TORO, M. Z.; RODRÍGUEZ, M. RIDAO, A. R. Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 12, n. 9, p. 2358–2380, 2008.

CHIABRANDO, R.; FABRIZIO, E.; GARNERO, G. The territorial and landscape impacts of photovoltaic systems: Definition of impacts and assessment of the glare risk. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. [s. l.], p. 2441-2451, 2009.

COELHO, T. A. S. **Análise Geoespacial e Mapeamento da Densidade de Pontos de Alagamento em Vias Públicas do Município de São Paulo, entre 2008 e 2013**. 2016.

136p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, SP, 2016.

COLOMBO, D.; SANTOS, M. dos; GOMES, C. F. S. Seleção da melhor configuração de poço de petróleo para o desenvolvimento de um campo utilizando o método AHP TOPSIS 2N. In: XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha – SPOLM, 2020, Rio de Janeiro, RJ. [Anais...].

CONDESUS Quarta Colônia. 2021. Disponível em: <http://www.condesusquartacolonia.com.br/quem-somos/missao>. Acesso em: 13 fev. 2021.

DEE. **PIB Municipal.** Departamento Econômico e Estatístico. 2018. Disponível em: <https://dee.rs.gov.br/pib-municipal>. Acesso em: 28 abr. 2021.

DIESEL, A. N.; GONÇALVES, T. P. Inventário do patrimônio histórico e cultural: registro da origem e da identidade da Quarta Colônia. In: BEVILACQUA, D.; RORATO, G. Z.; COLUSSO, I. **Quarta Colônia: construção do planejamento municipal e regional.** Santa Maria: UFSM; Porto Alegre: Livraria do Arquiteto, 2010. p. 85–98.

DOMINGUES, C. V.; SIMÕES, L.L. O SIG na gestão pública: análise crítica de um caso bem-sucedido – desafios e perspectivas. **Exacta**, São Paulo, vol. 5, nº 2, julho-dezembro, 2007. p. 353-360.

DOORGA, J. R. S.; RUGHOOPUTH, S. D. D. V.; BOOJHAWON, R. Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: A case study in Mauritius. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 133, p. 1201–1219, 2019.

DUPRAZ et. al. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. **Renewable Energy**, p. 2725-2732, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/229408925_Combining_solar_photovoltaic_panels_and_food_crops_for_optimising_land_use_Towards_new_agrivoltaic_schemes. Acesso em: 26 jun. 2021.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. In: **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula...Rio de Janeiro, 1979. 83p.

EMBRAPA. **ALOS – Advanced Land Observing Satellite.** 2018. Disponível em: [https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/alos#:~:text=Tr%C3%AAs%20sensores%20estiveram%20%C3%A0%20bordo,Radiometer%2Dtype%20\)%20voltado%20aos](https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/alos#:~:text=Tr%C3%AAs%20sensores%20estiveram%20%C3%A0%20bordo,Radiometer%2Dtype%20)%20voltado%20aos). Acesso em: 17 mar. 2021.

ENEA. **Energia:** relatório ENEA – IEA, plantas fotovoltaicas na Itália estão em alta (+12%). 2021. ENEA. Disponível em: <https://www.enea.it/en/news-enea/news/energy-enea-iea-report-photovoltaic-plants-in-italy-are-bouncing-back-12>. Acesso em: 18 out. 2021.

EPOCA NEGOCIOS. **Preço da energia solar caiu 89% em 10 anos.** Editora Globo. 2020. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Sustentabilidade/noticia/2020/12/preco-da-energia-solar-caiu-89-em-10-anos.html>. Acesso em: 12 ago. 2021.

ERENO, D.; OLIVEIRA, M. de. **A eletricidade do Sol.** Pesquisa FAPESP. Ed 184, 2011. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-eletricidade-do-sol/>. Acesso em: 06 nov. 2021.

ESMAP. **Potencial global de energia fotovoltaica por país.** Washington, DC: Banco Mundial. 2020. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study>. Acesso em: 06 nov. 2021.

EUGENIO, F. C.; SANTOS, A. R. dos; FIEDLER, N. C.; GLERIANI, J. M. Mapeamento das áreas de preservação permanente do Espírito Santo, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n.3, p. 897-906, jul.-set., 2017.

FELIPPI, A. T. C.; BRANDT, G. B.; KIST, R. B. B.; DRUMM, E. C.; KUMMER, D. C.; CANABARRO, A. C. O planejamento e a gestão das políticas regionais no Rio Grande do Sul. In: FELIPPI, A. T. C.; SILVEIRA, R. L. L. da; ALLEBRANDT, S. L. **Observando o planejamento regional no Rio Grande do Sul**. Santa Cruz do Sul.: EDUNISC, 2015. p. 159–181.

FEPAM. **Biblioteca Digital**. 2009. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp. Acesso em: 14 abr 2021.

GEMAEL, C. **Introdução a Geodésia Física**. Paraná: UFPR, 302p. 1999.

GEOINFO. **Mapa de Solos do Brasil**. Embrapa Solos. 2020. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104. Acesso em: 17 jun. 2021.

GIOSTRA, S. **Land integrated photovoltaics : the new energy landscape of Europe**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. p. 104. Disponível em: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-andtechnical-research-reports/land-integrated-photovoltaics-new-energy-landscape-europe>. Acesso em: 17 abr. 2019

GODOY, BINOTTO, SILVA, ZERFASS. **Geologia e Recursos Minerais do Geoparque Quarta Colônia**. 2011. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/11188>. Acesso em: 10 abr. 2021.

GODOI, W. da C. Método de Contrução das Matrizes de Julgamento Paritários no AHP – Método do Julgamento Holístico. 2014. **Revista Gestão Industrial**. Ponta Grossa, PR, v. 10, n.03, p. 474-493. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/1970>. Acesso em: 27 jul. 2021.

GOMES, R. de C; BIAS, E. S. Integração do Método AHP e SIG como instrumento de análise do nível de conservação ambiental em bacias hidrográficas. 2018. **Revista Geociências**. São Paulo, SP, v. 37, n.1, p. 167 – 182. Disponível em: <https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/12647>. Acesso em: 27 jul. 2021.

GOMES, L. F. A. .M.; GOMES, C. F. S. **Princípios e métodos para tomada de decisão: enfoque multicritério**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019. p. 360.

GUERREIRO, T. C. M. **Mineração de dados, SIG e análise multicritério combinados para o planejamento de redes cicloviárias urbanas.** 2016. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2016.

HENDGES, A. S. As Áreas de Preservação Permanentes – APP no Código Florestal – Lei 12.651/2012. in: **EcoDebate**. 2014. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2014/05/05/as-areas-de-preservacao-permanentes-app-no-codigo-florestal-lei-12-6512012-artigo-de-antonio-silvio-hendges/>. Acesso em: 10 maio 2021.

HIGGINS. C. **Sustainable Farm Agrivoltaic Project**. Oregon State University. 2021. Disponível em: <https://agsci.oregonstate.edu/newsroom/sustainable-farm-agrivoltaic>. Acesso em: fev. 2021.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. **Energia e meio ambiente**. Tradução REIS, L. B.; VICHI, F. M.; MELLO, L. F. 5.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

IBGE. **Censo demográfico do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 28 abr. 2021.

IBGE. **Acesso e Uso de Dados Geoespaciais**. In: Manuais Técnicos em Geociências. Instituto Nacional de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, RJ, 143 p., nº 14, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101675.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2021.

IBGE. Noções Básicas de Cartografia. In: **Manuais Técnicos em Geociências**. Instituto Nacional de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, RJ, 130 p., nº 8, 1999. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/ManuaisdeGeociencias/Nocoessbasicas%20de%20cartografia.pdf> Acesso em: 17 jul. 2021.

IBGE. **Estimativas da População**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE). 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>. Acesso em: 14 abr. 2021

IBGE. **Áreas Territoriais**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas.2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>.

IBGE. **Bases Cartográficas Contínuas**.2020. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas.html>.

IEA. **Global Energy Review 2021**. 2020. IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>. Acesso em: 04 ago. 2021

IEA. **Global Energy Review 2021**. 2021. IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>. Acesso em: 04 ago. 2021

JUNIOR, M. O.; SOUZA, C. C. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. 2020. **Interações**, Campo Grande, MS, v. 21, n. 2, p. 379-387. Disponível em: <https://www.interacoes.ucdb.br/interacoes/article/view/1760>. Acesso em: 27 jul. 2021.

KALDELLIS, J. K. et al. Comparing recent views of public attitude on wind energy, photovoltaic and small hydro applications. **Renewable Energy**, [s. l.], p. 197-208,2013.

KONSTANTINOS, I.; GEORGIOS, T.; GARYFALOS, A. 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, n september, 232-246, 2019.

KONRAD, O. et al. **Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul para produção de biogás e biometano**. 2016. Lajeado: Ed. da Univates. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/atlas-das-energias-renovaveis-rs>.

KUMMER, D. C.; SILVEIRA, R. L. L. Da. A importância da Matriz SWOT (FOFA) no contexto dos planos estratégicos de desenvolvimento do Rio Grande do Sul. **Jovens Pesquisadores**, Santa Cruz do Sul, v. 6, n. 1, p. 101–115, 2016.

LABREN/CCST/INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/>

LINDEN, J. Green dot Animo Leadership High School/ Brooks + Scarpa Architects. **Archdaily**. 2013. Disponível em: <https://www.archdaily.com/340616/green-dot-animo-leadership-high-school-brooks-scarpa-architects>. Acesso em: 12 maio 2020.

MALONE, U. **Study finds green roofs make solar panels more efficient**. 2021. Disponível em: <https://www.abc.net.au/news/2021-08-24/nsw-green-roofs-make-solar-panels-more-efficient/100400552>. Acesso em: 01 out. 2021.

MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. **Ambiente Construído**. v. 11, n. 2, p. 173 – 187, abr./jun. 2011.

MEDEIROS, C. B.; PIRES, F. Banco de Dados e Sistemas de Informações Geográficas. In: Assad, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2ª edição. Brasília: Embrapa, 1998. p 31-36.

MERROUNI, A. A.; ELALAOUI, F. E.; MEZRHAB, A. MEZRHAB, A.; GHENNIQUI, A. Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 119, p. 863–873, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.044>. Acesso em: 17 maio 2019

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 4 ed. Ver. E atual. 399p.

MORAN et al. Sustainable hydropower in the 21st century. In: **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**. USA, vol 115 (47), p.11891-11898, nov. 2018. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/115/47/11891>. Acesso em: 10 jun. 2021.

OLIVEIRA, C. A. BELDERRAIN, M. C. Considerações sobre a obtenção de vetores de prioridades no AHP. In: IERABIO – XXI ENDIO – ÉPIO, 2008, Posadas, Misiones, Argentina. **[Anais...]**. Disponível em: https://cleberalmeida.webs.com/T51AVANCES_TEORICOS_BELDERRAIN.pdf. Acesso em: 14 mar. 2020.

OLIVEIRA, N. C.; OLIVEIRA, P. F. C. de. Aplicação do Método AHP TOPSIS 2N como Apoio à Tomada de Decisão: Estudo de Caso no Departamento Jurídico da Secretaria Municipal de Saúde de Duque de Caxias. VIII Simpósio de Engenharia de Produção. 2020. **[Anais...]** v. 7 n. 3. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/35290>. Acesso em: 14 maio 2021.

ONS. **Nota Técnica com Avaliações das Condições de Atendimento Eletroenergético do SIN**. 2021. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20210604-ons-elabora-nota-tecnica-com-avaliacao-das-condicoes-de-atendimentoeletroenergetico-do-sin.aspx>.

ONS. **Sistema de Informações Geográficas Cadastrais do SIN – SINDAT**. 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 16 mar. 2021.

ONU. **Perspectivas Mundial da População**. Organização das Nações Unidas (ONU). 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900>. Acesso em: 23 nov. 2019

ONU. **Population Data**. Organização das Nações Unidas (ONU). 2021. Disponível em: <https://population.un.org/wpp2019/Download/Standard/Population/>. Acesso em: 10 set. 2021.

PEDCC. **Plano estratégico de desenvolvimento do COREDE Central 2015-2030**. Santa Maria, 2017.

PDE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética, Brasília: MME/EPE, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-422/PDE%202029.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

PEDRON, F. A. et al. **Principais solos da região da Quarta Colônia**, Rio Grande do Sul: guia de excursão. Santa Maria: UFSM/CCR/Departamento de Solos, 2007.

PEREIRA E MARTINS (2018). Energia Solar: O potencial brasileiro. In: **O Setor Elétrico**. 145. ed. Atitude Editorial. Disponível em: <http://www.osetoelettrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Renovaveis-ed145-Capitulo-I-Energia-Solar.pdf>.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>.

PES, M. P.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, S. V. (2018). **Energia solar: fundamentos para otimização da geração fotovoltaica**. São Paulo, SP. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/producao.html>.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (2014). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2 ed. rev. ed. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, p. 530.

POHEKAR, S. D. RAMACHANDRAN, M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning--A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2004, vol. 8, issue 4, 365-381.

PRÓ-RS IV: propostas estratégicas para o desenvolvimento regionais no estado do RS: 2011-2014. COREDES-RS. Passo Fundo: Passografic, p. 115-162, 2010. Disponível em: <http://forumdoscoredes.org.br/wp-content/uploads/2019/03/Pro-RS-IV.pdf>. Acesso em: 12 maio 2020.

RBMA. **Portal da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica**. 2021. Disponível em: <https://rbma.org.br/n/>. Acesso em: 19 nov. 2020.

REN21. **Renewables 2021: Global Status Report**. 2021. França, FR. Disponível em: https://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf

REN 482. **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. 2012. ANEEL, Brasília, DF. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>.

REN 687. **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. 2015. ANEEL, Brasília, DF. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>.

RIBEIRO, W. L.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S. **Software AHP-TOPSIS-2N**. 2019. Disponível em: <https://www.dropbox.com/s/z70gpgq1zed3w0pc/Tr%C3%AAs%20M%C3%A9todos.rar?dl=0>. Acesso em: jun. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto Nº 35.764, de 28 de dezembro de 1994**. Regulamenta a Lei nº 10.283, de 17 de outubro de 1994, que criou os Conselhos Regionais de Desenvolvimento - CRDs. Porto Alegre: Assembléia Legislativa. Disponível em: http://www.al.rs.gov.br/legis/m010/M0100099.ASP?Hid_Tipo=TEXT0&Hid_TodasNormas=12439&hTexto=&Hid_IDNorma=12439. Acesso em: 24 set. 2019

RIO GRANDE DO SUL. **Lei nº 10.283, de 17 de outubro de 1994**. Dispõe sobre a criação, estruturação e funcionamento dos Conselhos Regionais de Desenvolvimento e dá outras providências. Porto Alegre: Assembléia Legislativa. Disponível em: http://www.al.rs.gov.br/legis/M010/M0100099.ASP?Hid_Tipo=TEXT0&Hid_TodasNormas=12666&hTexto=&Hid_IDNorma=12666. Acesso em: 24 set. 2019

RIO GRANDE DO SUL. **Projeto de Lei nº 46/2016**. Institui a Política Estadual do Biometano, o Programa Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biometano - RS-GÁS -, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/legislativo/ExibeProposicao/tabid/325/SiglaTipo/PL/NroProposicao/46/AnoProposicao/2016/Default.aspx>. Acesso em: 10 maio 2021.

RUBIM, B.; SAUAIA, R.; KOLOSZUK, R. **A quem interessa inviabilizar a geração distribuída?** 2019. In: ABSOLAR. São Paulo, SP. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/artigos/a-quem-interessa-inviabilizar-a-geracao-distribuida-questiona-absolar/>.

RUMOS 2015: estudo sobre desenvolvimento regional e logística de transportes no Rio Grande do Sul: documento síntese. SCP.DEPLAN-DECAPTE. Porto Alegre: SCP, 2006, 473 p. Disponível em: <http://forumdoscoredes.org.br/wp-content/uploads/2019/03/Pro-RS-IV.pdf>. Acesso em: 12 maio 2020.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. p. 114

SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; TERUEL-SOLANO, J.; SOTO-ELVIRA, P. GARCÍACASCALES, S. Geographical Information Systems (GIS) and MultiCriteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 24, n. May, p. 544–556, 2013.

SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; LAMATA, M. T. Comparative TOPSIS-ELECTRE TRI methods for optimal sites for photovoltaic solar farms. Case study in Spain. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 127, n. 2016, p. 387–398, 2016

SANTOS, I. P. Dos. **Desenvolvimento De Ferramenta De Apoio À Decisão Em Projetos De Integração Solar Fotovoltaica À Arquitetura**. 2013. 278 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, SC, 2013.

SANTOS, M. Teoria Geral de Sistemas e Tomada de Decisão. **EstaTiDados**. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wdgLnRUpok>. Acesso em:

SANTOS, M. Pressupostos Teóricos da Tomada da de Decisão Multicritério. **EstaTiDados**. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=C4meGbEvlwU>. Acesso em:

SANTOS, M. dos; MARTINS, E.; FRAGA, D.; ÁVILA, W. Aquisição de uma Viatura Blindada Multitarefa Leve sobre Rodas (VBMT-LR) para o Exército Brasileiro por meio do Método Híbrido AHP-TOPSIS-2N. VIII Simpósio de Engenharia de Produção. 2020. **[Anais...]** v. 7 n. 3.

SCOGNAMIGLIO, A. “Photovoltaic landscapes”: Design and assessment. A critical review for a new transdisciplinary design vision. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 55, p. 629–661, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.072>. Acesso em: 12 abr. 2019

SCHWERZ, J. P. Inventários de identificação e a experiência na Quarta Colônia de Imigração do Rio Grande do Sul. In: BEVILACQUA, D.; RORATO, G. Z.; COLUSSO, I. **Quarta Colônia: construção do planejamento municipal e regional**. Santa Maria: UFSM; Porto Alegre: Livraria do Arquiteto, 2010. p. 77–84.

SEMA/FEPAM. **Cartografia**. 2018. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/cartografia>. Acesso em: 08 abr 2021.

SIEDENBERG, D. R.; ALLEBRANDT, S. L. Modelo de planejamento estratégico participativo para microrregiões e macrorregiões. In: ALLEBRANDT, S. L.; GRIEBELER, M. P.D.; SIEDENBERG, D. R.; HOFER, C. E. **Planejamento estratégico local**. Ijuí: Unijuí, 2009. p. 97 - 128.

SIGA. **Sistema de Informação de Geração da ANEEL**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2021. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>.

SIGEL. **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico**. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) 2021. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/Down/>. Acesso em: 20 abr. 2021.

SILVA, A. N. R.; RAMOS, R. A. R.; SOUZA, L. C. L de.; RODRIGUES, D. S. MENDES, J. F. G. **SIG: Uma Plataforma para Introdução de Técnicas Emergente no Planejamento Urbano, Regional, e de Transportes**. São Carlos: EdUFSCar, 2008. 227p.

SINDHU, S.; NEHRA, V.; LUTHRA, S. Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 73, n. February, p. 496– 511, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.135>. Acesso em: 17 maio 2019.

SISGD. **Sistema de Registro de Geração Distribuída (SISGD)**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2021 Brasília, DF. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>.

SOBRAPO. **O que é pesquisa operacional?** Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro, RJ, 2021. Disponível em: <https://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>. Acesso em: 24 jun. 2021.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. Terra Roxa **Estruturada / Nitossolo Vermelho**. Agência de Informações Embrapa. 2021 (a). Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_98_10112005101957.html. Acesso em: 18 jun. 2021.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Latossolos**. Agência de Informações Embrapa. 2021 (b). Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html. Acesso em: 18 jun. 2021.

TERZINI, E. *The Italian network for sustainable agrivoltaics: landscape, energy, agriculture nexus*. In: **Photovoltaics | Forms | Landscapes: beauty and power of designed phovoltaics**. 2021, Itália. Disponível em: <https://www.pv-landscapes.com/programme-2/>. Acesso em: 22 jun. 2021.

TOPODATA. **Mapa Índice**. INPE. 2021. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 13 fev. 2021.

UFSM. **Geoparque Quarta Colônia Aspirante UNESCO. Pró Reitoria de Extensão da Universidade Federal de Santa Maria**. 2021. Disponível em: <https://www.ufsm.br/pro-reitorias/pre/geoparque-quarta-colonia/>. Acesso em: 08 abr 2021.

UNESCO. **Geociências e Geoparques Mundiais da UNESCO**. 2021. Disponível em: <https://pt.unesco.org/fieldoffice/brasil/expertise/earth-science-geoparks>. Acesso em: 27 jun. 2021.

UNOESTE. **Unoeste terá maior usina solar de geração distribuída de SP**. 2019. Disponível em: <https://www.unoeste.br/noticias/2019/3/unoeste-tera-maior-usina-solar-de-geracao-distribuida-de-sp>. Acesso em: 12 maio 2020.

URBANETZ, I. V. et al. Current Panorama and 2025 Scenario of Photovoltaic Solar Energy in Brazil. **Smart Energy**. Brazilian Archives Of Biology And Technology, v. 62, p.1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2018000600>. Acesso em: 18 fev. 2021.

URBANETZ JUNIOR, J. et al. Analysis of the Operation of Photovoltaic Systems Installed at Federal University of Technology - Paraná in Curitiba. **Smart Energy**. Brazilian Archives Of Biology And Technology, v. 61, p. 2018000600, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2018000600>. Acesso em: 18 fev. 2021.

UYAN, M. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region Konya/Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 28, p. 11–17, 2013.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. 2. ed. rev atual. São Paulo: Érica. 2015.

XIAO, J.; YAO, Z.; QU J.; SUN, J. Research on an optimal site selection model for desert photovoltaic power plants based on analytic hierarchy process and geographic information system. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, [s. l.], v. 5, n. 2, 2013.

WANG, C. N.; NGUYEN, V. T.; THAI, H. T. N.; DUONG, D. H. Multi-criteria decision making (MCDM) approaches for solar power plant location selection in Viet Nam. **Energies**, [s. l.], v. 11, n. 6, 2018.

WANG, H.X.; MUÑOZ-GARCÍA, M.A.; CANTERO, G. P. M.; LÓPEZ, I. M. Simulación del uso compartido del terreno agrícola por paneles solares fotovoltaicos y cultivo. 2019. X Congreso Ibérico de Agroingeniería. **[Anais...]**. Disponível em: <https://oa.upm.es/57109/>. Acesso em: 13 set. 2021.

WANG, J.; JING, Y.; ZHANG, C.; ZHAO, J. Review on multi-criterial decision analysis aid in sustainable energy decision-making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.13, n°9, 2009.

WATSON, J. J. W.; HUDSON, M. D. Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 138, p. 20–31, 2015.

WERLAN, W. **História da Coônia Santo Ângelo**. Santa Maria: Pallotti, 1995.

WERLAND, A. B. C. **Uma Análise da Relação entre o Consumo de Energia Elétrica e o Crescimento Econômico no Mundo**. 2018. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica, Rio de Janeiro, RJ, 2018.

WORDOMETER. **Covid-19 Coronavirus Pandemic**. 2021. Disponível em: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>. Acesso em: 03 out. 2021.

Como referenciar:

KUMMER, D. C. **Proposta metodológica de análise regional para escolha de locais com maior potencial de inserção de parques fotovoltaicos**. 2021. 175 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2021.

APÊNDICES

APÊNDICE A- AUTORES DA ANÁLISE DE CRITÉRIOS RESTRITIVOS

Código	Autores	Ano	País do Estudo
[1]	CARRIÓN, J.A.; ESTRELLA, A. E.; DOLS, F.A.; TORO, M.Z.; RODRÍGUEZ, M.; RIDAO, A.R.	2007	Espanha
[2]	CHARABI, Y.; GASTLI, A.	2011	Omã
[3]	KENGPOL, A.; RONTLAONG, P.; TUOMINEN, M.	2012	Tailândia
[4]	RUMBAYAN, M.; NAGASAKA, K.	2012	Indonésia
[5]	AYDIN, N. Y.; KENTEL, E; DUZGUN, H. S.	2013	Turquia
[6]	EFFAT, H. A.	2013	Egito
[7]	SANCHÉZ-LOZANO, J. M.; TURUEL-SOLANO, J.; SOTO-ELVIRA, P.L.; GARCÍA-CASCALES, M.S.	2013	Espanha
[8]	UYAN, M.	2013	Turquia
[9]	SANCHÉZ-LOZANO, J. M.; ANTUNES, C. H.; GARCÍA-CASCALES, M.S.; DIAS, L. C.	2014	Espanha
[10]	MONDIGO, E. B.; FABRIZIO, E.; CHIABRANDO, R.	2014	Itália
[11]	MASSIMO, A.; DELL'ISOLA, M.; FRATTOLILLO, A.; FICCO, G.	2014	Itália
[12]	SANCHÉZ-LOZANO, J. M.; GARCÍA-CASCALES, M.S.; LAMATA, M. T.	2015	Espanha
[13]	WATSON, J.J.W; HUDSON, M.D.	2015	Inglaterra
[14]	MERROUNI, A. A., MEZRHAB, A.; MEZRHAB, A.	2016	Marrocos
[15]	SANCHÉZ-LOZANO, J. M.; GARCÍA-CASCALES, M.S.; LAMATA, M. T.	2016	Espanha
[16]	GHERBOUDJ, I.; GHEDIRA, H.	2016	Emirados Árabes
[17]	HASSAN, Z. AI GARNI; AWASTHI, A.	2017	Arabia Saudita
[18]	DOORGA, J.R.S. RUGHOOPUTH, S.D.D.V., BOOJHAWON, R.	2019	Ilha de Mauritus
[19]	REDISKE	2019	Brasil

APÊNDICE B – AUTORES DA ANÁLISE DE CRITÉRIOS DE PONDERAÇÃO

Código	Autores	Ano	País de Estudo
[1]	CARRIÓN, J.A.; ESTRELLA, A. E.; DOLS, F.A. ; TORO, M.Z.; RODRÍGUEZ, M.; RIDAO, A.R.	2007	Espanha
[2]	XIAO, J.; YAO, Z.; QU, J.; SUN. J.	2013	China
[3]	SANCHÉZ-LOZANO, J. M.; TURUEL-SOLANO, J.; SOTO-ELVIRA, P.L.; GARCÍA-CASCALES, M.S.	2013	Espanha
[4]	UYAN, M.	2013	Turquia
[5]	WATSON, J.J.W; HUDSON, M.D.	2015	Inglaterra
[6]	AZIZKHANI, M.; VAKILI, A.; NOOROLLAHI, Y. NASERI, F.	2016	Irã
[7]	AKKAS, O. P.; ARIRAN, Y.; ÇAM, E.	2017	Turquia
[8]	BULHÕES, R.L.	2017	Brasil
[9]	MERROUNI, A.A.; ELALAQUI, F. E.; MEZRHAB, A.; GHENNOUI, A.	2017	Marrocos
[10]	AL GARNI, H. Z.; AWASTHI, A.	2017	Arabia Saudita
[11]	SINDHU, S.; NEHRA, V.; LUTHRA, S.	2017	Índia
[12]	WANG, C. N.; NGUYEN, V. T.; THAI, H. T. N.; DUONG, D.H.	2018	Vietnã
[13]	DOORGA, J.R.S. RUGHOOPUTH, S.D.D.V., BOOJHAWON, R.	2019	Ilha de Mauritus

**APÊNDICE C – POTÊNCIA INSTALADA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA SOLAR
FOTOVOLTAICA NO COREDE CENTRAL**

Município	Total de Instalações	Rural	Residencial	Comercial	Poder Público	Industrial	UCs Rec Créditos	Potência Instalada kW
Agudo	257	78	150	23	1	5	310	2.322,51
Dilermando de Aguiar	14	4	6	3	0	1	19	222,51
Dona Francisca	5	0	5	0	0	0	5	34,34
Faxinal do Soturno	61	3	47	9	0	2	68	427,02
Formigueiro	64	14	37	10	0	3	87	526,21
Itaara	61	9	45	7	0	0	86	565,73
Ivorá	11	5	5	1	0	0	11	65,04
Jari	11	2	8	1	0	0	14	99,92
Júlio de Castilhos	127	21	75	27	0	4	167	2.222,88
Nova Palma	38	8	25	4	0	1	38	234,83
Pinhal Grande	42	10	29	3	0	0	42	264,13
Quevedos	19	2	14	3	0	0	35	144,99
Santa Maria	1.864	40	1512	278	3	31	2177	17.015,85
São João do Polêsine	35	7	23	4	0	1	35	300,7
São Martinho da Serra	16	2	11	3	0	0	22	107,72
São Pedro do Sul	122	10	93	19	0	0	157	1006,54
Silveira Martins	9	1	5	3	0	0	9	138,24
Toropi	10	0	9	1	0	0	10	43,56
Tupanciretã	168	23	106	39	0	0	205	2.144,39
Total COREDE Central	2934	239	2205	438	4	48	3497	27.652,28
Total RS	69.985	6978	50543	10353	149	1962	87.235	741.928,71

Período Conexão 13/12/2008 a 26/06/2021

Fonte: Autora, com base em Geração Distribuída SISGD - ANEEL, 2021.

ANEXOS

ANEXO 1 – CÁLCULO AHP-TOPSIS-2N REALIZADO COM SOFTWARE

```

-----
To cite this software:
RIBEIRO, Wallace Lima; SANTOS, Marcos dos; GOMES, Carlos Francisco Simões.
Desenvolvido por meio de uma parceria entre
o Instituto Militar de Engenharia (IME),
o Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV)
e a Universidade Federal Fluminense (UFF).
-----
-----
Métodos disponíveis na ferramenta:
Analytic Hierarchy Process (AHP)
Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
AHP-TOPSIS-2N (2-Normalizations)
-----
-----
Siga as instruções abaixo para utilizar o método desejado.
Para utilizar o método AHP, digite AHP
Para utilizar o método TOPSIS, digite TOPSIS
Para utilizar o método AHP-TOPSIS-2N, digite AHPTOPSIS2N
-----
-----
Digite o número do método de Apoio à Tomada de Decisão Multicriterial deseja usar: AHPTOPSIS2N
-----Bem vindo ao método AHP-TOPSIS-2N-----
Analytic Hierarchy Process-
Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution-
2 Normalizations

Digite a quantidade de critérios que deseja analisar: 3
Digite o critério que deseja analisar: SOLAR
Digite o critério que deseja analisar: AMBIENTAL
Digite o critério que deseja analisar: LOCALIZAÇÃO
O quanto o critério SOLAR é preferível em relação ao critério AMBIENTAL: 7
O quanto o critério SOLAR é preferível em relação ao critério LOCALIZAÇÃO: 9
O quanto o critério AMBIENTAL é preferível em relação ao critério LOCALIZAÇÃO: 2
-----Matriz de Saaty-----

      SOLAR  AMBIENTAL  LOCALIZAÇÃO
SOLAR      1          7          9
AMBIENTAL  1/7        1          2
LOCALIZAÇÃO 1/9        1/2        1
-----

```

```
-----
Os Pesos são:
```

```
                Pesos
SOLAR           0.7928
AMBIENTAL       0.1312
LOCALIZAÇÃO     0.0760
-----
```

```
O Lambda máx é: 3.0213
-----
```

```
O Índice de Consistência é: 0.0107
-----
```

```
A Razão de Consistência é: 0.0184
-----
```

```
Digite a quantidade de alternativas que deseja analisar: 8
```

```
Digite a alternativa que deseja analisar: IRRADIAÇÃO SOLAR
```

```
Digite a alternativa que deseja analisar: ORIENTAÇÃO SOLAR
```

```
Digite a alternativa que deseja analisar: DECLIVIDADE
```

```
Digite a alternativa que deseja analisar: SISTEMA VIÁRIO
```

```
Digite a alternativa que deseja analisar: REDES DE TRANSMISSÃO
```

```
Digite a alternativa que deseja analisar: SUBESTAÇÃO
```

```
Digite a alternativa que deseja analisar: POPULAÇÃO
```

```
Digite a alternativa que deseja analisar: ÁREAS URBANAS E POVOADOS
```

```
Digite o valor da alternativa IRRADIAÇÃO SOLAR Em relação ao critério SOLAR: 9
```

```
Digite o valor da alternativa IRRADIAÇÃO SOLAR Em relação ao critério AMBIENTAL: 7
```

```
Digite o valor da alternativa IRRADIAÇÃO SOLAR Em relação ao critério LOCALIZAÇÃO: 5
```

```
Digite o valor da alternativa ORIENTAÇÃO SOLAR Em relação ao critério SOLAR: 7
```

```
Digite o valor da alternativa ORIENTAÇÃO SOLAR Em relação ao critério AMBIENTAL: 9
```

```
Digite o valor da alternativa ORIENTAÇÃO SOLAR Em relação ao critério LOCALIZAÇÃO: 5
```

```
Digite o valor da alternativa DECLIVIDADE Em relação ao critério SOLAR: 5
```

```
Digite o valor da alternativa DECLIVIDADE Em relação ao critério AMBIENTAL: 7
```

```
Digite o valor da alternativa DECLIVIDADE Em relação ao critério LOCALIZAÇÃO: 9
```

```
Digite o valor da alternativa SISTEMA VIÁRIO Em relação ao critério SOLAR: 5
```

```
Digite o valor da alternativa SISTEMA VIÁRIO Em relação ao critério AMBIENTAL: 5
```

```
Digite o valor da alternativa SISTEMA VIÁRIO Em relação ao critério LOCALIZAÇÃO: 9
```

```
Digite o valor da alternativa REDES DE TRANSMISSÃO Em relação ao critério SOLAR: 1
```

```
Digite o valor da alternativa REDES DE TRANSMISSÃO Em relação ao critério AMBIENTAL: 1
```

```
Digite o valor da alternativa REDES DE TRANSMISSÃO Em relação ao critério LOCALIZAÇÃO: 5
```

```
Digite o valor da alternativa SUBESTAÇÃO Em relação ao critério SOLAR: 3
```

```
Digite o valor da alternativa SUBESTAÇÃO Em relação ao critério AMBIENTAL: 3
```

```
Digite o valor da alternativa SUBESTAÇÃO Em relação ao critério LOCALIZAÇÃO: 7
```

```
Digite o valor da alternativa POPULAÇÃO Em relação ao critério SOLAR: 1
```

```
Digite o valor da alternativa POPULAÇÃO Em relação ao critério AMBIENTAL: 1
```

```
Digite o valor da alternativa POPULAÇÃO Em relação ao critério LOCALIZAÇÃO: 3
```

```
Digite o valor da alternativa ÁREAS URBANAS E POVOADOS Em relação ao critério SOLAR: 1
```

```
Digite o valor da alternativa ÁREAS URBANAS E POVOADOS Em relação ao critério AMBIENTAL: 1
```

```
Digite o valor da alternativa ÁREAS URBANAS E POVOADOS Em relação ao critério LOCALIZAÇÃO: 1
-----
```

-----Matriz de Decisão-----

	SOLAR	AMBIENTAL	LOCALIZAÇÃO
IRRADIAÇÃO SOLAR	9.0	7.0	5.0
ORIENTAÇÃO SOLAR	7.0	9.0	5.0
DECLIVIDADE	5.0	7.0	9.0
SISTEMA VIÁRIO	5.0	5.0	9.0
REDES DE TRANSMISSÃO	1.0	1.0	5.0
SUBESTAÇÃO	3.0	3.0	7.0
POPULAÇÃO	1.0	1.0	3.0
ÁREAS URBANAS E POVOADOS	1.0	1.0	1.0

-----1º Normalização-----

-----Matriz Normalizada-----

	SOLAR	AMBIENTAL	LOCALIZAÇÃO
IRRADIAÇÃO SOLAR	0.6495	0.4763	0.2906
ORIENTAÇÃO SOLAR	0.5052	0.6124	0.2906
DECLIVIDADE	0.3608	0.4763	0.5231
SISTEMA VIÁRIO	0.3608	0.3402	0.5231
REDES DE TRANSMISSÃO	0.0722	0.0680	0.2906
SUBESTAÇÃO	0.2165	0.2041	0.4069
POPULAÇÃO	0.0722	0.0680	0.1744
ÁREAS URBANAS E POVOADOS	0.0722	0.0680	0.0581

-----1º Normalização-----

-----Matriz Normalizada Ponderada-----

```

-----
-----Matriz Normalizada Ponderada-----
-----
-----
SOLAR  AMBIENTAL  LOCALIZAÇÃO
IRRADIAÇÃO SOLAR  0.7928  0.0984  0.038
ORIENTAÇÃO SOLAR  0.5946  0.1312  0.038
DECLIVIDADE  0.3964  0.0984  0.076
SISTEMA VIÁRIO  0.3964  0.0656  0.076
REDES DE TRANSMISSÃO  0.0000  0.0000  0.038
SUBESTAÇÃO  0.1982  0.0328  0.057
POPULAÇÃO  0.0000  0.0000  0.019
ÁREAS URBANAS E POVOADOS  0.0000  0.0000  0.000
-----
-----
A Solução Ideal Positiva, corresponde ao valor Máximo ou Mínimo do critério SOLAR?
Digite min para Mínimo e max para Máximo: MAX
A Solução Ideal Positiva, corresponde ao valor Máximo ou Mínimo do critério AMBIENTAL?
Digite min para Mínimo e max para Máximo: MIN
A Solução Ideal Positiva, corresponde ao valor Máximo ou Mínimo do critério LOCALIZAÇÃO?
Digite min para Mínimo e max para Máximo: MIN
-----
-----Ranqueamento da 1º Normalização-----
-----
-----
Classificação  Pontuação de Desempenho
IRRADIAÇÃO SOLAR  1.0  0.8904
ORIENTAÇÃO SOLAR  2.0  0.7165
SISTEMA VIÁRIO  3.0  0.4970
DECLIVIDADE  4.0  0.4912
SUBESTAÇÃO  5.0  0.2686
ÁREAS URBANAS E POVOADOS  6.0  0.1483
POPULAÇÃO  7.0  0.1427
REDES DE TRANSMISSÃO  8.0  0.1384
-----
-----
-----Ranqueamento da 2º Normalização-----
-----
-----
Classificação  Pontuação de Desempenho
IRRADIAÇÃO SOLAR  1.0  0.8828
ORIENTAÇÃO SOLAR  2.0  0.7123
SISTEMA VIÁRIO  3.0  0.4956
DECLIVIDADE  4.0  0.4892
SUBESTAÇÃO  5.0  0.2708
ÁREAS URBANAS E POVOADOS  6.0  0.1605
POPULAÇÃO  7.0  0.1528
REDES DE TRANSMISSÃO  8.0  0.1468
-----
-----
Digite "exit" para fechar a aplicação.

```