

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

Graciele Rediske

**MODELAGEM PARA AVALIAÇÃO DE LOCAIS ADEQUADOS PARA
A INSTALAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS**

Santa Maria, RS
2019

Graciele Rediske

**MODELAGEM PARA AVALIAÇÃO DE LOCAIS ADEQUADOS PARA A
INSTALAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk
Coorientador: Prof. Dr. Leandro Michels

Santa Maria, RS
2019

Rediske, Graciele

Modelagem para avaliação de locais adequados para a instalação de usinas fotovoltaicas / Graciele Rediske.- 2019.

95 p.; 30 cm

Orientador: Julio Cezar Mairesse Siluk

Coorientador: Leandro Michels

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, RS, 2019

1. Energia Solar 2. Usina Fotovoltaica 3. Fatores Restritivos 4. Fatores Determinantes 5. Sistema de Informação Geográfica I. Siluk, Julio Cezar Mairesse II. Michels, Leandro III. 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.

© 2019

Todos os direitos autorais reservados a Graciele Rediske. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: grarediske@gmail.com

Graciele Rediske

**MODELAGEM PARA AVALIAÇÃO DE LOCAIS ADEQUADOS PARA A
INSTALAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS**

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Aprovado em 20 de fevereiro de 2019:

Julio Cezar Mairesse Siluk, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Leandro Michels, Dr. (UFSM)
(Coorientador)

Wesley Vieira da Silva, Dr. (UFSM)

Elpidio Oscar Benitez Nara, Dr. (UNISC)

Santa Maria, RS
2019

RESUMO

MODELAGEM PARA AVALIAÇÃO DE LOCAIS ADEQUADOS PARA A INSTALAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS

AUTORA: Graciele Rediske

ORIENTADOR: Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk

COORIENTADOR: Prof. Dr. Leandro Michels

A energia solar desempenha um papel importante na evolução da participação de fontes alternativas na matriz energética mundial. O Brasil apresenta condições satisfatórias para a exploração desta fonte de energia, devido sua localização geográfica que contribui para a geração de energia através do sol, queda dos preços dos equipamentos fotovoltaicos e aumento das tarifas. Consequentemente, o investimento em usinas fotovoltaicas demonstra atratividade aos investidores. Embora a energia fotovoltaica apresente diversas vantagens, sendo uma oportunidade para agregar mais escala aos empreendimentos, alguns pontos devem ser observados no momento de implementar novos projetos de usinas solares. A viabilização e atratividade do projeto dependem do local da instalação da usina, portanto, a escolha deste deve ocorrer muito antes de receber investimentos, pois muitos fatores desempenham um papel importante no momento desta escolha. A decisão do local de instalação das usinas de energia fotovoltaica é uma questão crítica para projetos de larga escala devido a aspectos climáticos, proximidade de instalações e a presença de áreas ambientais protegidas. O objetivo deste estudo é propor uma modelagem capaz de indicar a melhor localização para implantação de projetos de energia fotovoltaica de grande escala no território brasileiro. Na modelagem proposta foram identificados os fatores relevantes a serem considerados na escolha do local ideal, e combinadas as ferramentas SIG-MCDA. As análises das áreas foram realizadas no software *gvSig*, utilizando os métodos AHP para a ponderação dos fatores e o TOPSIS para o ranqueamento das alternativas. A modelagem foi aplicada na microrregião de Santa Cruz do Sul, que abrange 16 municípios do estado do Rio Grande do Sul, que possui uma área total de 5.564 km². O índice de aptidão espacial foi calculado para todo o território do cenário de estudo. Foram identificadas 453 áreas aptas a receber uma instalação fotovoltaica de grande porte, que equivale a 1823,35 km² da área de estudo. Além da distribuição geográfica das áreas adequadas, este estudo também realizou a classificação das áreas aptas, representando sua capacidade em 4 categorias: imprópria, boa, muito boa e excelente. O maior potencial para sistemas fotovoltaicos é observado para os locais na parte sul da microrregião de Santa Cruz do Sul, na qual as maiores parcelas dessas áreas se encontram nos municípios de Venâncio Aires, Vera Cruz e Santa Cruz do Sul. A modelagem proposta neste documento combinando SIG-MCDA é aplicável a investigações similares em outras regiões e para avaliar a adequação espacial de outras tecnologias de energia renovável.

Palavras-chave: Energia Solar. Usina Fotovoltaica. Fatores Restritivos. Fatores Determinantes. Sistema de Informação Geográfica. Método Multicritério de Apoio de Decisão.

ABSTRACT

MODELING FOR EVALUATION OF SUITABLE SITES FOR THE INSTALLATION OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

AUTHOR: Graciele Rediske

ADVISOR: Prof. Julio Cezar Mairesse Siluk, PhD

CO-ADVISOR: Prof. Dr. Leandro Michels

Solar energy plays an important role in the evolution of the participation of alternative sources in the world energy matrix. Brazil has good conditions for the exploitation of this energy source, due to the good geographic location for the generation of energy through the sun, falling prices of photovoltaic equipment and increase of tariffs. Consequently, investing in photovoltaic plants demonstrates attractiveness to investors. Although photovoltaic energy presents several advantages, being an opportunity to aggregate more scale to the ventures, some points must be observed in the moment of implementing new projects of solar plants. The feasibility and attractiveness of the project depends on the location of the plant, so the choice of this must occur well before receiving investments, since many factors play an important role at the time of this choice. The decision to install photovoltaic power plants is a critical issue for large-scale projects due to climatic aspects, proximity to facilities and the presence of protected environmental areas. The objective of this study is to propose a model capable of indicating the best location for implantation of large scale photovoltaic projects in the Brazilian territory. In the proposed modeling, the relevant factors to be considered in the choice of the ideal site were determined, and the tools of Geographic Information System (GIS), supported by methods Multicriteria Decision Aid (MCDA), were combined. The analysis of the areas was performed within the gvSig software, using AHP methods for factor weighting and TOPSIS for the ranking of alternatives. The modeling was applied in the Santa Cruz do Sul microregion, which covers 16 municipalities in the state of Rio Grande do Sul, located in the Southern Region of Brazil, which has a total area of 5.564 km². The spatial fitness index was calculated for the whole territory of the study scenario. A total of 453 areas were identified that could receive a large photovoltaic installation, equivalent to 1823,35 km² of the study scenario. In addition to the geographic distribution of suitable areas, this study also performed the classification of suitable areas, representing its capacity in 4 categories: improper, good, very good and excellent. The greatest potential for photovoltaic systems is observed for the sites in the southern part of the Santa Cruz do Sul microregion, where the largest plots of these areas are located in the municipalities of Venâncio Aires, Vera Cruz and Santa Cruz do Sul. The modeling proposed in this document combining SIG-MCDM is applicable to similar investigations in other regions and to assess the spatial adequacy of other renewable energy technologies.

Keywords: Solar Energy. Photovoltaic Power Plant. Restrictive Factors. Determinant Factors. Geographic Information System. Multicriteria Decision Aid.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, que sempre me mostraram que o caminho para o alcance dos nossos objetivos é traçado com humildade, comprometimento, e muito esforço, e que sempre me apoiaram em todas as minhas escolhas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela dádiva da vida e por guiar-me no caminho da honestidade e da fé.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk, pela confiança nas minhas capacidades, por ter me ensinado e orientado, sempre transmitindo segurança no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Leandro Michels, Co-Orientador deste trabalho, pela confiança depositada e pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa;

Ao Prof. Gilberto Cugler por me auxiliar no manuseio do software durante todas etapas da pesquisa;

À minha família que sempre me apoiou nas minhas escolhas! Aos meus pais Roni José Rediske e Mara Lúcia Rediske, por serem um porto seguro em minha vida.

Ao meu noivo Ezequiel Valker Hitz à minha gratidão pela parceria e paciência no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas do Núcleo de Inovação e Competitividade por me acolherem como uma família, e pelo auxílio durante a realização do mestrado.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção por contribuírem ao longo de toda essa etapa.

À Universidade Federal de Santa Maria pela estrutura oferecida e por contribuir com a minha formação profissional ao longo deste período.

Ao INCTGD, CAPES, CNPq e FAPERGS pelo apoio financeiro recebido para o desenvolvimento desse trabalho. O presente trabalho foi realizado com apoio do INCT e suas agências financiadoras (CNPq processo 465640/2014-1, CAPES processo No. 23038.000776/2017-54 e FAPERGS 17/2551-0000517-1).

Por fim, a todos os meus grandes amigos que foram fundamentais para que esse sonho tão especial pudesse se concretizar.

A todos vocês, meu muito obrigado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da Pesquisa	19
Figura 2 – Junção P-N e o efeito fotovoltaico.....	22
Figura 3 – Mapa de radiação solar global média anual.....	24
Figura 4 – Exemplo de Camadas de SIG.....	30
Figura 5 – Estrutura Hierárquica Básica.....	36
Figura 6 – Etapas da AHP.....	38
Figura 7 – Etapas TOPSIS.....	41
Figura 8 – Microrregião Santa Cruz do Sul	45
Figura 9 – Etapas da Pesquisa	46
Figura 10 – Árvore de decisão	52
Figura 11 – Áreas Restritivas	55
Figura 12 – Áreas Aptas.....	56
Figura 13 – Capacidade Agrológica	61
Figura 14 – Uso do Solo.....	62
Figura 15 – Subestações	63
Figura 16 – Estradas Principais.....	64
Figura 17 – Áreas Urbanas	65
Figura 18 – Irradiação Solar	66
Figura 19 – Declive	67
Figura 20 – Peso dos pontos de vista	68
Figura 21 – Peso dos fatores determinantes.....	68
Figura 22 – Observação por município	70
Figura 23 – Classificação de Adequação	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Leilões de Energia Solar	28
Quadro 2 – Comparação do Quantum Gis, gvSig e ArcGis	31
Quadro 3 – Escala de Saaty (1991)	37
Quadro 4 – Enquadramento metodológico do projeto de dissertação.....	43
Quadro 5 – Camadas Restritivas	48
Quadro 6 – Distância Permitida pelo Código Florestal Brasileiro.....	49

LISTA DE ABREVIACÕES

ACR	Ambiente de Contratao Regulada
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Analytic Network Process
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	ndice de Consistência
LCOE	Levelized Cost of Energy
LER	Leilão de Energia Reserva
MCDA	Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão
SIG	Sistema de Informao Geográfica
RC	Relao de Consistência
SIN	Sistema Interligado Nacional
TOPSIS	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.3	JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	21
2.1.1	Potencial nacional de energia solar	23
2.1.2	Usinas solares	25
2.1.3	Leilões de geração	26
2.2	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	29
2.2.1	Softwares SIGs	30
2.2.2	Métodos multicritérios de apoio a decisão baseados em SIG	32
2.3	MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO A DECISÃO.....	34
2.3.1	Processo analítico hierárquico	35
2.3.2	Técnica de ordem de preferência por semelhança a uma solução ideal	39
3	METODOLOGIA	43
3.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO.....	43
3.2	CENÁRIO	44
3.3	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	45
3.3.1	Revisão bibliográfica	46
3.3.2	Análise de adequação	47
3.3.2.1	<i>Cursos d'água e córregos</i>	48
3.3.2.2	<i>Redes viárias</i>	49
3.3.2.3	<i>Ferrovias</i>	50
3.3.2.4	<i>Áreas urbanas</i>	50
3.3.2.5	<i>Áreas de proteção</i>	50
3.3.2.6	<i>Declividade</i>	51
3.3.2.7	<i>Área</i>	51
3.3.3	Definição dos fatores determinantes	51
3.3.4	Ponderação dos fatores determinantes	52
3.3.5	Avaliação das potenciais áreas	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1	IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS.....	54
4.2	IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES DETERMINANTES.....	56
4.2.1	Ambiental (A)	58
4.2.2	Localização (B)	58
4.2.3	Clima (C)	59
4.2.4	Geomorfológico (D)	60
4.3	DEMONSTRAÇÃO DOS FATORES DETERMINANTES.....	60
4.3.1	Capacidade Agrológica	61
4.3.2	Uso do Solo	62
4.3.3	Distância das Subestações	63

4.3.4	Distância das Estradas	63
4.3.5	Distância das Áreas Urbanas	64
4.3.6	Irradiação Solar	65
4.3.7	Declive	66
4.4	PONDERAÇÃO DOS FATORES DETERMINANTES	67
4.5	ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS	69
5	CONCLUSÕES	73
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
5.2	LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	75
5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	76
5.4	PUBLICAÇÕES	76
	REFERÊNCIAS	77
	APÊNDICE A – PESQUISA BIBLIOMÉTRICA.....	87
	APÊNDICE B – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS PONDERAÇÃO: ESPECIALISTAS	91

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica vem crescendo ao longo dos anos, devido à evolução demográfica e ao crescimento da atividade econômica, dando ênfase aos debates acerca da geração de energia elétrica (FERREIRA et al., 2018). Por isso a idealização de que a produção e o consumo de energia se encontrem dentro do conceito de desenvolvimento sustentável, vem se destacando nos últimos anos (LEE et al., 2015; UYAN, 2017).

Atualmente, a maior parte dos países tem como sua principal fonte os combustíveis fósseis (UYAN, 2017). Os combustíveis fósseis demoram para se formarem naturalmente, sendo considerados não renováveis e, por consequência, recursos limitados, ao contrário do que ocorre com recursos renováveis.

Dentre esses recursos, a energia solar desempenha, potencialmente, um papel importante no avanço da participação de fontes alternativas na matriz energética mundial, considerando sua abundância e ampla disponibilidade na superfície terrestre. É uma fonte renovável barata e ecologicamente correta, tornando-se muito popular devido à diminuição do seu custo de investimento (BAYRAK et al., 2017). Muitos países estão fazendo esforços significativos para avaliar o seu potencial solar formulando melhores estratégias de planejamento, bem como propondo incentivos (FERREIRA et al., 2018). Resultando na expansão e desenvolvimento sustentável da energia solar (DOLJAK; STANOJEVIĆ, 2017; IRENA, 2017).

Desde a crise do petróleo na década de 1970, o Brasil iniciou uma forte busca por fontes renováveis de energia e uma menor dependência de recursos finitos na natureza, como é o caso do petróleo (GEHLING, 2007; NAKABAYASHI, 2014). Esta mobilização adquire um papel fundamental para atender as necessidades humanas sem comprometer as gerações futuras. A pesquisa realizada pela EPE (2016) estima que o consumo de energia elétrica triplique até 2050, cenário que favorece a inserção de tecnologias de geração renovável e baixo impacto ambiental como a energia fotovoltaica.

No caso da geração de energia elétrica a partir de fontes fotovoltaicas o mercado brasileiro se apresenta promissor, possuindo uma extensa área, com altos níveis de irradiação solar, o que permite a implantação dos sistemas de geração de energia por células fotovoltaicas (ECHEGARAY, 2014; PEREIRA et al., 2012). Além do fato do país possuir, por conta de sua localização geográfica, uma fonte inesgotável

do principal insumo, o sol, também possui a matéria prima fundamental para produção do silício utilizado na fabricação das células fotovoltaicas (ABINEE, 2012). Ao mesmo tempo, os custos de instalação de equipamentos solares estão diminuindo rapidamente, enquanto os custos de externalidades do uso de fontes convencionais continuam a aumentar (ECHEGARAY, 2014). Mas, mesmo o país apresentando condições favoráveis para se tornar um grande produtor de energia elétrica a partir do uso intensivo de células fotovoltaicas, as iniciativas em curso são ainda restritas (DE SOUZA; CAVALCANTE, 2016). São poucas as usinas de energia solar no Brasil em funcionamento comercial (PORTAL SOLAR, 2017a).

Desde 2004 a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) está responsável pela regularização e realização dos leilões de energia (BRASIL, 2004). Estes leilões visam atrair investidores para construção de novas usinas com vistas à expansão da geração. As primeiras usinas fotovoltaicas contratadas através dos leilões de 2014 e 2015 iniciaram suas operações com uma capacidade total 2.652,8MW. Porém, no primeiro leilão (6º LER/2014) de um total contratado de 889,7MW, mais de 45% do volume contratado apresenta baixa probabilidade de entrar em operação ou já foram descontratados (GREENER, 2017). Contudo, tem-se uma nítida evolução dos empreendimentos quando observados os projetos contratados nos leilões seguintes, que se destaca pela execução de projetos mais viáveis.

Diante disso, ressalta-se para empreendedores e investidores que ao iniciar o processo de construção dos projetos, embora as condições de mercado tenham se tornado mais favoráveis, alguns pontos devem ser observados no momento de implementar ou adquirir novos projetos. O local em que é desenvolvido e instalado a usina solar é um dos aspectos essenciais para a viabilização e atratividade do empreendimento (GREENER, 2017).

A seleção de um local apropriado para a construção de uma usina solar eficiente requer algumas condições que aumentem seu potencial de lucro (YEO; YEE, 2014). Identificar áreas geográficas adequadas para a construção de plantas solares de grande escala é um problema complexo, que não está apenas ligado a quantidade de irradiação solar que o local recebe (VAF AEIPOUR et al., 2014). Há muitos outros aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais que devem ser considerados (ALY; JENSEN; PEDERSEN, 2017). Mas, é necessário também ter conhecimento quanto ao impacto que cada um desses fatores que circundam o investimento na

energia fotovoltaica pode ter em um projeto de implementação de sistema fotovoltaico de larga escala.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Considerando o que foi apresentado, o problema de pesquisa resume-se no seguinte questionamento: como identificar onde estão os locais mais adequados para construir usinas com geração de energia solar em larga escala?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Para alcançar respostas ao problema apresentado, este estudo tem como objetivo geral propor uma modelagem para indicar a melhor localização para implantação de projetos de energia fotovoltaica de larga escala.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar os fatores restritivos que permitem reduzir a área de estudo descartando os locais que impedem a implantação de plantas de energia renovável;
- b) Identificar os fatores que mais influenciam a capacidade de escolha de um local adequado;
- c) Apresentar a ponderação dos fatores determinantes identificados conforme sua importância na tomada de decisão;
- d) Testar a modelagem proposta revelando as potenciais áreas para instalação de uma planta solar de larga escala.

1.3 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA

Para atender à crescente demanda por energia, muitos países buscam desenvolver fontes de energia renováveis que são altamente sensíveis às questões econômicas, ambientais e aspectos sociais (UYAN, 2017). Uma fonte de energia

classificada como limpa utilizada por muitos países é a hidráulica. Dentre os maiores consumidores mundiais se encontram a China (que corresponde a 28,5% no ranking mundial), Canadá (9,8%) e Brasil (9,1%) (PETROLEUM, 2018). A hidroeletricidade responde por 16% da demanda mundial de energia, porém a construção de usinas hidrelétricas pode ter impacto negativo na biodiversidade e em comunidades humanas (WWDR, 2014). Sendo assim, o investimento em outras alternativas de energias renováveis mostra-se importante para o desenvolvimento da matriz energética mundial

O Brasil está em uma situação favorável quando o assunto é energia renovável, além de possuir umas das maiores bacias hidrográficas do mundo, também tem o privilégio de possuir níveis de irradiação solar elevados. Atualmente grande parte da energia elétrica gerada no Brasil é produzida por usinas hidrelétricas (FERREIRA et al., 2018; IRENA, 2017). Mas, para atender a demanda elétrica brasileira, que tende a aumentar, é necessário a construção de novas usinas, o que resulta em investimentos de larga escala, devido as obras de grande porte. O principal argumento contrário à construção das hidrelétricas é o impacto provocado sobre o modo de vida da população, flora e fauna locais, pela formação de grandes lagos ou reservatórios, aumento do nível dos rios ou alterações em seu curso após o represamento (ANEEL, 2008). Soma-se a isso, que a escassez de chuvas e o aumento do uso das usinas termoelétricas caras e poluentes está servindo como driver para o desenvolvimento do setor de energia solar no país (PORTAL SOLAR, 2017a).

Diante disso, o país pode expandir a capacidade instalada de outras fontes renováveis de energia, pela necessidade da diversificação da matriz elétrica prevista no planejamento do setor elétrico de forma a aumentar a segurança do abastecimento (ANEEL, 2008). Dentre as energias renováveis, a energia solar é a que mais cresce a nível mundial (IRENA, 2017). Embora o Brasil se encontre entre os países que apresentam os maiores índices de irradiação do mundo, sua capacidade instalada não apresenta grande relevância para a matriz energética nacional (ALLIL et al., 2018; DE SOUZA; CAVALCANTE, 2016). Enquanto na Alemanha e Itália, países com menos recursos solares, apresentam 40.988 MWp e 19.251 MWp em capacidade instalada respectivamente, no Brasil, onde o recurso solar é mais favorável tem aproximadamente 23 MWp em capacidade com energia solar (IRENA, 2017).

Com os dados apresentados verifica-se que o país apresenta possibilidades de inserção desta fonte de energia. No entanto, o potencial estimado solar (potencial

teórico) é significativamente reduzido quando fatores econômicos, sociais e ambientais para a implantação de sistemas de energia solar são considerados (SINDHU; NEHRA; LUTHRA, 2017).

Os estudos utilizando Sistemas de Informações Geográficas e Métodos Multicritérios que buscam uma localização ideal muitas vezes se baseiam no menor custo nivelado de energia, em inglês Levelized Cost of Energy (LCOE) de uma estação de energia solar hipoteticamente localizada em um determinado pixel. O LCOE dependerá da energia gerada (fatores climáticos), da necessidade de infraestrutura (distância das estradas e linhas de transmissão), dos custos de implantação (topografia) e, finalmente, dos fatores ambientais (AZEVEDO; CANDEIAS; TIBA, 2017).

Sendo assim, a motivação para a realização de um estudo objetivando identificar com maior precisão as potenciais áreas para instalação de plantas fotovoltaicas de larga escala consiste no fato do país apresentar boa localização geográfica para a geração de energia através do sol, queda dos preços dos equipamentos fotovoltaicos e aumento das tarifas, conseqüentemente o investimento em usinas solares demonstra atratividade aos investidores. Para identificar estes locais é recomendável a utilização de análises espaciais com funções multicritério de apoio a decisão (YOUSEFI; HAFEZNIA; YOUSEFI-SAHZABI, 2018).

Para buscar conhecimento em relação ao que a academia estava pesquisando neste setor, e as metodologias utilizadas na identificação de locais foi realizada uma bibliometria com uma busca sistemática nas principais bases de dados, portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior do Ministério de Educação e Cultura (CAPES/MEC), *Science Direct*, *Scopus*, *Web of Science* e *IEEE*. A metodologia utilizada para o desenvolvimento da bibliometria foi uma combinação das palavras-chave: *Photovoltaic energy and Power plants and Location*, em seguida foram utilizadas as combinações *Photovoltaic energy and Power plants and Location and Geographic Information System*; *Photovoltaic energy and Power plants and Location and Decision Making*; *Photovoltaic energy and Power plants and Location and Economic Feasibility*.

A partir da primeira combinação obteve-se um total de 1007 artigos, em seguida foram utilizadas outras combinações para obter uma filtragem mais consistente, que no total delas obteve-se 225 artigos relacionados ao tema proposto, e a seleção deu-se a partir da leitura e comparação do assunto das pesquisas encontradas com o

assunto trabalhado neste estudo. Destacaram-se 28 artigos com maior centralidade de grau com o assunto e encontram-se no **APÊNDICE A**.

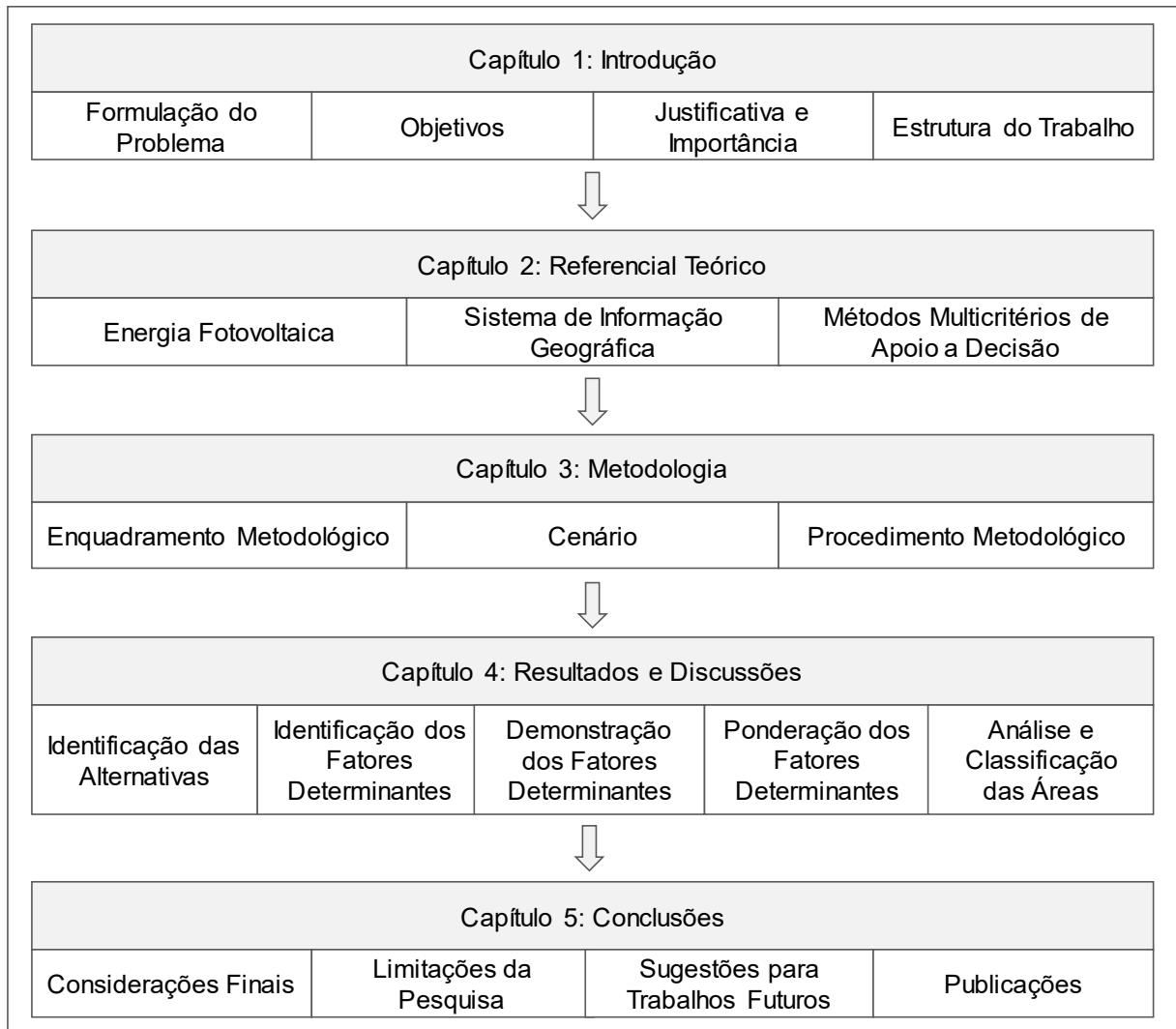
Após a leitura dos artigos completos selecionados, nota-se que há uma tendência para pesquisas que utilizam ferramentas de tomada de decisão baseado em critérios juntamente com sistemas de informação geográfica na escolha de potenciais locais para instalação de usinas. Foram encontrados vários estudos que se aproximem da abordagem proposta neste trabalho, porém nenhuma desses estudos foi realizado no Brasil, garantindo-se assim uma contribuição original para investidores de energia fotovoltaica que estão dispostos a investir na instalação de usinas fotovoltaicas.

Após análise dos artigos selecionados identificou-se que a pesquisa emerge no campo da área técnica fotovoltaica, intersectando discussões sobre análise econômica, localização de potenciais locais para instalação de usinas, estudos de localização baseados em fatores de decisão.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado de forma a atingir os objetivos estabelecidos, apresentando o referencial teórico que fundamenta o desenvolvimento do estudo proposto, seguido posteriormente pela avaliação dos dados, análise dos resultados e prospecção de novas pesquisas. Logo, o trabalho está estruturado em cinco capítulos, como pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura da Pesquisa



Fonte: Autora.

O capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, contextualizando o problema de pesquisa, justificando sua relevância e apresentando o objetivo geral e os objetivos específicos.

No capítulo 2, é apresentado o referencial teórico que contempla temas críticos e conceituais da energia fotovoltaica, seu potencial nacional, e uma base teórica de Sistemas de Informação Geográfica, Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão e apresenta os Fatores Determinantes na tomada de decisão desta pesquisa.

O capítulo 3 concentra-se na metodologia do trabalho, compreendendo a classificação da pesquisa, os instrumentos utilizados e a descrição dos procedimentos realizados.

Na sequência, o capítulo 4 apresenta os resultados encontrados na pesquisa, as áreas aptas a instalação de uma usina solar de larga escala e em seguida a classificação destas conforme os fatores determinantes e suas ponderações. Durante o capítulo 5 são apresentadas as conclusões da pesquisa, a verificação de atendimento dos objetivos propostos, as limitações encontradas no decorrer da pesquisa e sugestões para estudos futuros, e as publicações realizadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial teórico são abordados os principais conceitos para contextualizar os temas desenvolvidos no trabalho e utilizá-los como suporte para a identificação dos fatores críticos na avaliação dos locais para instalação de sistemas fotovoltaicos. A Seção 2.1 caracteriza a energia fotovoltaica, evidenciando-se a tecnologia empregada, a potência nacional, os seus benefícios e a geração da energia solar, com a finalidade de proporcionar o embasamento necessário para elucidar as peculiaridades desta fonte de energia. Após essa abordagem, foi proposto um levantamento bibliográfico sobre os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), possibilitando conhecer diversos estudos realizados para solução de problemas de localização na Sessão 2.2. Na Sessão 2.2 falamos sobre os Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão, em inglês Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) onde damos ênfase a metodologia AHP e TOPSIS, métodos que a seguir são utilizados na aplicação metodológica deste estudo.

2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA

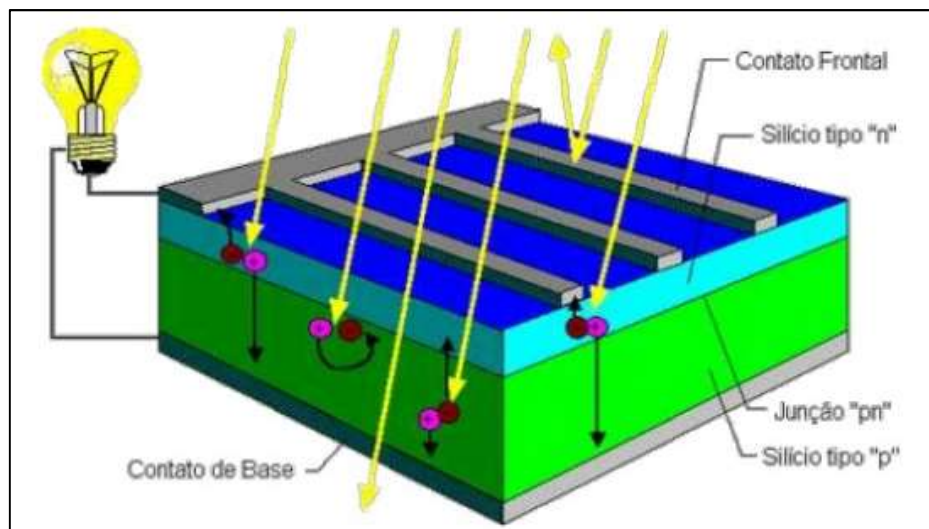
A energia fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da irradiação solar em eletricidade. O efeito fotovoltaico dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores que se destacam por apresentar bandas de energia nas quais são permitidas a presença de elétrons (banda de valência) e de outra totalmente "vazia" (banda de condução).

As células fotovoltaicas são feitas de dispositivos semicondutores e convertem incidentes irradiação em eletricidade (SABO et al., 2017). O semicondutor mais usado é o silício pela sua afluência no planeta e a sua não-toxicidade (BRITO; SILVA, 2006). Além do silício, também são utilizados o Telureto de Cádmio (CdTe), Disseleneto de Cobre, Gálio e Índio (CIGS), além de outros semicondutores compostos (PARIDA; INIYAN; GOIC, 2011).

A estrutura de uma célula fotovoltaica de silício é composta por duas camadas de silício, uma do tipo P, e outra do tipo N. Para formar uma célula fotovoltaica (ou um diodo) são unidos os dois tipos de semicondutores. Na área da união, chamada de junção - PN, os elétrons livres do semicondutor tipo N migrarão para o semicondutor tipo P para ocuparem esses espaços, conforme Figura 2. Essa migração não ocorre

indefinidamente, pois forma-se um campo elétrico na área de junção que impede que os elétrons continuem fluindo. Ao receberem fótons de luz visível os elétrons são energizados, mas não conseguem fluir da camada N para a camada P. Se ligarmos as duas camadas externamente, podemos aproveitar a corrente elétrica que se forma na passagem dos elétrons de uma camada para outra.

Figura 2 – Junção P-N e o efeito fotovoltaico



Fonte: Nascimento, (2004)

A eficiência de conversão das células solares é mensurada pela proporção da irradiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica.

As células fotovoltaicas são encapsuladas em módulos. O empacotamento é feito com a finalidade de isolá-las do exterior e protegê-las das intempéries, bem como para dar rigidez ao módulo. O módulo é constituído das seguintes camadas: vidro de alta transparência e temperado, acetato de etil vinila (EVA), células solares, e filme de fluoreto de polivinila (Tedlar) ou vidro. A seguir, é colocado o marco de alumínio, para dar o acabamento e facilitar a instalação. A durabilidade destes módulos é superior a 30 anos e atualmente está determinada pela degradação dos materiais usados no encapsulamento, ou seja, a durabilidade das células solares de silício cristalino é bastante superior.

O componente do sistema conectado à rede responsável por converter a energia em corrente contínua dos módulos para energia em corrente alternada, com

tensão e frequência compatíveis com a rede é o inversor. O mesmo também determina o ponto de operação do sistema, através de um sistema de seguimento do ponto de máxima potência (RUSCHEL, 2015).

O aproveitamento da energia solar por sistemas fotovoltaicos pode ser autônomo ou conectado à rede, através de uma única fonte de energia ou de maneira híbrida (produzir energia a partir de mais do que uma fonte). Os primeiros sistemas a serem utilizados foram os autônomos, em regiões distantes da rede elétrica, nos quais o custo de expansão da linha fosse muito elevado (RUSCHEL, 2015). A designação deste sistema é dada a sistemas isolados que usam os seus próprios geradores como fonte de energia (VIANA, 2010). Geradores fotovoltaicos isolados, são utilizados junto com um banco de baterias recarregáveis que armazena a energia para os horários em que não há radiação solar, podem ser utilizados para alimentação de cargas isoladas (EPE, 2012).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser divididos ainda em dois grupos. As grandes centrais fotovoltaicas, ou usinas solares, que são construídas em regiões fora da área urbana, geralmente em áreas com boas condições de irradiação, o que permite uma maior eficiência do sistema (VIANA, 2010). No outro grupo se encontram os sistemas de geração distribuída, que são conectados diretamente na rede de baixa tensão e que se localiza próximo ao ponto de consumo (PEREIRA; GONÇALVES, 2008). O sistema fotovoltaico conectado à rede tem objetivo de reduzir a dependência e o consumo da energia elétrica da distribuidora, gerando eletricidade para ser consumida no local onde o sistema está instalado, por uma fonte de energia limpa, gratuita e inesgotável.

Os sistemas fotovoltaicos apresentam diversas vantagens como, por exemplo, seu baixo impacto ambiental, produção de energia a partir de uma fonte renovável e de maneira silenciosa (JUNIOR, 2010). Por umas das fontes de energia renováveis com o mínimo de impactos no meio ambiente, está se tornando uma promissora fonte de energia renovável (LEE et al., 2015). Apresentando crescimento exponencial nos últimos anos, e tendem a ser ainda melhor para o mercado de energia solar (IRENA, 2017a).

2.1.1 Potencial nacional de energia solar

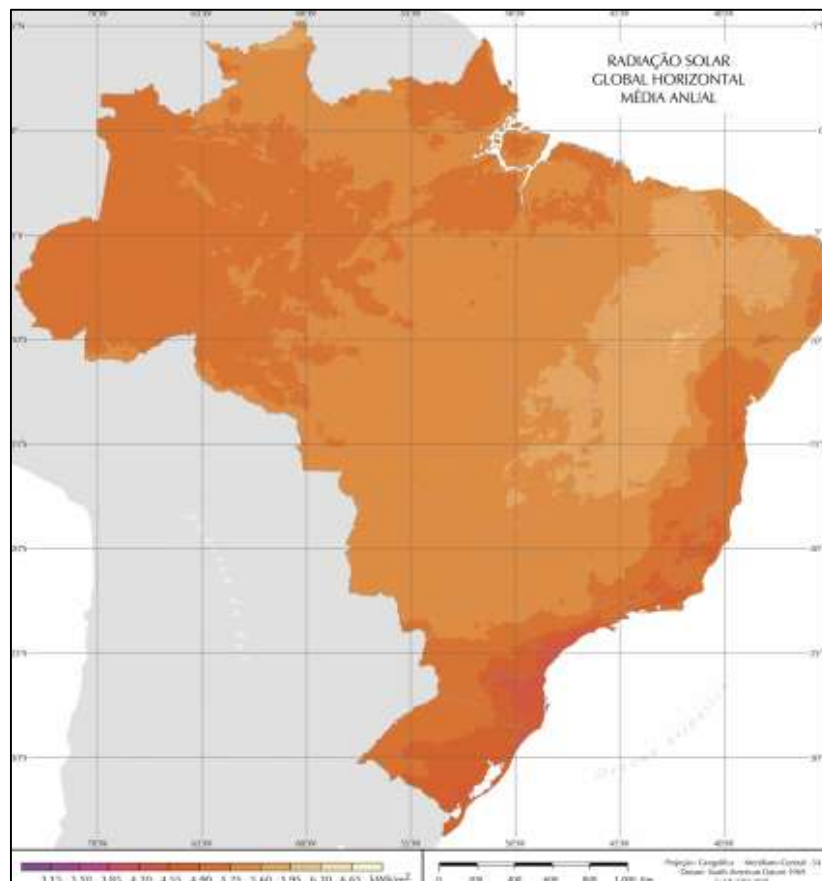
Os avanços tecnológicos e a queda nos custos estão impulsionando a adoção de energia renovável. A capacidade mundial de geração da energia solar disparou de

40 GW em 2010 para 219 GW em 2015, quando representaram cerca de 20% de todas as novas capacidades de geração de energia instalada (IRENA, 2017a), sendo que o custo nivelado de eletricidade gerada pode cair mais de metade entre 2015 e 2025 (IRENA, 2017a).

No Brasil, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) estima que a capacidade instalada de geração solar chegue a 8.300 MW em 2024, sendo 7.000 MW de geração centralizada e 1.300 MW de geração distribuída (PORTAL SOLAR, 2017b).

De forma geral, há grandes expectativas sobre o potencial de demanda por energia solar existente no Brasil. O país possui uma irradiação diária média anual entre 1.500 e 2.400 kWh/m²/ano (EPE, 2014). Se fosse aproveitada 5% dessa energia, toda a demanda brasileira por eletricidade poderia ser atendida (TESKE, 2010). O território brasileiro possui em suas características físicas sua principal vantagem competitiva quando comparado a outros países. Segundo a pesquisa feita pelo Ministério de Minas e Energia brasileiro, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Mapa de radiação solar global média anual



Fonte: Pereira et al., (2006)

A energia solar será mais acessível nos próximos anos e considerável investimentos são esperados (MARTINS, 2017). As condições para o desenvolvimento desta energia estão se tornando cada vez mais favoráveis, supondo que a mesma apresenta uma trajetória de custos decrescentes ano após ano (IRENA, 2017). Ao mesmo tempo, a energia elétrica gerada pelas fontes convencionais apresenta uma trajetória de custos crescentes, contudo, o procedimento é pouco utilizado pelas residências, escritórios e indústrias do Brasil. Projetos para aproveitamento de energia solar são amplamente utilizados em países como Alemanha e Espanha, que possuem irradiação inferior ao Brasil.

O Brasil tem a oportunidade de alavancar a inclusão da energia solar na matriz elétrica nacional e estruturar uma cadeia produtiva nacional, incluindo a fabricação de insumos, equipamentos e prestação de serviços, contribuindo assim para fixar, em território nacional, a tecnologia e os empregos gerados pelo setor. Para que esta oportunidade se torne uma realidade serão necessários envolvimento e comprometimento dos tomadores de decisão do país e da sociedade brasileira (CAMARGO, 2015).

2.1.2 Usinas solares

Uma usina solar é um sistema fotovoltaico de grande porte planejado para produzir e vender energia elétrica (ALMEIDA et al., 2016). As usinas fotovoltaicas se diferenciam dos sistemas fotovoltaicos instalados em casas e indústrias pois elas fornecem energia em alta tensão para fins de distribuição e não para o autoconsumo. Se incluem nos projetos de geração centralizada, em geral, aqueles contratados por meio de leilões de energia, com contratos celebrados no Ambiente de Contratação Regulada (ACR).

A configuração de uma usina solar é um processo longo, tendo como fase inicial a pesquisa e seleção dos locais das plantas (LEE et al., 2015). Idealmente, as instalações devem estar localizadas em terras agrícolas ou pastagens não utilizadas, de baixa produtividade (TURNEY; FTHENAKIS, 2011). Locais não ideais são caracterizados pela cobertura da floresta, distanciamento remoto extremo.

A escolha do local da usina deve estar associada a alguns fatores fundamentais que garantam o sucesso do projeto como, por exemplo, um local que prevê uma boa irradiação solar, possíveis conexões à rede (de preferência poucos quilômetros de

distância da subestação de conexão e no menor nível de tensão possível) e o aval ambiental para a instalação na área (GREENER, 2017).

Sendo assim a motivação para investimentos em novas usinas solares está assente fundamentalmente em dois pontos: Primeiramente na sua importância enquanto instrumento de combate às alterações climáticas (IRENA, 2017; TESKE, 2010). Em segundo lugar, refira-se o contributo positivo desta tecnologia, aumentando a diversificação com outras fontes renováveis de energia para atender a demanda e garantir uma maior segurança ao sistema elétrico brasileiro (TESKE, 2010).

2.1.3 Leilões de geração

A aquisição de energia elétrica pelas concessionárias de distribuição para atendimento de seus consumidores cativos deve ser feita, segundo a regulação vigente desde 2004, através de licitações, que são conduzidas na forma de leilões de energia.

Com a edição da Lei n. 10.848, de 15 de março de 2004, e do Decreto n. 5.163, de 30 de julho de 2004, que regulamentou a comercialização de energia elétrica e o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, ficou estabelecido que as concessionárias, as permissionárias, e as autorizadas do serviço público de distribuição de energia do Sistema Interligado Nacional (SIN) deveriam garantir, por meio de licitação, na modalidade de leilão, o atendimento à totalidade de seu mercado no ACR.

No ACR, a eletricidade é comercializada em leilões públicos para atender a demanda de eletricidade dos consumidores cativos, assim os consumidores não podem escolher o seu fornecedor a seu critério. A empresa que está disposta a oferecer o valor da eletricidade oferecida em um preço mais baixo ganha o processo de leilão.

Com vistas à execução dessas contratações, a legislação estabeleceu que os leilões seriam regulados e realizados pela ANEEL, observado o disposto no art. 3º-A da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, com a redação dada pela Lei n. 10.848/2004 (BRASIL, 2004).

Os Leilões do ACR possuem como objetivo contratar energia pelo menor preço possível (modicidade tarifária); atrair investidores para construção de novas usinas com vistas à expansão da geração; e reter a geração existente. Visando colocar o

Brasil na “vitrine” da área solar, aproveitando-se deste período de retração do mercado, principalmente devido à crise na Europa (ABINEE, 2012). A promoção de leilões é considerada decisiva na decisão de escolha do Brasil dentre as alternativas de alocação de plantas e investimentos diversos nesta cadeia, reforçando a posição privilegiada do Brasil no *ranking* de consumo e produção de energia limpa. Esperando-se com isso reforçar a competitividade ao atrair empresas capazes de produzir energia ao menor custo, com benefício direto à promoção da cadeia produtiva local e ao consumidor brasileiro (ABINEE, 2012).

No ano de 2013, o Ministério de Minas e Energia incluiu a fonte solar nos leilões de energia A-3/2013 e A-5/2013, através das Portarias nº 226/2013 e nº 300/2013, abrindo a possibilidade de ela competir igualmente com outras fontes, como eólica e térmicas, na modalidade “por disponibilidade”. Porém, mesmo com grande interesse na participação do leilão, nenhum projeto fotovoltaico foi vendido nestes leilões, por apresentarem custos mais elevados (EPE, 2014).

Já no ano de 2014, mais precisamente no dia 31/10/2014 foi realizado o Leilão de Energia de Reserva (LER). Neste certame, os projetos fotovoltaicos competiram apenas entre si e não com outras fontes. Assim, houve um recorde de projetos cadastrados (400), os quais totalizavam mais de 10 GWp (EPE, 2014). Dos projetos cadastrados, foram contratados 31 empreendimentos com capacidade de 889,66 MW de potência e 202,3 MW médios de garantia física. O preço médio de contratação foi de R\$ 215,12/MWh, representando um deságio de 17,9% frente ao preço máximo fixado (R\$ 262,00/MWh).

Em agosto de 2015 foi realizado um novo leilão com produto específico para fonte solar (7º LER – Leilão nº 008/2015). O leilão resultou na contratação de 231,5 MW médios, agregando 833,8 MW de capacidade instalada ao SIN. O preço médio para o certame foi de R\$ 301,79/MWh, representando um deságio de 15,6% em relação ao preço máximo fixado (R\$ 349,00/MWh). Em novembro de 2015, foi realizado o 8º LER (Leilão nº 009/2015), que resultou na contratação de 33 empreendimentos de fonte solar, com capacidade de 929,34 MW de capacidade e 262 MW médio de garantia física. O preço médio de contratação foi de R\$ 297,74/MWh, um deságio de 21,8% em relação ao preço máximo fixado (R\$ 349,00/MWh).

Já no ano de 2016 foram cancelados os dois Leilões de Energia de Reserva previstos aquele ano, não havendo a contratação de novos projetos de fonte solar,

cancelamento motivado pela redução da atividade econômica e a conseqüente queda da previsão de consumo de energia.

Em 18 de dezembro de 2017 foi realizado o leilão A-4, que resultou na contratação 25 novos projetos de geração, com 674,5 MW de capacidade e 228,7 MW médios de garantia física. O preço médio da contratação foi de R\$ 145MWh, com deságio de 55,7%.

No dia 04 de abril de 2018 aconteceu o 27º leilão de Energia Nova A-4. Foram negociados Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado na modalidade por Quantidade (Hidrelétricas - suprimento de 30 anos) e por Disponibilidade (Eólicas, Solares e Biomassa - suprimento de 20 anos). O destaque foi a fonte solar fotovoltaica que arrematou 76% dos lotes comercializados, onde foram contratados 29 empreendimentos, totalizando 806,6 MW de potência em corrente alternada (saída dos inversores) e 1.032,5 MW em corrente contínua (saída dos módulos fotovoltaicos). No total a fonte solar vendeu 228,5 MWm de lotes, dos 240,5 MWm de garantia física disponível (95%). Os projetos que foram contratados deverão iniciar o fornecimento de energia elétrica a partir de 1º de janeiro de 2022. Podemos visualizar de forma resumida os leilões de energia dos últimos anos no Quadro 1.

Quadro 1 – Leilões de Energia Solar

Leilão	Capacidade (MW)	Garantia Física (MWmédio)	Preço médio R\$/MWh
31/10/2014	889,7	202,3	R\$ 215,10
28/08/2015	833,8	231,5	R\$ 301,80
13/11/2015	929,3	262,0	R\$ 297,70
18/12/2017	674,5	228,7	R\$ 145,00
04/04/2018	806,64	228,5	R\$ 118,07

Fonte: Autora.

Observa-se uma contratação de 3,3 GW de capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no Brasil entre 2014 e 2017, volume significativo se comparado com o desenvolvimento da fonte nos anos anteriores.

2.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

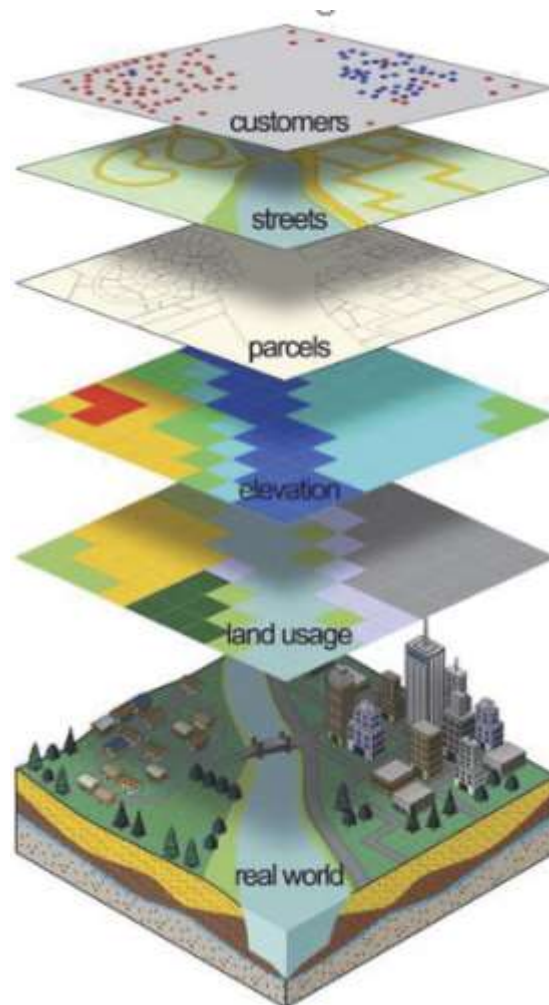
O Sistema de Informação Geográfica (SIG) ou *Geographic Information System (GIS)*, teve sua origem no início dos anos de 1960 com o desenvolvimento do *Canadian Geographic Information System*. O SIG evoluiu nos anos de 1980 devido ao desenvolvimento significativo dos microprocessadores, que permitiram a redução de custos e a concentração de grande quantidade de memória em chips muito pequenos e, ainda, a proliferação de softwares de baixo custo, muitos deles disponíveis para computadores pessoais. Esses fatores elevaram a importância comercial do SIG como uma nova tecnologia de processamento de informações, oferecendo capacidades únicas de gerenciamento e análise de uma variedade de dados espaciais (HAMADA; GONÇALVES, 2007).

O SIG é usado para capturar, armazenar, verificar, integrar, manipular, analisar e exibir dados relacionados a posições na superfície terrestre (DELEON et al., 2017). Consiste em um software que organiza os dados geográficos, para ser possível a leitura do mapa e selecionar os dados necessários para um projeto específico (SÁNCHEZ-LOZANO et al., 2013). Gerencia grandes volumes de dados espacialmente distribuídos de diversas fontes, sendo que pode recuperar, analisar e exibir informações de acordo com as especificações definidas pelo usuário (IZADI YAZDANABADI et al., 2017).

Normalmente, um Sistema de Informação Geográfica (ou Sistema de Informação Espacial) é usado para manipular recursos de mapa com bancos de dados vinculados (SÁNCHEZ-LOZANO et al., 2013). Esses recursos podem ser representados como várias camadas diferentes, em que cada camada contém dados sobre um tipo particular de recurso. Cada recurso está vinculado a uma posição na imagem gráfica de um mapa. As camadas de dados são organizadas de maneira particular para análise e análise estatística (MAPPING, 2017).

Um mapa temático com uma tabela de dados permite ao leitor adicionar camadas de informação a um mapa base de locais do mundo real (Figura 4).

Figura 4 – Exemplo de Camadas de SIG.



Fonte: Mapping, (2017).

O SIG atualmente é o método mais utilizado para a análise espacial, capaz de gerenciar muitos dos problemas relacionados ao espaço. Uma tecnologia amplamente aplicada a muitas áreas, incluindo a detecção e avaliação de localização (XIAO et al., 2013). SIGs foram usados em aplicações de energia, desde avaliação de recursos até infra-estrutura de planejamento (FERNANDEZ-JIMENEZ et al., 2015). Torna-se cada vez mais popular o uso de seus recursos para vários estudos de seleção de locais, inclusive para planejamento de energia (XU et al., 2015).

2.2.1 Softwares SIGs

Muitos softwares de SIG possibilitam a intervenção do usuário, a partir de alguma linguagem de programação, a fim de adaptar as funções do aplicativo a

alguma necessidade específica do usuário que não é contemplada diretamente pelas aplicações (COSTA, 2010). Dentre os softwares de SIG os três com maior relevância no momento em ferramentas no âmbito dos planos de planejamento territorial, são os *ArcGIS*, *gvSIG* e *Quantum GIS* (MORALES, 2017).

Um estudo realizado pela autora Bauer, (2012) fez uma breve comparação entre os programas (Quadro 2).

Quadro 2 – Comparação do Quantum Gis, gvSig e ArcGis

Categoria	Quantum GIS	gvSIG	ArcGIS
Website	http://www.qgis.org	http://www.gvsig.com	http://www.esri.com
Sistemas Operacionais Suportados	Windows, Linux, Mac OS X, Android	Windows, Linux, Mac OS X	Windows, Linux
Tipo de Licença	Código Aberto	Código Aberto	Patenteado
Interface do Software	Interface gráfica do usuário	Interface gráfica do usuário	Interface gráfica do usuário
Arquivos de Entrada Suportados	OGC WMS, WFS, etc.	OGC WMS, WFS, etc.	OGC WMS, WFS, etc.
Formato	Vector: shapefile, TIGER, etc.	Vector: shapefile, TIGER, etc.	Vector: shapefile, TIGER, etc.
	Raster: TIFF, GeoTIFF. JPEG, GIF, PNG, etc.	Raster: TIFF, GeoTIFF. JPEG, GIF, PNG, etc.	Raster: TIFF, GeoTIFF. JPEG, GIF, PNG, etc.
	Databases: Microsoft SQL, Oracle, PostGIS/PostgreSQL, etc.	Databases: Microsoft SQL, Oracle, PostGIS/PostgreSQL, etc.	Databases: Microsoft SQL, Oracle, PostGIS/PostgreSQL, etc.

Fonte: Bauer, (2012).

Todos os três têm suas vantagens e desvantagens, não há uma resposta correta, depende do que usamos. O *ArcGIS* se destaca em suas ferramentas de geoprocessamento e sempre foi a ferramenta mais empregada para realizar topologia ou trabalhar com redes, mas muitas tarefas que este primeiro faz podem ser feitas tanto com *QGIS* quanto com *gvSIG*, que se caracterizam por serem softwares livres.

Para Andrade (2011) não existe o software SIG perfeito ou completo, por mais caro que seja, pois, a definição da escolha do programa depende da necessidade, da rotina de trabalho e da intimidade com as tecnologias disponíveis por parte do utilizador.

O SIG usado para resolver o problema posto neste estudo é o *gvSIG*. A motivação de escolha deste software para aplicação deste estudo ocorreu por ser um software livre e por se encontrar em frequente uso em estudos desta natureza, dando-lhe um alto grau de confiabilidade. Além de ser um software livre possui código aberto, ou seja, ele pode ter suas funções aprimoradas por seus usuários (REOLON, 2008). Este software tem suas origens em 2004 e foi promovido pelo Ministério das Infra-Estruturas e Transportes de Valência em 2004 (SÁNCHEZ-LOZANO; GARCÍA-CASCALES; LAMATA, 2015). De acordo com Sperb et al.,(2010) o software foi desenvolvido com as seguintes características:

- a) Portabilidade: permitir ser executado independentemente da plataforma (inicialmente, Linux e Windows);
- b) Modularidade: permitir o desenvolvimento de extensões com novas funções após o desenvolvimento concluído;
- c) Código aberto: o código de desenvolvimento original ficasse disponível;
- d) Desnecessidade de licença: o aplicativo pudesse ser instalado sem necessidade de compra de licença alguma, independentemente da quantidade de instalações realizadas;
- e) Inexegibilidade com aplicações implementadas anteriormente: permitisse acesso a dados originados em softwares proprietários, como *ArcView*, *Microstation*, *AutoCAD*, sem precisar mudar o formato;
- f) Emprego de padrões: compreendesse a sujeição as especificações do Open Geospatial Consortium (OGC) e da União Européia.

O *gvSIG* é uma ferramenta que possui uma força para suportar dados de tipo vetorial e raster, porque possui uma ampla gama de ferramentas para criar e editar objetos geográficos de pontos, linhas, polígonos e imagens, o último fazendo referência aos dados do tipo de varredura. O software *gvSIG* vem sendo utilizado por uma comunidade internacional crescente, nos mais diversos setores e aplicações.

2.2.2 Métodos multicritérios de apoio a decisão baseados em SIG

A combinação SIG com *MCDA* gera uma excelente ferramenta de análise que permite a criação de uma extensa base de dados cartográficos e alfanuméricos que

posteriormente podem ser utilizados por metodologias multicritérios para simplificar problemas (SÁNCHEZ-LOZANO et al., 2013).

Diversos países do mundo estão fazendo esforços significativos para analisar o seu potencial solar para formular melhor seu planejamento energético. Para avaliar a adequação espacial e selecionar as áreas mais favoráveis para o desenvolvimento da energia fotovoltaica, é necessário coletar e preparar os dados (DOLJAK; STANOJEVIĆ, 2017). Em seguida, o processo de avaliação é baseado em procedimentos matemáticos, que requerem muito tempo e dinheiro, especialmente se eles são realizados manualmente. Com o objetivo de dar suporte a decisão de obter uma alocação espacial ideal de usinas de energia fotovoltaica vem sendo usado uma ferramenta composta pelos métodos MCDA em combinação com SIG (UYAN, 2017).

O uso de SIG para resolver a localização das instalações de energia renovável começou a ser desenvolvido no final do século XX (VOIVONTAS et al., 1998) e vem sendo utilizado desde então. A literatura contém numerosos métodos de tomada de decisão, e particularmente multicritérios que podem ser aplicados a problemas em geral e mais especificamente para aqueles que consideram energias renováveis (SÁNCHEZ-LOZANO; GARCÍA-CASCALES; LAMATA, 2016).

Perpiña Castillo; Silva e Lavallo, (2016) avaliaram o potencial das regiões europeias para a geração de energia solar e sua comparação com os recentes incentivos da União Europeia, utilizando SIG-MCDA.

Aly; Jensen e Pedersen, (2017) utilizam SIG combinada com a decisão multicriterial, em específico o método de processo de hierarquia analítica, em inglês Analytic Hierarchy Process (AHP) para investigar a adequação espacial para instalações de energia solar em grande escala na Tanzânia. A mesma ferramenta foi utilizada para seleção do local para planta de energia solar fotovoltaica em regiões da Arábia Saudita (GARNI; AWASTHI, 2017), Sérvia (DOLJAK; STANOJEVIĆ, 2017), Turquia (UYAN, 2017) e Espanha (SÁNCHEZ-LOZANO et al., 2013).

Sánchez-Lozano; García-Cascales; Lamata, (2015), utilizaram SIG com os métodos multicritérios como a Técnica de Ordem de Preferência por Similitude a Solução Ideal (método TOPSIS) e AHP para determinar a melhor localização para hospedar uma usina termoelétrica solar.

2.3 MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO A DECISÃO

Métodos multicritérios de apoio a decisão, ou Multiple-Criteria Decision Analysis (MCDA) têm sido muito utilizados na solução de problemas de tomada de decisão, que se caracterizam por ser um processo de determinação de diferentes critérios para modelagem de objetivos e avaliação de alternativas (AKKAS et al., 2017). Os métodos multicritério auxiliam no processo decisório, embasado nas informações existentes, incorporando valores dos agentes, na busca da melhor solução.

Na década de 1940 já existiam pesquisadores e estudiosos que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desse segmento (SCHMIDT, 1995). Que se preocupavam principalmente, com a variante da racionalidade como preponderante ao processo decisório, mas as decisões eram tomadas com auxílio de análises baseadas em princípios econômicos.

Mas, foi na década de 1960 que os primeiros métodos probabilísticos voltados para a tomada de decisão surgiram (MOSADEGHI et al., 2015). Somente no início da década de 1970, o processo de apoio à decisão iniciou uma comunidade científica, antes dispersa, interessada pelo domínio multicritério (GONÇALVES, 2001).

Na concepção de Wallenius et al., (2008), o processo de decisão visa auxiliar na escolha pela opção considerada como a melhor entre um rol de alternativas viáveis, sendo geralmente uma atividade complexa devido à incerteza sobre os critérios envolvidos. Qualquer problema de decisão que compreenda no mínimo duas ações possíveis podem ser enquadradas sob a abordagem multicritério de apoio à decisão (GOMES; GOMES, 2014). O MCDA é uma forma de apoio à tomada de decisão, onde um conjunto de técnicas que não propondo uma solução final, tem como resultado a ordenação de um conjunto de alternativas disponíveis.

O processo resume-se no cruzamento das alternativas com os critérios existentes, no qual o critério representa uma regra (ou fator no contexto) na qual um julgamento ou decisão pode ser definida, e as alternativas representam as opções disponíveis para o decisor (COSTA, 2012). De uma forma geral, os métodos multicritério caracterizam-se por apoiar problemas complexos que englobam um conjunto de critérios normalmente conflituosos.

Nessa linha de argumentação, Costa, (2012) aponta que os problemas de decisão são normalmente representados em formato matricial, onde cada elemento

da matriz de decisão indica o desempenho da respectiva alternativa em relação a um critério, estando o critério associado a um peso de desempenho relativo.

A tomada de decisões multicritério envolve um processo de estágio múltiplo de:

- a) Definição de objetivos;
- b) Escolha dos critérios para medir o objetivo;
- c) Definição das alternativas;
- d) Atribuição de pesos aos critérios;
- e) Aplicação do algoritmo matemático apropriado para classificar alternativas.

As técnicas de análise multicritério tornaram-se cada vez mais proeminentes no planejamento de energia sustentável, para lidar com os conflitos das opiniões dos decisores em comparação aos critérios elencados como fundamentais para o contexto (NOOROLLAHI et al., 2016). Acolet, (2008) ressalta que estes métodos não conduzem a uma solução ótima, mas sim propõem uma solução que se encaixe sob todos os pontos de vista restritivos do contexto analisado, da maneira mais prática e satisfatória possível.

Os métodos multicritério são aplicados substancialmente na área de energia para escolha de locais, avaliação de projetos e avaliação de equipamentos. Os métodos comuns nessas aplicações são o AHP, processo de rede analítica ou Analytic Network Process (ANP), TOPSIS, ELECTRE (WU et al., 2014).

2.3.1 Processo analítico hierárquico

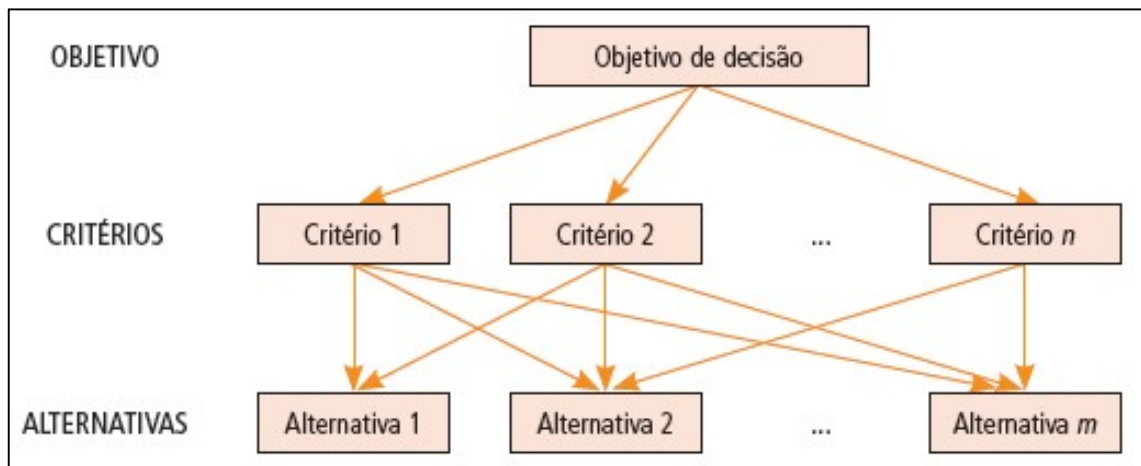
A ferramenta de suporte à decisão conhecida como processo analítico hierárquico ou Analytic Hierarchy Process (AHP) pode ser usada para resolver problemas de decisão complexos (TAHRI; HAKDAOUI; MAANAN, 2015). Ele usa um nível hierárquico de vários níveis estrutura de objetivos, critérios e alternativas, onde o tomador de decisão julga a importância de cada critério em uma sequência de comparações entre pares de critério. O mesmo procedimento ele aplica para julgar o mérito de cada solução sob um dado critério.

Os dados pertinentes são derivados usando um conjunto de comparações pareadas. Essas comparações são usadas para obter os pesos de importância dos critérios de decisão e as medidas relativas de desempenho de as alternativas em termos de cada critério de decisão individual.

A AHP está baseada no princípio de que, para tomar decisões, a experiência e o conhecimento das pessoas é pelo menos tão valioso quanto os dados que utilizam (TAHRI; HAKDAOUI; MAANAN, 2015).

O método AHP hierarquiza os fatores relevantes, passando do objetivo principal, pelos critérios, atributos e alternativas (SAATY, 1991), conforme pode-se visualizar na Figura 5.

Figura 5 – Estrutura Hierárquica Básica



Fonte: Saaty, (1991)

Após a construção da hierarquia, é preciso à definição das importâncias relativas entre critério, subcritérios e alternativas. Para isso é utilizada a escala recomendada por Saaty (1991) mostrada no Quadro 3, vai de 1 a 9, com 1 significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 significando a extrema importância de um critério sobre o outro, com estágios intermediários de importância entre os níveis 1 ao 9.

Quadro 3 – Escala de Saaty (1991)

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância Absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: Adaptado de Saaty (1991)

Após as comparações pareadas, cria-se uma matriz quadrada onde são apresentados os resultados das comparações entre o elemento que consta na coluna da esquerda na linha com o elemento que é apresentado na primeira linha da coluna de comparação. Essa matriz é apresentada na Figura 6, onde apresenta todas as etapas utilizadas do método AHP.

Figura 6 – Etapas da AHP

PROCESSO	DESCRIÇÃO E JULGAMENTO	FÓRMULA
1 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Construir a matriz de julgamentos</div>	Os elementos diagonais da matriz são 1. O critério da linha i é melhor do que o critério da coluna j , se o valor do elemento (i, j) for superior a 1. O elemento (j, i) da matriz é o recíproco do elemento (i, j) .	$A = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$
2 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Multiplicam-se os n elementos de cada linha</div>	Após a definição da matriz de julgamentos A , é necessário multiplicar os n elementos em cada linha.	$a_i = \prod_{i=1}^n a_{in}$
3 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Calcular a raiz n-ésima</div>	Após a multiplicação dos n elementos de cada linha, toma-se a raiz n -ésima do termo resultante de cada linha. Isso resultará em uma matriz de pesos.	$w_i = \sqrt[n]{a_i}$
4 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Normalizar a matriz de pesos</div>	Após ter a coluna de matriz de pesos é necessário normalizá-la.	$w'_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}}{n}$
5 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Apresentar a matriz dos pesos das alternativas</div>	Após o cálculo do passo anterior é obtida a matriz w' dos pesos das alternativas.	$w' = \begin{bmatrix} w'_1 \\ \vdots \\ w'_n \end{bmatrix}$
6 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Estudar a consistência da matriz p: Calcular a soma produto de cada linha da matriz A</div>	A consistência de uma matriz é avaliada através de seu autovalor máximo (λ_{max}), que deve ser aproximadamente n . Calcula-se a soma produto de cada linha matriz A pelo valor w' correspondente.	$b_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w'_j$
7 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Estudar a consistência da matriz p: Dividir os resultados anteriores pelos vetores da matriz p</div>	Após o cálculo dos valores de b , os resultados são divididos pelos valores da matriz w'	$c_i = \frac{b_i}{w'_i}$
8 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Estudar a consistência da matriz p: Calcular o autovalor máximo</div>	Então, o cálculo do autovalor é realizado. O autovetor mostra a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento.	$\lambda_{max} = \frac{\sum_{j=1}^n c_i}{n}$
9 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Estudar a consistência da matriz p: Calcular o Índice de Consistência (IC)</div>	Então, é possível calcular o valor do índice de consistência (IC). Onde n é a ordem da matriz de pesos.	$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$
10 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Estudar a consistência da matriz p: Calcular a relação de consistência</div>	A relação de consistência (RC) é a razão entre índice de consistência e um índice randômico médio tabelado. A RC com 0,10 ou menos é considerada aceitável.	$RC = \frac{IC}{IR}$

Fonte: Autora

Onde:

A = Matriz de julgamentos de i linhas e j colunas ($\forall i, j = \{1, 2, \dots, n\}$);

w_i = Peso da linha i não normalizada;

W' = Matriz de pesos normalizada;

λ_{max} = Autovalor máximo da matriz de julgamentos;

IC = Índice de consistência da matriz de julgamentos;

IR = índice Randômico; e

RC = Relação de consistência da matriz de julgamentos.

Fundamentado nas etapas anteriores, é possível visualizar que nas etapas 1 a 5 se determina o peso de cada um dos fatores selecionados para a escolha das alternativas do problema de decisão utilizando o método AHP. Os passos 6 a 10 investigam a consistência dos julgamentos dos fatores pelos especialistas.

O índice randômico leva em consideração a ordem das matrizes de julgamento. Para cada ordem de matriz, existe um índice randômico correspondente.

Essas comparações estabelecem as prioridades dos elementos de um dos níveis de hierarquia relacionando ao nível seguinte. Se existirem mais de dois níveis, os diversos vetores de prioridade podem ser combinados em matrizes de prioridades, que darão o vetor de prioridade final para o nível da base (SAATY, 1989).

No uso da metodologia AHP, sempre que novos critérios ou alternativas forem incluídos ou excluídos, o resultado do ranqueamento pode ser invertido. Além dessa limitação, as abordagens baseadas em tais técnicas comparativas limitam a quantidade de alternativas que podem ser avaliados simultaneamente por requererem a comparação par a par entre as alternativas avaliadas.

Embora a técnica AHP seja usada para resolver problemas de seleção, neste estudo é utilizado apenas para determinar o peso dos critérios, e não para avaliar as alternativas. Os pesos calculados são usados mais tarde na técnica TOPSIS.

2.3.2 Técnica de ordem de preferência por semelhança a uma solução ideal

Conhecido como método TOPSIS, que vem do inglês Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, ou técnica para avaliar o desempenho de alternativas por meio de similaridade com a solução ideal foi proposto inicialmente por Hwang; Yoon, (1981) e segue sendo utilizado no ranqueamento de alternativas por

ordem de preferência. Sua metodologia baseia-se no conceito de que a alternativa escolhida deve ter a distância mais curta da solução ideal positiva, e a mais distante da solução ideal negativa. O *ranking* final é obtido por meio do índice de proximidade. A solução ideal é formada tomando-se os melhores valores alcançados pelas alternativas durante a avaliação em relação a cada critério de decisão, enquanto a solução ideal negativa é composta de forma similar, tomando-se os piores valores (AMARO; JUNIOR, 2015). A solução ideal maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios de custo, a solução ideal negativa maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício (KROHLING; SOUZA, 2011). Logo, a solução ideal positiva é composta de todos os melhores valores atingíveis dos critérios de benefício, e a solução ideal negativa consiste em todos os piores valores atingíveis dos critérios de custo.

Este método possibilita a avaliação simultânea de uma quantidade ilimitada de alternativas. No passo inicial da técnica, as soluções ideais positivas e negativas são determinadas. Para determinar esses valores, a matriz de decisão é formada e normalizada (OZTAYSI, 2014). Essa matriz é apresentada na Figura 7, onde apresenta todas as etapas utilizadas do método TOPSIS.

Figura 7 – Etapas TOPSIS

	PROCESSO	DESCRIÇÃO	FÓRMULA
1	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Construir a matriz de decisão</div>	Definir as alternativas (Ai) e os critérios (Cj), onde xij indica o desempenho da alternativa em relação ao critério.	$A = \begin{matrix} A1 & C1 & C2 & \dots & Cj \\ \dots & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Ai & x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} \end{matrix}$
2	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Definir os pesos dos critérios</div>	Definir os pesos individuais para cada critério Cj, em que a soma dos pesos resulte 1.	$\sum_{j=1}^j w_j = 1$
3	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Normalizar a matriz de decisão</div>	Após a definição dos pesos, é necessário normalizar os valores xij da matriz, para que possam ser comparados.	$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum x_{ij}}$
4	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Determinar a solução ideal positiva (A+)</div>	Determinar a solução ideal positiva (A+) selecionando a maior pontuação normalizada e ponderada de cada critério. Onde J é o conjunto de atributos com benefícios.	$A^+ (p_1^+, p_2^+, \dots, p_m^+)$ Onde: $p_j^+ = \{max_i p_{ij}, j \in J_1; min_i p_{ij}, j \in J_2\}$
5	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Determinar a solução ideal negativa (A-)</div>	Determinar a solução ideal negativa (A-) selecionando a menor pontuação normalizada e ponderada de cada critério. Onde J' é o conjunto de atributos com custos.	$A^- (p_1^-, p_2^-, \dots, p_m^-)$ Onde: $p_j^- = \{min_i p_{ij}, j \in J_1; max_i p_{ij}, j \in J_2\}$
6	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Calcular as distâncias Euclidianas</div>	Calcular as distâncias entre o valor inserido na matriz pelas soluções ideais. A distância entre a matriz de decisão normalizada com pesos e os valores ideais positivos e negativos.	$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^+ - p_{ij})^2} \text{ com } i = 1, \dots, m.$ $d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^- - p_{ij})^2} \text{ com } i = 1, \dots, m.$
7	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Calcular a proximidade relativa</div>	Calcular a proximidade relativa ξ_i para cada alternativa Ai, em relação a solução ideal positiva A+.	$\xi = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$

Fonte: Autora

Onde:

A = Matriz de julgamentos de i linhas e j colunas ($\forall i, j = \{1, 2, \dots, n\}$);

w = Peso dos critérios não normalizados;

p_{ij} = Matriz de pesos normalizada;

A⁺ = Solução ideal positiva;

A⁻ = Solução ideal negativa;

d^+ = Distância euclidiana positiva;
 d^- = Distância euclidiana negativa;
 ξ = Proximidade Relativa

A classificação das alternativas ocorre de acordo com a proximidade da solução ideal. Então quanto maior o valor do índice, melhor é o desempenho da alternativa (HUANG, 2008).

O método se destaca pela simplicidade dos procedimentos matemáticos, que contribuem para facilidade de implementação e aplicação, e permite avaliar uma quantidade ilimitada de alternativas, diferentemente de abordagens comparativas (LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015).

Na concepção de Oztaysi, (2014), o TOPSIS evita o número elevado de comparações paritárias das alternativas, possibilitando uma avaliação através de cálculos objetivos dos pesos dos critérios encontrados com o AHP e apresenta um recurso de priorização para gerar uma ordenação das alternativas.

3 METODOLOGIA

Para atingir o objetivo proposto, este capítulo apresenta os métodos científicos que descrevem o caminho a ser percorrido nesta pesquisa, que é composto pelo enquadramento metodológico na Sessão 3.1, onde classifico aspectos de natureza metodológica que orientaram o estudo. Na sequência é apresentado a sessão 3.2 que trata do cenário de realização da pesquisa, e justificativa da escolha deste cenário. O capítulo é finalizado com a Sessão 3.3 que exhibe os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa, abordando atentamente cada uma das etapas.

3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

Na elaboração de pesquisas científicas deve haver premissas ou pressupostos teóricos sobre os quais o pesquisador fundamentará sua interpretação (MARCONI; LAKATOS, 2010). Dessa maneira, foi realizado o enquadramento da metodologia a ser utilizada no presente projeto de dissertação, que pode ser observado no Quadro 4, fundamentada nas proposições de Miguel, (2011), Gil, (2010), Lacerda et al., (2007), Marconi; Lakatos, (2010).

Quadro 4 – Enquadramento metodológico do projeto de dissertação

Classificação	Enquadramento
Natureza	Aplicada
Método científico	Indutivo
Abordagem	Qualitativa
	Quantitativa
Objetivos	Exploratória
	Descritiva
Procedimentos técnicos	Bibliográfica
	Documental
	Exploratória

Fonte: Autora.

Quanto à natureza, essa pesquisa pode ser considerada como aplicada, pela resposta prática obtida em seus resultados, contribuindo para a solução de problemas pontuais no contexto e no momento da investigação (GIL, 2010).

Quanto ao método científico, esse se enquadra como indutivo, pois a partir de dados particulares, suficientemente constatados, infere-se a uma verdade geral que não está contida nas partes examinadas. Na presente dissertação são consideradas as conclusões cujo conteúdo é mais amplo que as premissas nas quais foi baseado (MIGUEL, 2011).

Em relação à abordagem, a pesquisa contempla tanto o viés qualitativo quanto o quantitativo, tendo em vista que inicialmente são abordadas informações do ambiente que permitem evidenciar as características relevantes na geração fotovoltaica e, posteriormente, realizados procedimentos e técnicas que traduzam em números os conhecimentos gerados pelo pesquisador (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Referente aos objetivos, a pesquisa é considerada exploratória e descritiva, a partir da necessidade de se conhecer com maior profundidade os conceitos da temática e as características da energia fotovoltaica (GIL, 2010).

Em relação aos procedimentos técnicos adotados, utilizou-se de três procedimentos para o pleno cumprimento dos objetivos do estudo: por um lado, fez-se o uso da pesquisa bibliográfica, devido à necessidade de se buscar materiais já publicados que embasam as temáticas abordadas; por outro, utilizou a pesquisa documental para possibilitar um melhor entendimento do setor, e da legislação; além de enquadrar-se como pesquisa experimental na determinação do objeto de estudo, selecionando as variáveis e definindo as formas de controle e de observação dos efeitos (LACERDA et al., 2007).

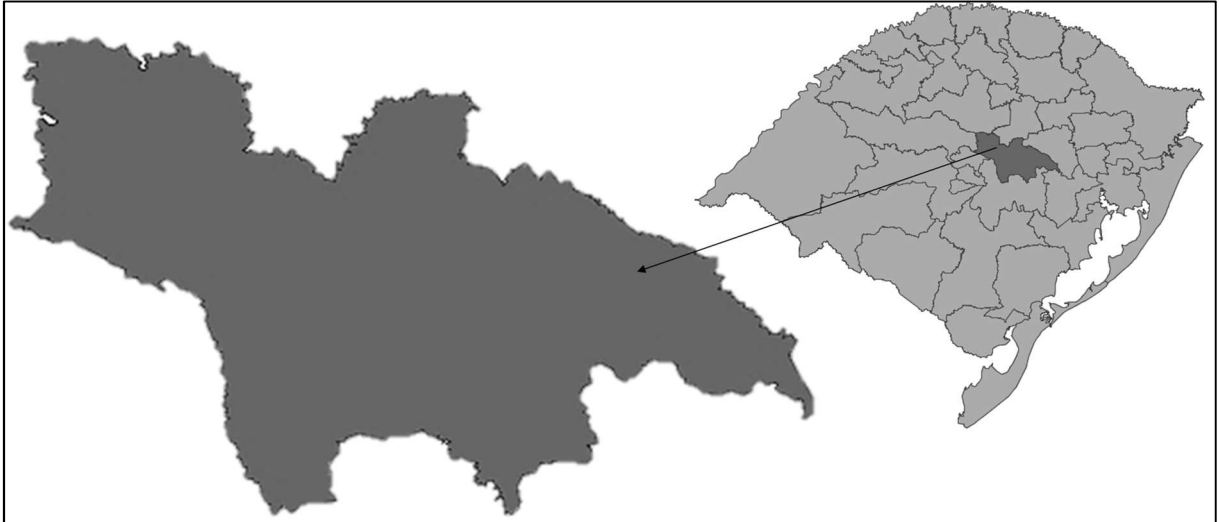
3.2 CENÁRIO

A modelagem proposta possui a possibilidade de aplicação em todo território brasileiro. Sendo que contempla fatores determinantes para a escolha de um potencial local para instalação de usina fotovoltaica presentes em todas regiões do Brasil

Neste estudo a modelagem foi aplicada na microrregião de Santa Cruz do Sul (Figura 8), que abrange 16 municípios do estado do Rio Grande do Sul, que possui uma área total de 5.564 km². A região possui áreas com altos valores de declividade,

sendo considerado um impedimento para a instalação de usinas solares, motivando o estudo na busca de potenciais áreas para instalação.

Figura 8 – Microrregião Santa Cruz do Sul

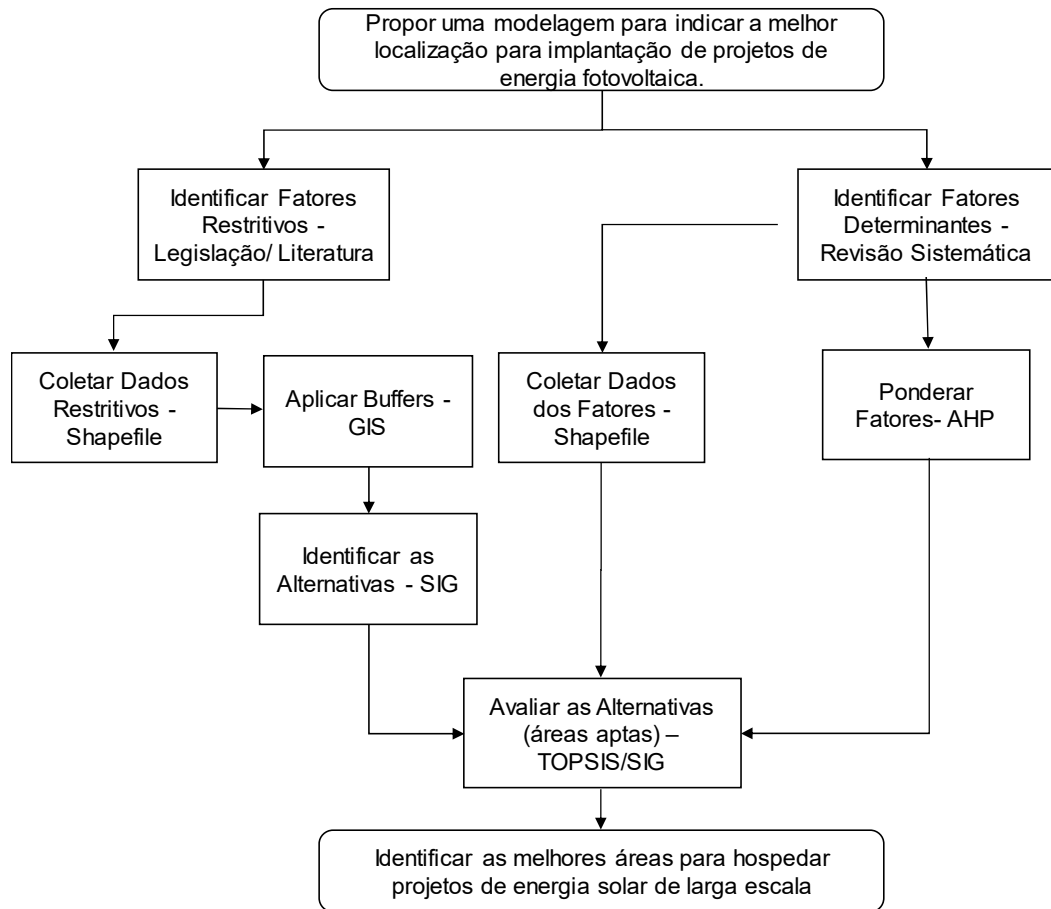


O Rio Grande do Sul apresenta potencial na implantação de empreendimentos de geração de energia solar. Pois possui valores médios de insolação e irradiação solar bastante próximos da média nacional, na ordem de 6 a 7 horas de insolação diária média, e de 14 a 16 MJ/m² dia de radiação diária média (TIBA ET AL., 2000). Mesmo com boas condições o estado tem somente uma usina fotovoltaica instalada.

3.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Ao longo do desenvolvimento desta dissertação, serão percorridas algumas etapas fundamentais para atingir os objetivos e a resposta para o problema de pesquisa previamente estabelecido. A Figura 9 exibe o fluxograma das etapas da pesquisa.

Figura 9 – Etapas da Pesquisa



Fonte: Autora.

O procedimento metodológico da Figura 9 engloba todos os conceitos previamente apresentados. Dessa maneira, apresenta-se a descrição das etapas a serem contempladas.

3.3.1 Revisão bibliográfica

A partir do problema e dos objetivos delimitadores da pesquisa, foi realizada investigação bibliográfica da literatura que embasassem e justificassem a realização da pesquisa, o tema principal foi dividido em três grandes áreas: energia fotovoltaica; sistema de informação geográfica e métodos de apoio a tomada de decisão multicritérios.

Para a construção do referencial teórico foram utilizados os portais de conteúdo científico *Web of Science*, *Science Direct*, *Scopus*, *IEEE* e o portal de periódicos da

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), juntamente com a consulta de livros e artigos publicados em anais de eventos referentes à energia fotovoltaica, com a finalidade de buscar embasamento teórico para construção da análise proposta, esta revisão buscou justificar o objetivo deste estudo, assim como identificar possíveis métodos no atendimento do mesmo.

3.3.2 Análise de adequação

Para a análise de adequação do cenário de estudo, foi realizado uma pesquisa na legislação local e na bibliografia para identificar as restrições existentes na instalação de uma usina solar de grande porte. Qualquer aspecto administrativo, técnico ou ambiental que limite a construção de uma instalação desse tamanho deve ser levado em consideração para nos proporcionar uma visão realista do resultado final.

No problema de localização proposto, a área de superfície adequada será inicialmente obtida por descarte, através do uso do *gvSIG*, as áreas em que a política existente proíbe a implantação de tais instalações serão retiradas do estudo.

Além disso, esses fatores restritivos estão disponíveis em bancos de dados para a área de estudo e atendem o objetivo desta pesquisa. O governo brasileiro oferece ao público uma grande quantidade de informações geográficas no formato SIG através dos portais da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), e da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM). Ao procurar as camadas, estas devem estar em um formato que o software *gvSIG* pode processar ou, se o *gvSIG* não conseguir trabalhar com este formato, o formato do arquivo precisa ser alterado.

As camadas utilizadas e suas fontes correspondentes são expostas no Quadro 5, todas elas se encontram em coordenadas geográficas, datum SIRGAS2000.

Quadro 5 – Camadas Restritivas

Camadas	Provedor	Link
Cursos d'água e córregos	Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM	http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp
Redes Viárias		
Ferrovias		
Terras Urbanas		
Terras Protegidas	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM	http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geodiversidade/Mapas-de-Geodiversidade-Estaduais-1339.html
Hidrovias		
Áreas com inclinação >5° (Declividade)	Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia - UFRGS	http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/geotiff/

Fonte: Autora.

As restrições apresentadas no quadro possuem os dados disponíveis em órgãos públicos, mas áreas que apresentam possível desastre natural também necessitam ser retirados da área de estudo. Outra restrição aplicada ao estudo será o tamanho da área disponível.

3.3.2.1 Cursos d'água e córregos

Estabeleceu-se a distância mínima de 200 metros de qualquer corpo d'água, a decisão da medida de distância, foi com referência na Lei nº 12.651/12, que rege para obras sejam feitas próximas aos cursos d'água naturais, perenes e intermitentes, que são considerados Áreas de Preservação Permanente (APP), a distância permitida pelo Código Florestal Brasileiro, conforme Quadro 6.

Quadro 6 – Distância Permitida pelo Código Florestal Brasileiro

Largura do curso d'água (m)	Distância permitida (m)
< 10	30
10 a 50	50
50 a 200	100
200 a 600	200
> 600	500

Fonte: Brasil (2012).

A decisão da distância mínima de 200 metros ocorre pelo fato da maioria dos cursos d'água não ultrapassarem a largura de 600 metros. Sendo assim para as hidrovias que possuem largura maior foi dado uma área restritiva de 500 metros.

Já bibliografia também traz o distanciamento mínimo de 100 metros na maioria das situações estudadas anteriormente, mas traz também restrição para áreas com possíveis desastres naturais. Rezaei et al., (2018), afirma que estruturas solares devem ser instaladas em locais onde são menos propensos a serem danificados por desastres naturais. O Brasil é atualmente o sexto país do mundo que mais sofre com catástrofes climáticas, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU). Na região sul as inundações são os desastres naturais mais comuns (WOLLMANN, 2014). Por isso, a decisão de mantermos uma distância maior dos cursos d'água, a fim de evitar esses desastres.

3.3.2.2 Redes viárias

Todas as rodovias, sejam Federais ou Estaduais, possuem faixas de domínio. No âmbito Federal tais faixas estão previamente definidas nas Normas para Construção de Rodovias, onde em razão do relevo, topografia, e características de trânsito, são definidas as larguras das plataformas, das curvas, e da área de segurança.

As rodovias, além das pistas, possuem faixas de domínio que variam entre 20 a 100 metros ou mais, de acordo com projetos elaborados. Além dessas faixas existem ainda limitações de uso da propriedade particular (áreas não edificantes)

estabelecidas pela Lei Federal n. 6.766/79, que proíbe construções a menos de 15 metros das margens das rodovias, ferrovias e rios (BRASIL, 1979). Porém a reserva de uma faixa de quinze metros de cada lado pode revelar-se insuficiente para alguns casos e excessiva ou mesmo desnecessária para outros. Dessa forma, o senado visa substituir um critério rígido por um princípio flexível, a ser operacionalizado no contexto de cada projeto de parcelamento do solo, onde os municípios fixarão a largura das faixas não edificáveis conforme as características locais, desde que garantidas a segurança e a saúde da população (BAPTISTA, 2015).

Sendo assim para o presente estudo a distância mínima das estradas foi estabelecida em 100 metros, com o objetivo de preservar as áreas de circulação e do impacto visual da usina.

3.3.2.3 Ferrovias

Estabeleceu-se a distância mínima de 15 metros das margens das ferrovias. A decisão da medida de distância, foi com referência na Lei Federal n 6.766/79, que proíbe construções a menos de 15 metros das margens das ferrovias (BRASIL, 1979).

3.3.2.4 Áreas urbanas

A usina de energia fotovoltaica não deve ser estabelecida perto de áreas urbanas devido à alta densidade de população e edifícios, e porque pode afetar o crescimento urbano. Uma distância mínima de 500 metros deve ser mantida de terras urbanas (UYAN, 2013). Além disso, isso pode suportar a expansão da capacidade do município no futuro (CHOUDHARY; SHANKAR, 2012; UYAN, 2017).

3.3.2.5 Áreas de proteção

A literatura assegura que não é recomendável instalar usinas solares próximo a áreas de proteção (UYAN, 2013). Sendo assim será mantido uma distância de 500 metros das áreas consideradas de proteção, como as terras indígenas, terras protegidas e sítios paleontológicos.

3.3.2.6 Declividade

As áreas de alta inclinação não são viáveis economicamente para projetos de energia solar (AL GARNI; AWASTHI, 2017). Com base nos dados de vários trabalhos literários o fator de inclinação para este estudo deve ser inferior ou igual a 5°. Áreas de declive mais altas, como montanhas e áreas com declive maior que 5 serão eliminados.

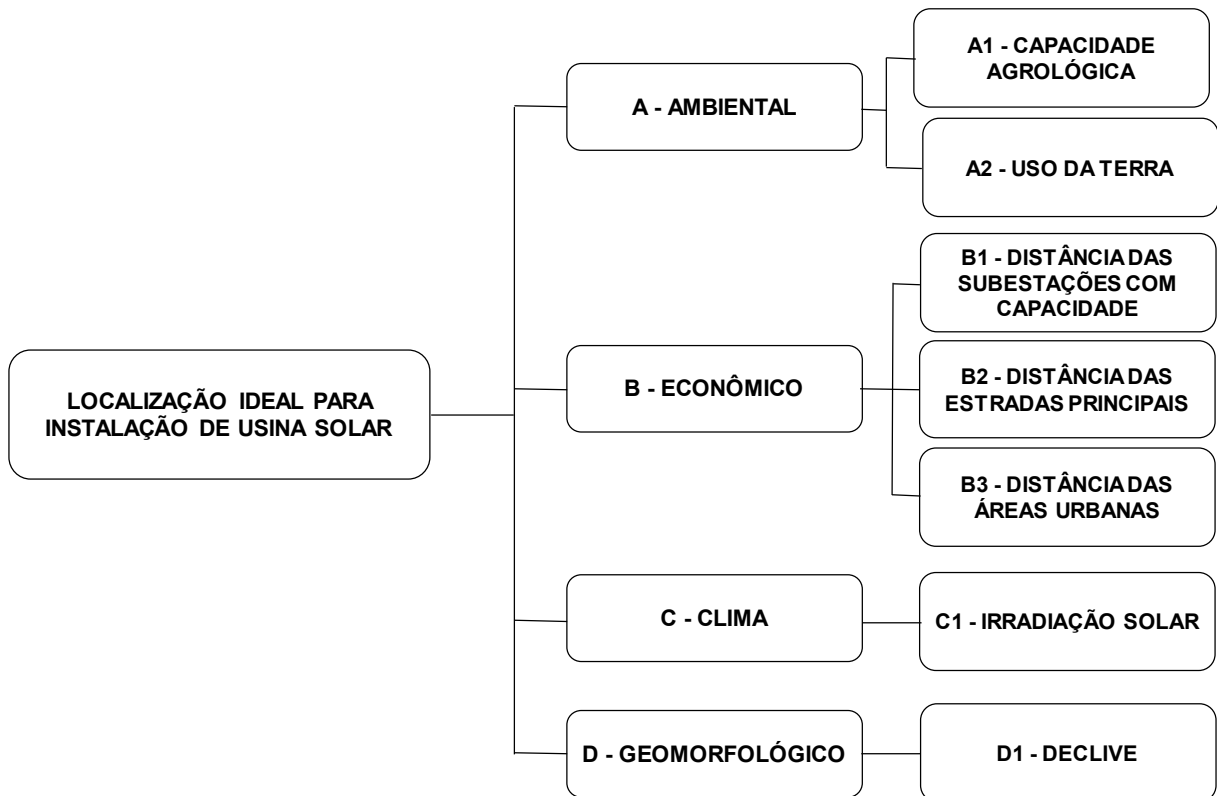
3.3.2.7 Área

A área necessária para a instalação da usina deve ser de no mínimo 26 hectares, considerando uma usina com potência de 30 MW. Ao deduzir as camadas temáticas inseridas no software *gvSIG* que definem cada uma das restrições da camada original que cobre todo o território em estudo, serão obtidas as áreas adequadas para o implante de usinas solares.

3.3.3 Definição dos fatores determinantes

Para definir os fatores utilizados neste estudo foi realizada uma revisão sistemática que elencou seis fatores determinantes, e considerada a opinião de especialistas da área que validaram estes fatores e indicaram a adição de mais um fator importante a ser analisado na região de estudo. Na Figura 10 é possível visualizar os fatores definidos como importantes na tomada de decisão do melhor local a receber uma instalação fotovoltaica de grande porte.

Figura 10 – Árvore de decisão



As muitas variáveis que influenciam a escolha do local para a instalação de uma planta fotovoltaica mostram que é extremamente complexo decidir sobre um local e, portanto, é necessário recorrer para ferramentas de suporte à decisão.

3.3.4 Ponderação dos fatores determinantes

Posteriormente a escolha dos fatores ocorre a avaliação destes a partir do MCDA, mais especificamente, o método AHP é utilizado para determinar a importância dos diferentes fatores utilizados na tomada de decisão.

Para obter os pesos dos fatores foi construído um questionário com o auxílio de uma ferramenta eletrônica, onde continha 21 questões pareadas dos fatores utilizados no estudo. O envio e preenchimento dos questionários foi feito através de instrumentos construídos na plataforma *Google Docs* e enviados por meio eletrônico para os especialistas na área fotovoltaica, a fim de garantir a agilidade e a redução de custos e investimentos na pesquisa.

Para garantir a consistência da decisão, o método AHP dispõe do recurso que calcula as Razões de Consistência (RC) entre o Índice de Consistência (IC) dos julgamentos e o Índice Randômico (IR).

A ordenação não é realizada através do AHP, não sendo necessários os julgamentos das alternativas (locais) para cada fator, o que provocaria um número elevado de comparações paritárias. Logo, a priorização é simplificada com a integração do método TOPSIS.

3.3.5 Avaliação das potenciais áreas

Nesta fase, são coletados todos os dados necessários para desenvolver o modelo de decisão. No software *gvSIG* foram inseridos estes dados em camadas temáticas que posteriormente nos vários geoprocessos existentes no software, foram inseridos os fatores que influenciam na decisão, obtendo assim uma nova camada com novos atributos gerados em forma de tabela pelos geoprocessos, onde as alternativas se encontram nas linhas e os fatores determinantes nas colunas, que mostrará, de um lado as alternativas a serem avaliadas e, do outro, os valores de cada um dos fatores para cada uma das alternativas.

Em seguida com o banco de dados oriundo do geoprocessos inicia-se o processo de decisão utilizando o método TOPSIS a partir da Calculadora de Campos existente na ferramenta de cálculo do *gvSIG*, na qual calcula-se a proximidade relativa à solução ideal de cada alternativa que será chamado de *Ranking*.

Todo esse processo encontrará a área mais favorável para a instalação de plantas solares fotovoltaicas.

O processo de análise foi realizado utilizando o software de geoprocessamento *gvSIG*, na versão 2.4, com dados reprojitados à projeção Pseudo-Mercator/WGS84 em razão que alguns algoritmos de cálculo funcionam corretamente no plano cartesiano métrico, e também evitar mudanças de fuso que ocorre na projeção UTM-Universal Transversa de Mercator.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

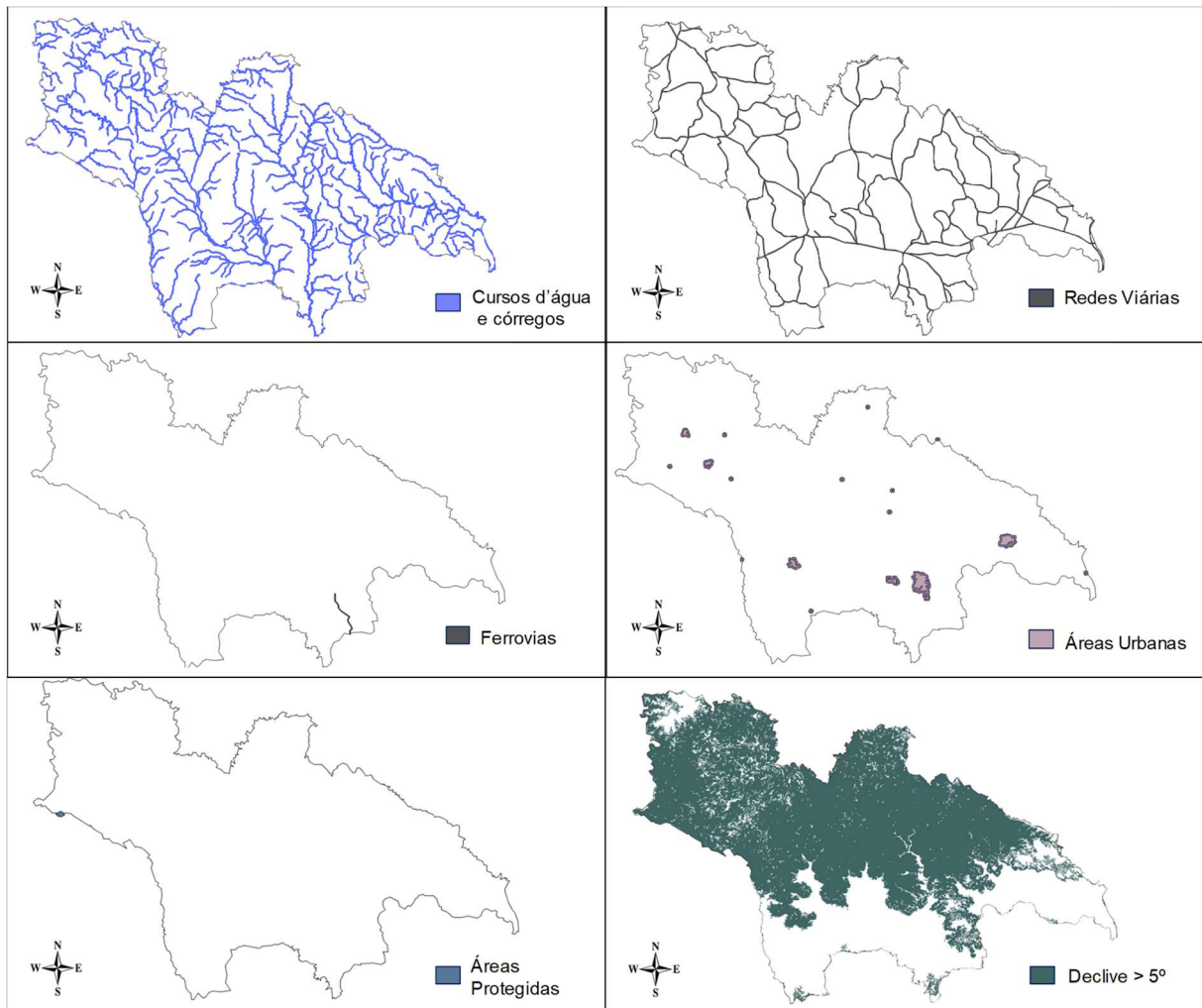
Os Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão, utilizados com apoio de um Sistema de Informações Geográfica mostrou ser em um conjunto de ferramentas complexas, confiáveis e de fácil utilização, que depende de várias etapas e da disponibilidade de dados espaciais confiáveis, pois são essas etapas e a confiabilidade dos dados que vão garantir uma boa análise das áreas aptas a instalação de uma usina fotovoltaica.

Nesse capítulo são apresentados os resultados obtidos durante a realização desta pesquisa, assim como a discussão dos mesmos. Para uma melhor organização do trabalho, os resultados estão divididos em cinco sessões, a Identificação das Alternativas que apresenta os fatores restritivos e os buffers que foram retirados do local de estudo, encontrando as áreas aptas a receber uma instalação fotovoltaica de larga escala estão na Sessão 4.1, em seguida é apresentada a Sessão 4.2 onde ocorre a Identificação dos Fatores Determinantes através de uma revisão sistemática e de uma análise cuidadosa da área de estudo, na Sessão 4.3 acontece a Demonstração dos Fatores Determinantes onde são apresentados cada um dos fatores no seu formato original e a explicação da sua utilização, na sequência a sessão 4.4 apresenta a Ponderação dos Fatores que mostra todos resultados obtidos através dos questionários respondidos pelos especialistas para a atribuição dos pesos a cada um dos fatores, o capítulo é finalizado com a sessão 4.5 onde ocorre a Análise e Classificação das Áreas, esta seção apresenta os resultados que atendem o objetivo geral da pesquisa.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

Para a instalação de uma usina solar de grande porte há vários aspectos restritivos que impedem a instalação deste empreendimento em determinadas áreas. Por isso foi realizado uma pesquisa documental e bibliográfica para identificar estas áreas restritivas, sendo que os dados com representação espacial, coletados para indicar as áreas adequadas, foram obtidos no formato *shapefile*. A seguir tem-se as imagens com as camadas restritivas encontradas e aplicadas no estudo.

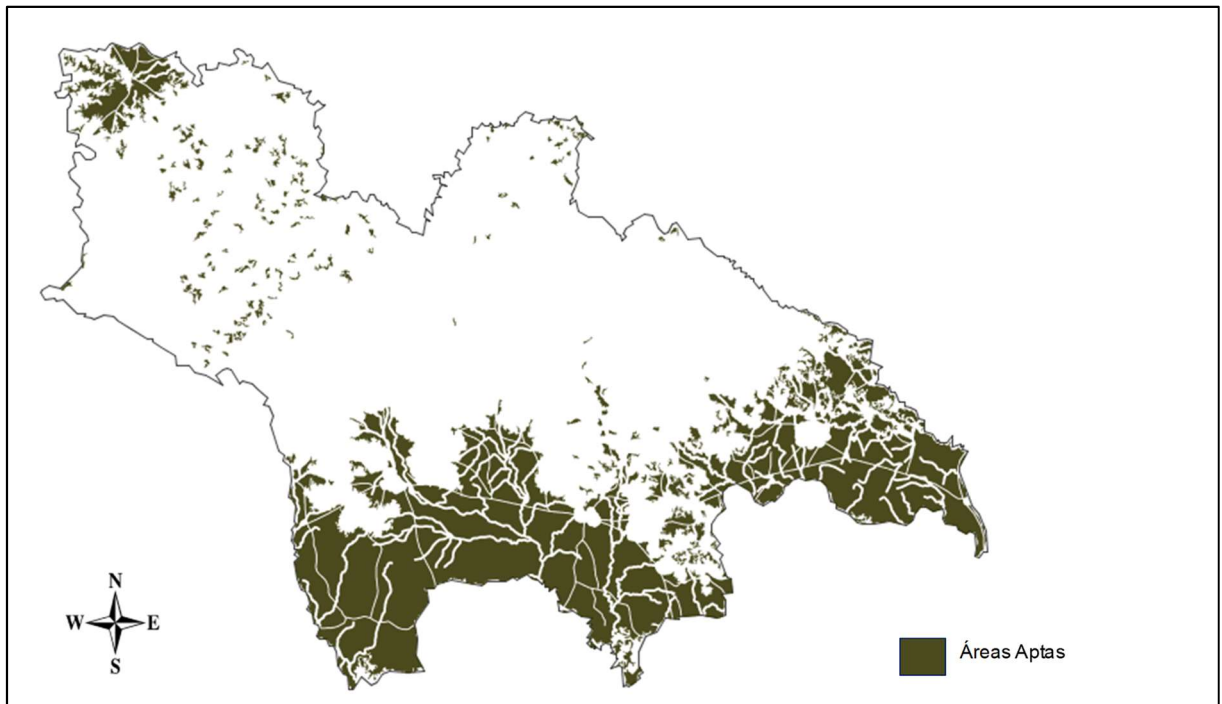
Figura 11 – Áreas Restritivas



Após a coleta das camadas com informações restritivas em formato *shapfile*, elas foram inseridas no software *gvSIG* juntamente com a camada delimitadora da área de estudo, suas projeções foram alteradas, mantendo um padrão, para atender as necessidades dos algoritmos utilizados no *gvSIG*.

As áreas restritivas geradas pelos geoprocessos do *gvSIG* foram excluídas da área de estudo a partir de uma ferramenta do software chamada “diferença”, em seguida foi aplicado um filtro na camada resultante atribuindo a restrição de que as áreas aptas devem ter no mímimo 26 hectares, resultando assim as áreas aptas a instalação da microrregião de Santa Cruz do Sul, conforme a Figura 12.

Figura 12 – Áreas Aptas



Foram identificadas 453 áreas aptas à instalação de uma usina solar de grande porte, ou seja, há 453 alternativas para serem analisadas na microrregião de Santa Cruz do Sul, que totalizam 1823 km².

4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES DETERMINANTES

No momento de escolher o local de instalação de uma usina solar de larga escala é importante associar a escolha a alguns fatores fundamentais que garantam a eficiência do projeto. É importante que a região apresente uma boa irradiação solar, possíveis conexões à rede (de preferência poucos quilômetros de distância da subestação de conexão e no menor nível de tensão possível), além do aval ambiental para a instalação na área (GREENER, 2017). Há diversos aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais que devem ser considerados na identificação destas áreas adequadas para a construção de plantas solares (ALY; JENSEN; PEDERSEN, 2017; CASTILLO; SILVA; LAVALLE, 2016). Os fatores elencados devem ser analisados simultaneamente para que a melhor decisão seja tomada (AZADEH; GHADERI; MAGHSOUDI, 2008). Por exemplo, uma área pode apresentar altos índices de irradiação, mas a área pode possuir alto valor de biodiversidade, e portanto,

não se torna adequada para execução de projetos de usinas fotovoltaicas (SUURONEN et al., 2017).

Com o objetivo de identificar quais são os fatores determinantes na escolha do melhor local para projetos de instalações de geração de energia fotovoltaica de larga escala os autores (REDISKE et al., 2018) realizaram uma revisão sistemática para identificar estes fatores. Na realização do estudo foram identificados 28 fatores que podem ser levados em consideração no momento de escolha do melhor local, sendo que destes 28 fatores, 6 são foram identificados como determinantes na tomada de decisão. Contata-se com esses resultados que no momento de realizar um projeto fotovoltaico, na etapa de escolha do local, seja decisivo a tomada de decisão ótima que sejam avaliados os fatores locais de irradiação solar, distância das linhas de transmissão, declive, distância das estradas, distância das áreas urbanas e uso do solo. Rediske et al., (2018) destaca que esse resultado não significa que os demais fatores não tenham importância, que cabe ao agente responsável pela análise identificar junto aos fatores elencados os que lhe são mais importantes na sua tomada de decisão. Usar ou não um fator para análise da escolha do local pode ser relacionado as peculiaridades de cada país ou região. Porém é indicado usar os fatores determinantes, podendo adicionar demais fatores que considerarem importantes conforme sua região, pois cada local apresenta cultura socioambiental, clima, orografia, política e economia diferentes.

Sendo assim, neste estudo foram usados estes fatores determinantes, sendo apenas substituído o fator distância das linhas de transmissão por distância das subestações, pois como se objetiva encontrar potenciais locais para implantação de projetos solares de larga escala é necessária a conexão primeiramente a uma subestação, não podendo ser ligada diretamente nas linhas. Como o cenário de estudo é de uma região com ampla área agrícola, além dos fatores determinantes foi estabelecido a utilização do fator capacidade agrológica. Com isso neste estudo foram utilizados os seguintes fatores: Capacidade Agrológica, Uso do Solo, Distância das Subestações, Distância das Áreas Urbanas. Estes fatores foram classificados em quatro pontos de vista: Ambiental (A), Localização (B), Clima (C), Geomorfológico (D) conforme será explicado a seguir.

4.2.1 Ambiental (A)

As plantas de energia fotovoltaicas podem ser consideradas desejáveis, porém em algum momento elas podem produzir efeitos adversos para a sociedade ou o meio ambiente (SÁNCHEZ-LOZANO et al., 2013). A seguir são descritos os fatores ambientais considerados no estudo:

- a) Capacidade Agrológica (A1): As condições da terra devem ser ponderadas no momento da escolha, como uma usina solar ocupa grandes áreas (WU et al., 2014). Portanto o subcritério Capacidade Agrológica que reflete a produtividade da terra será considerado neste estudo, onde quanto melhor a capacidade da terra, pior será considerado o local para a instalação. Pois a adequação da terra para o desenvolvimento agrícola consiste em a área apresentar boa capacidade agrológica, e por isso não é um território ideal a hospedar uma usina (SÁNCHEZ-LOZANO; GARCÍA-CASCALES; LAMATA, 2016). Sendo assim, é recomendável assegurar que a terra selecionada possua baixa capacidade de produção agrícola (SINDHU; NEHRA; LUTHRA, 2017).
- b) Uso da Terra (A2): consiste na utilização da terra no momento, para Uyan, (2017) é um dos fatores mais importantes no local de seleção de estudos de plantas de energia solar. Para a instalação de usinas solares de larga escala é necessária a utilização de uma grande extensão de terra. Porém, é preciso ter um cuidado como uso da terra, pois terrenos utilizados para fins agrícolas não são recomendados para usinas de energia solar (UYAN, 2017). Pois se a terra dos agricultores for tomada, será necessário o pagamento referente a devida compensação aos proprietários ou a mesma área de terra deve ser fornecida a eles em alguma outra região (SINDHU; NEHRA; LUTHRA, 2017).

4.2.2 Localização (B)

É muito importante fazer uma avaliação correta do local da instalação, pois isso influenciará fortemente a viabilidade ou não do investimento (REZAEI et al., 2018; UYAN, 2017). Os fatores associados ao ponto de vista localização são discutidos a seguir.

- a) Distância das Subestações (B1): Os autores Yang; Gao, (2010) recomendam a realização de usinas solares próximas a subestações. Também é necessário observar se estas subestações próximas possuem capacidade de receber a energia gerada da usina, garantindo que não seja preciso a construções de novas subestações. Pois os custos de construção de subestações são elevados (AZEVEDO; CANDEIAS; TIBA, 2017).
- b) Distância das Estradas Principais (B2): É desejável que as usinas de energia solar estejam próximas as estradas para reduzir os custos de transporte (SÁNCHEZ-LOZANO et al., 2013; UYAN, 2017). Acesso de veículos à planta solar é crucial para fins de construção e manutenção (ALY; JENSEN; PEDERSEN, 2017). O fator Distância das Estradas Principais demonstra se a área apresenta boa estrutura, quanto mais próximo das estradas for a instalação da usina melhor. Evitando assim o custo adicional da construção rodoviária e seus danos associados ao meio ambiente.
- c) Distância das Áreas Urbanas (B3): Outro aspecto favorável é a eletricidade gerada perto de grandes cidades (ALY; JENSEN; PEDERSEN, 2017). Uma curta distância entre o fornecimento e a demanda reduz o congestionamento na rede de transmissão, reduz perdas de energia e minimiza o custo de transmissão através da necessidade de longas e dispendiosas linhas de transmissão. Logo a Distância das Áreas Urbanas é um fator importante a ser analisado.

4.2.3 Clima (C)

Considerando que a energia solar é de natureza intermitente, estudar o clima do local é muito importante para conhecer suas características ao longo do ano. Por exemplo, o Rio Grande do Sul apresenta em média 6 horas de sol claro diário (TIBA ET AL., 2000). Mas devemos considerar que essa é uma média do estado, e que ocorre grandes variações no seu território. O clima é um dos fatores mais importantes para avaliar a energia solar sem dúvida, pois influenciam diretamente o benefício da operação do sistema (WU et al., 2014).

- a) Irradiação Solar (C1): A Irradiação Solar corresponde a quantidade de energia solar que uma superfície do solo recebe ao longo de um período de tempo (dia). Muitos estudos evidenciam a radiação como o parâmetro mais

importante na indicação de áreas potenciais para a instalação de usina solar (AZEVEDO; CANDEIAS; TIBA, 2017; SABO et al., 2017; SULTAN; KUZNETSOV; DIAB, 2018). Para que as instalações de energia solar em larga escala sejam economicamente viáveis, eles devem ser construídos em áreas que recebem irradiação solar significativa (ALY; JENSEN; PEDERSEN, 2017).

4.2.4 Geomorfológico (D)

O último critério, mas não menos importante define as características geomorfológicas da localização.

- a) Declive (D1): A morfologia da terra pode limitar a capacidade do hospedeiro, de modo que áreas com inclinação alta devem ser evitadas (SÁNCHEZ-LOZANO et al., 2013). A declividade é um dos fatores altamente efetivos na seleção do site de usinas de energia solar. O terreno plano é essencial para fazendas fotovoltaicas de grande escala (AL GARNI; AWASTHI, 2017). O declive da área determina a aceitabilidade do local de acordo com o seu impacto no custo do projeto relacionado a preparação e planificação do terreno (SABO et al., 2017). Pois essa área precisa ser a mais plana possível, mas com inclinação suficiente para permitir a drenagem natural do solo (AZEVEDO; CANDEIAS; TIBA, 2017). Áreas planas ou encostas íngremes suaves ajudarão a evitar o alto custo de construção exigido em áreas de alta inclinação.

As muitas variáveis que influenciam a escolha do local para a instalação de uma planta fotovoltaica mostram que é extremamente complexo decidir sobre um local e, portanto, é necessário recorrer para ferramentas de suporte à decisão

4.3 DEMONSTRAÇÃO DOS FATORES DETERMINANTES

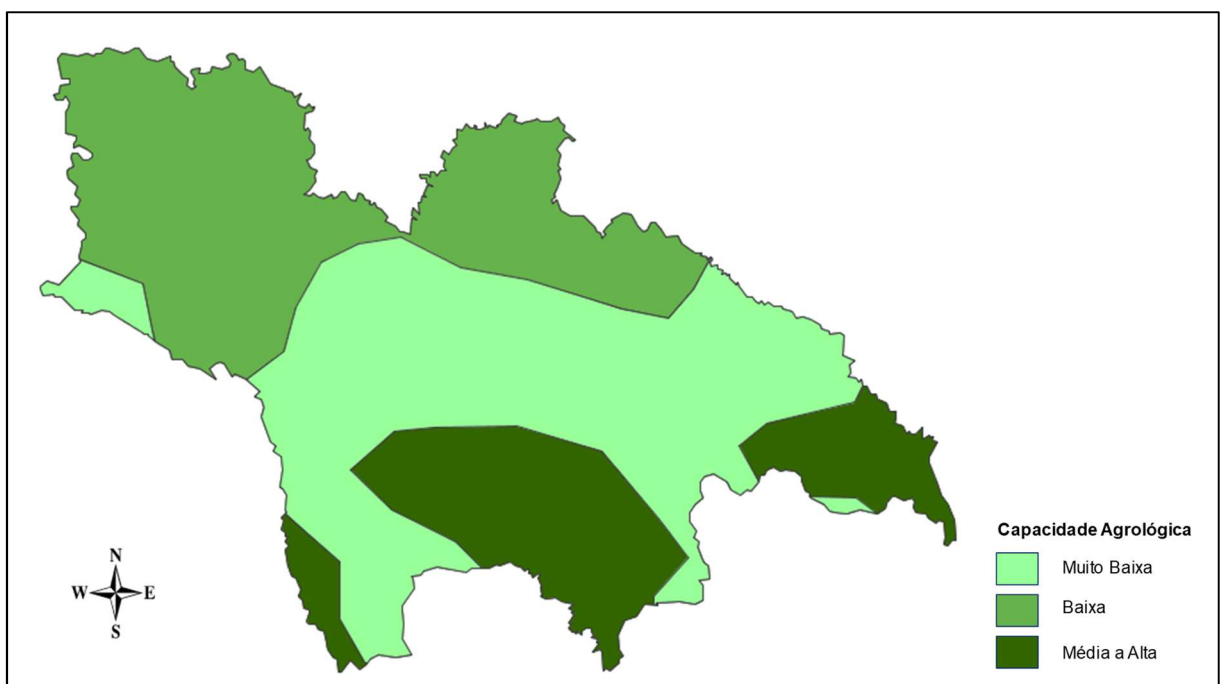
Nesta etapa, as alternativas já foram disponibilizadas após análise realizada no *gvSIG*. Para a escolha das melhores alternativas serão analisados os fatores: Capacidade Agrológica; Uso do Solo; Distância das Subestações; Distância das Estradas; Distância das Áreas Urbanas; Irradiação Solar; Declividade.

4.3.1 Capacidade Agrológica

A camada que representa o fator Capacidade Agrológica foi obtida a partir do mapa do potencial de produção do solo brasileiro que foi desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2005. Foi realizado um recorte da área de estudo e utilizada a informação do índice de fertilidade do solo.

O mapa do potencial de produção do solo brasileiro classifica a fertilidade do solo em cinco classes (Muito baixa; Baixa; Média; Média a alta; Alta). A área de estudo é composta por três destas classes (Muito baixa; Baixa e Média a alta), conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 – Capacidade Agrológica



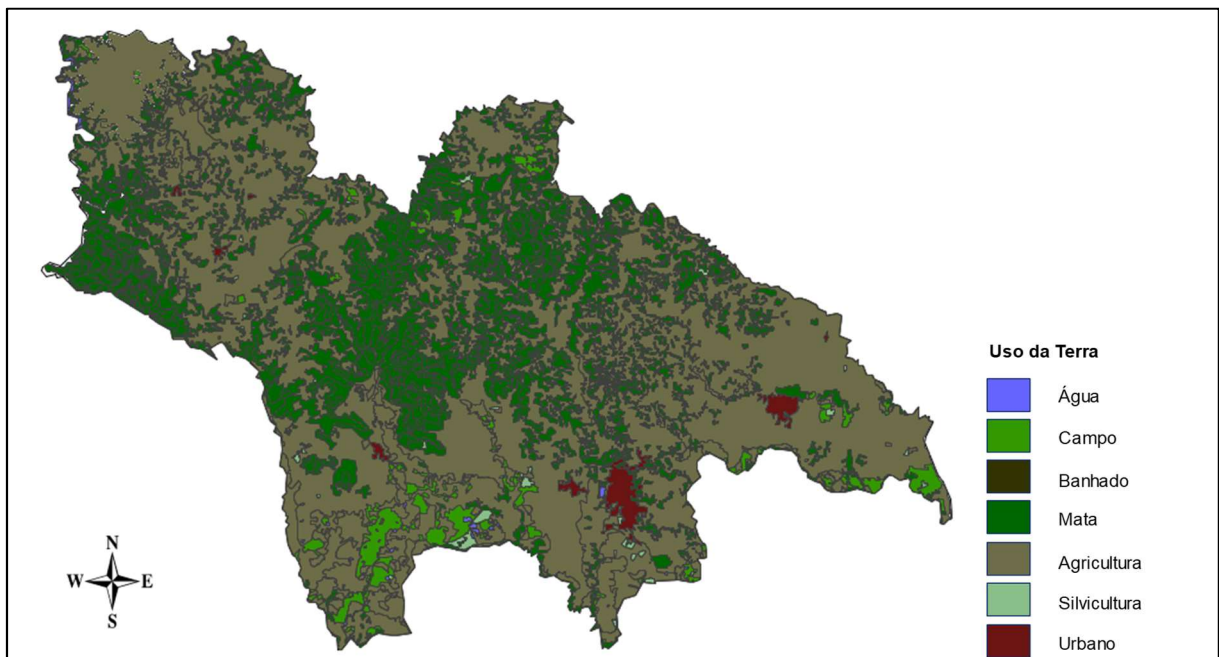
Para a realização das análises utilizando a calculadora do *gvSIG* é necessário que todas as informações contidas na tabela de atributos sejam em valores numéricos. Para hospedar uma usina solar é preferível que a área apresente baixa fertilidade, sendo assim as classes foram substituídas por valores (Muito baixa = 5; Baixa = 4; Média = 3; Média a alta = 2; Alta = 1).

4.3.2 Uso do Solo

A camada que representa o fator Uso do Solo foi obtida a partir do mapa que contém os dados de uso e cobertura do solo do RS que foi desenvolvido no ano 2009 pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Foi realizado um recorte da área de estudo e utilizada a informação do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE).

O mapa com os dados de uso e cobertura do solo do RS classifica o zoneamento do solo em 10 tipos (Afloramento Rochoso; Agricultura; Água; Areia; Banhado; Campo; Mata; Mineração; Silvicultura; Urbano). A área de estudo é composta por sete destas classes (Agricultura; Água; Banhado; Campo; Mata; Silvicultura; Urbano), conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 – Uso do Solo

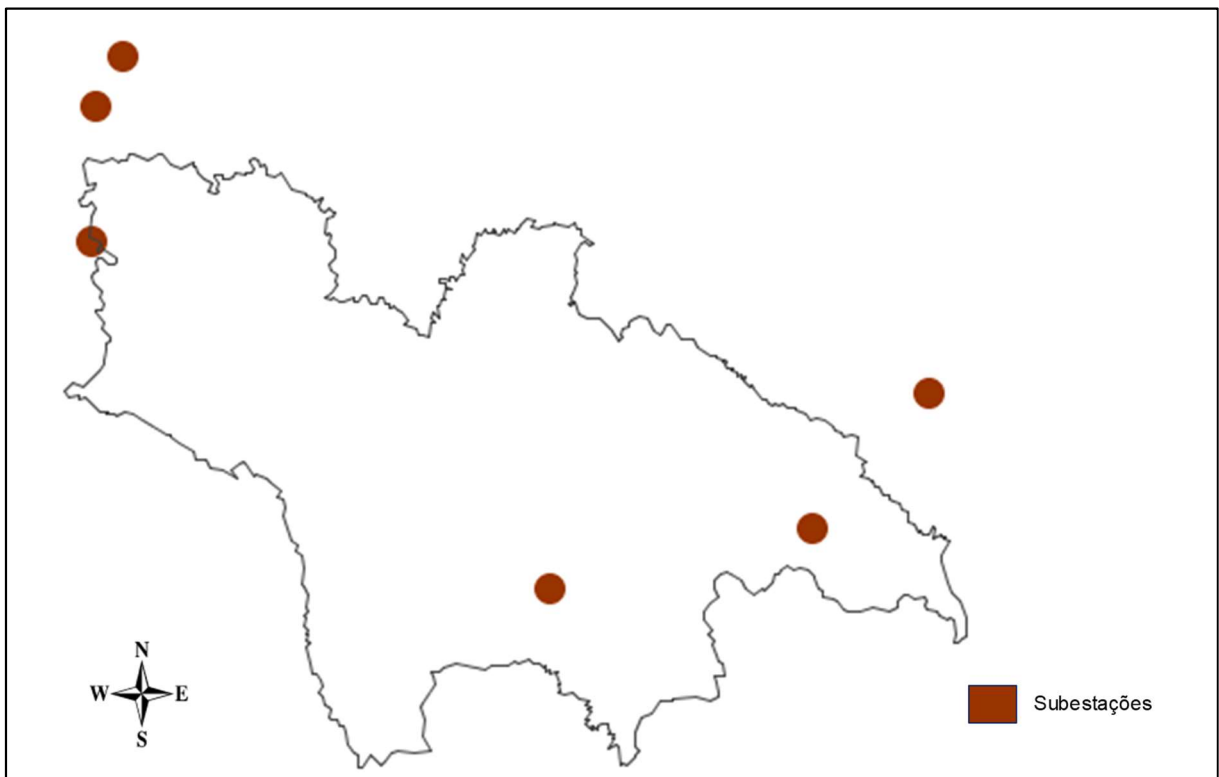


Para receber uma usina solar de grande porte uns tipos de solo são mais apropriados do que outros, com o auxílio de um especialista da área da agronomia e um especialista da área fotovoltaica foi possível substituir os tipos de uso do solo por valores numéricos que classificam os tipos do pior ao melhor para receber uma usina solar, (Urbano =1; Silvicultura = 2; Agricultura = 3; Mata = 4; Banhado = 5; Campo =6; Mineração = 7; Água = 8; Afloramento Rochoso = 9; Areia =10).

4.3.3 Distância das Subestações

A camada que representa o fator Distância das Subestações foi obtida através do mapa que contém os dados de todas as subestações do estado do Rio Grande do Sul que foi desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Foram utilizadas todas as subestações com capacidade de receber uma usina solar de 30 MW de potência que se encontram próximas a área de estudo, conforme Figura 15.

Figura 15 – Subestações



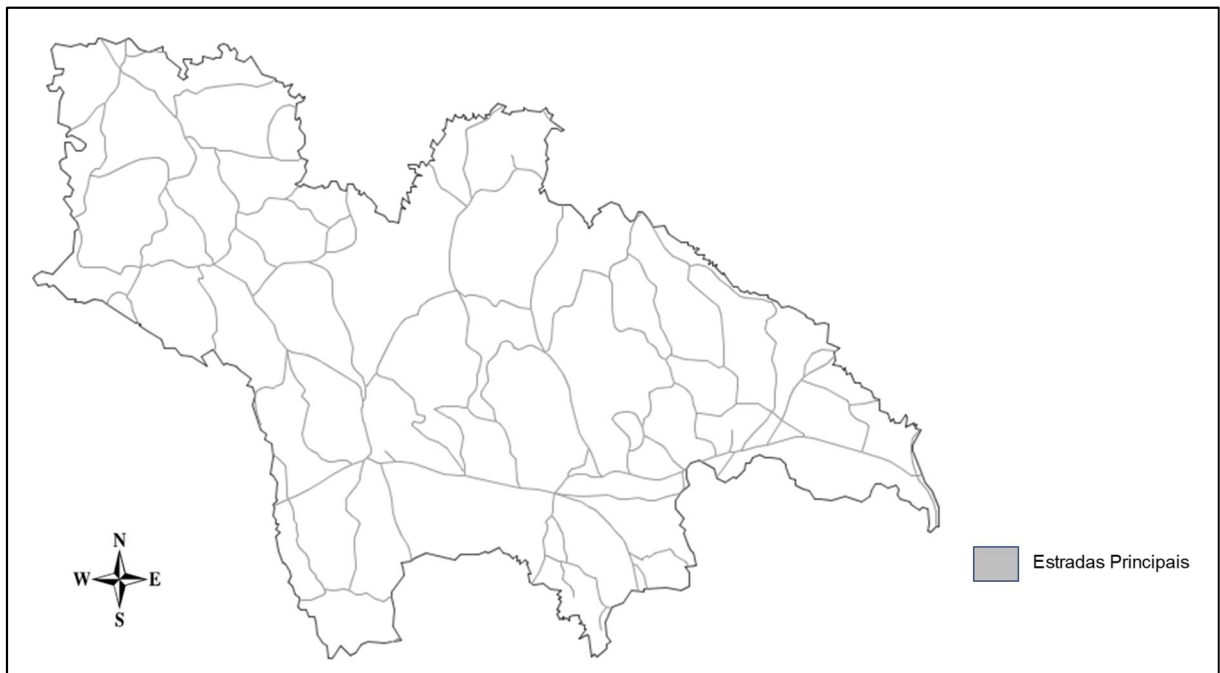
Com a camada das alternativas e a camada das subestações com capacidade foi possível a partir de uma ferramenta do software “distância para a geometria mais próxima” encontrar a distância da subestação mais próxima para cada uma das alternativas.

4.3.4 Distância das Estradas

A camada que representa o fator Distância das Estradas foi obtida a partir do mapa que contém os dados de todas as rodovias do estado do Rio Grande do Sul que

foi desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Foi realizado um recorte da área de estudo e utilizada a informação das rodovias, conforme pode ser visualizada na Figura 16.

Figura 16 – Estradas Principais

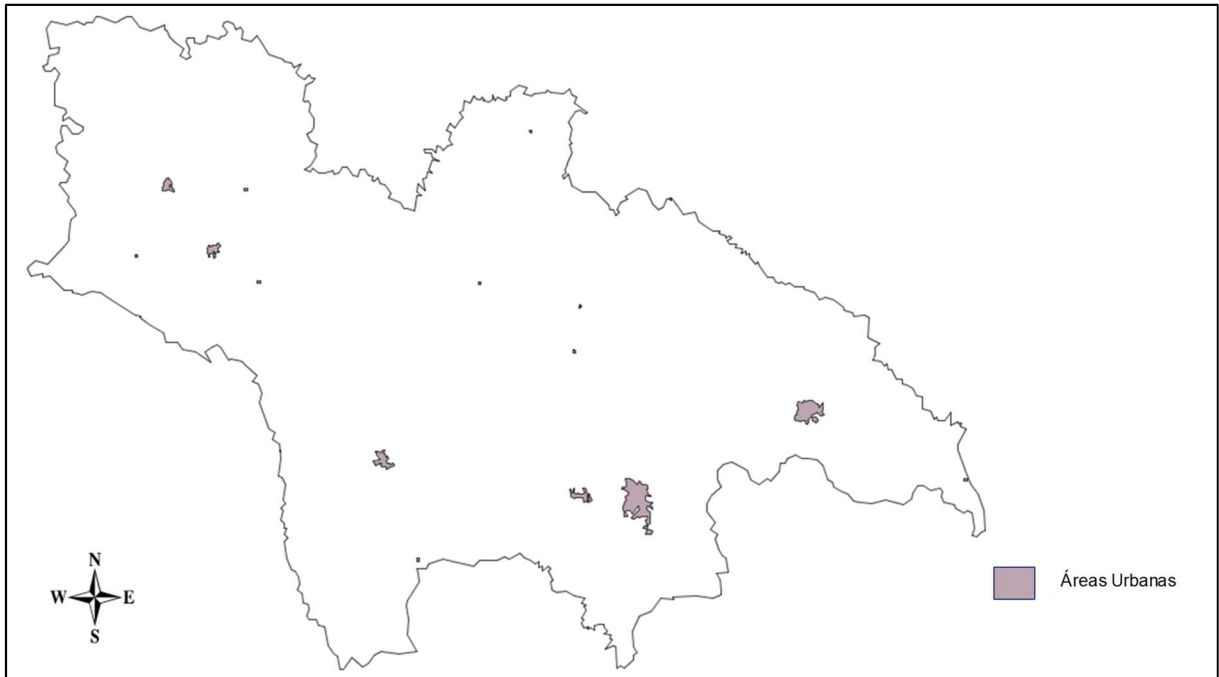


Com a camada das alternativas (Figura 12) e a camada das rodovias (Figura 16) foi possível a partir da ferramenta “distância para a geometria mais próxima” encontrar a distância da estrada mais próxima para cada uma das alternativas.

4.3.5 Distância das Áreas Urbanas

A camada que representa o fator Distância das Áreas Urbanas foi obtida a partir do mapa que contém os dados de todos os centros urbanos do estado do Rio Grande do Sul que foi desenvolvido pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM. Foi realizado um recorte da área de estudo e utilizada a informação das áreas urbanas, conforme pode ser visualizada na Figura 17.

Figura 17 – Áreas Urbanas

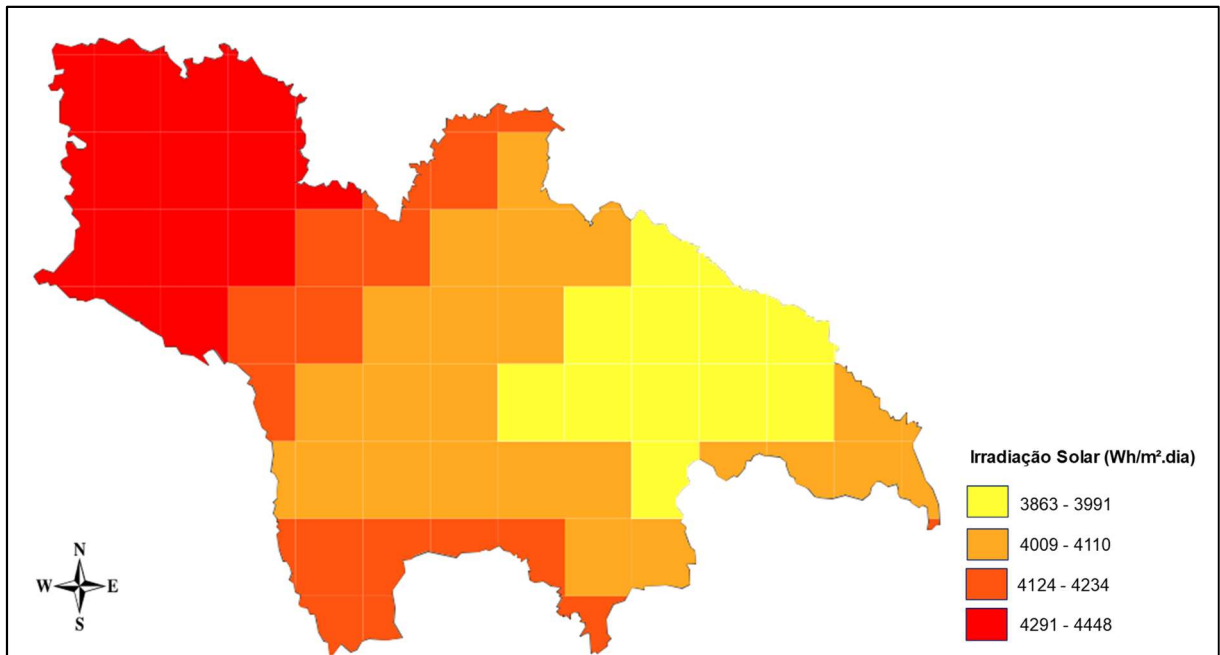


Com a camada das alternativas (Figura 11) e a camada das áreas urbanas (Figura 17) foi possível a partir da ferramenta “distância para a geometria mais próxima” encontrar a distância da área urbana mais próxima para cada uma das alternativas.

4.3.6 Irradiação Solar

A camada que representa o fator Irradiação Solar foi obtida por meio da base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição, que apresenta as médias anuais e mensais da irradiação solar direta normal em $\text{Wh/m}^2.\text{dia}$ para o Brasil. Este banco de dados foi desenvolvido pelo Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia / Centro de Ciência do Sistema Terrestre / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Foi realizado um recorte da área de estudo e utilizada a informação das médias anuais da irradiação solar direta normal em $\text{Wh/m}^2.\text{dia}$, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 – Irradiação Solar



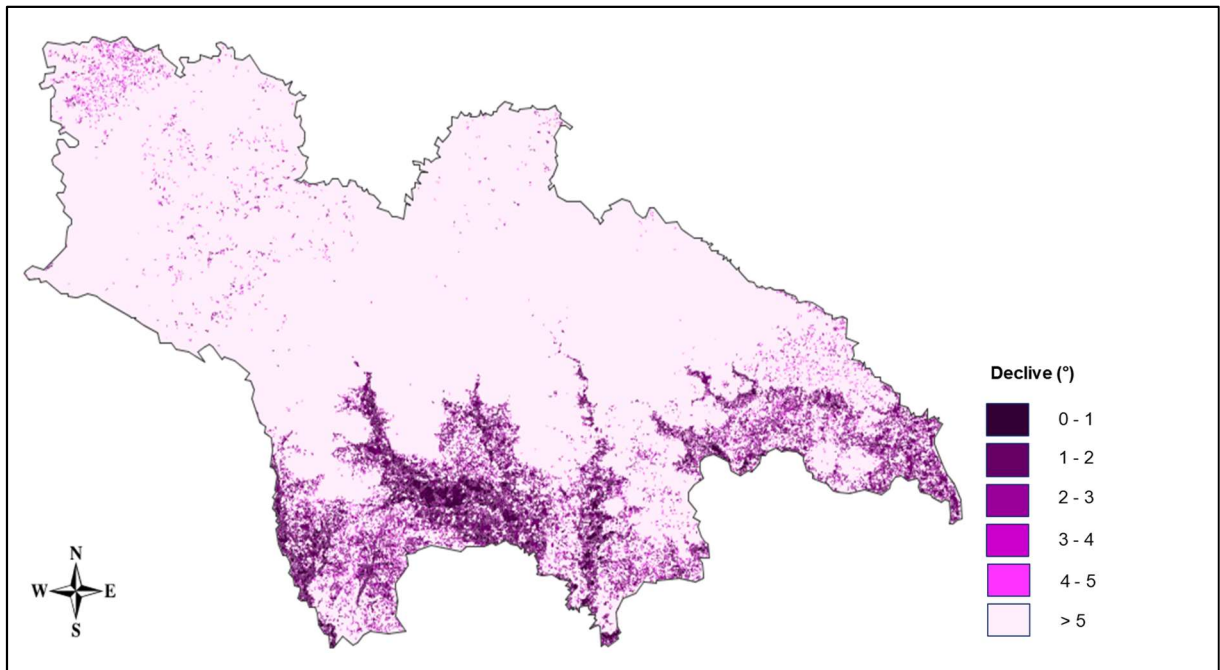
Na escolha do melhor local para hospedar uma usina de geração de energia através da luz solar, o fator Irradiação Solar se mostra relevante na tomada de decisão, sendo que quanto maior a irradiação solar que o local recebe, maior será sua geração.

4.3.7 Declive

A camada que representa o fator Declive do relevo foi obtida por meio do banco de dados geomorfométricos do Brasil. Este banco de dados foi desenvolvido pelo projeto Topodata que oferece um Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional.

Os dados estão todos estruturados em quadrículas compatíveis com a articulação 1:250.000, portanto, em folhas de 1° de latitude por 1,5° de longitude. A microrregião de Santa Cruz do Sul se encontra nos quadrículos 29s54 e 29s525. Primeiro foi realizada a junção dos quadrículos, em seguida foi realizado um recorte da área de estudo e utilizada as informações de declividade do relevo, conforme mostra a Figura 19.

Figura 19 – Declive



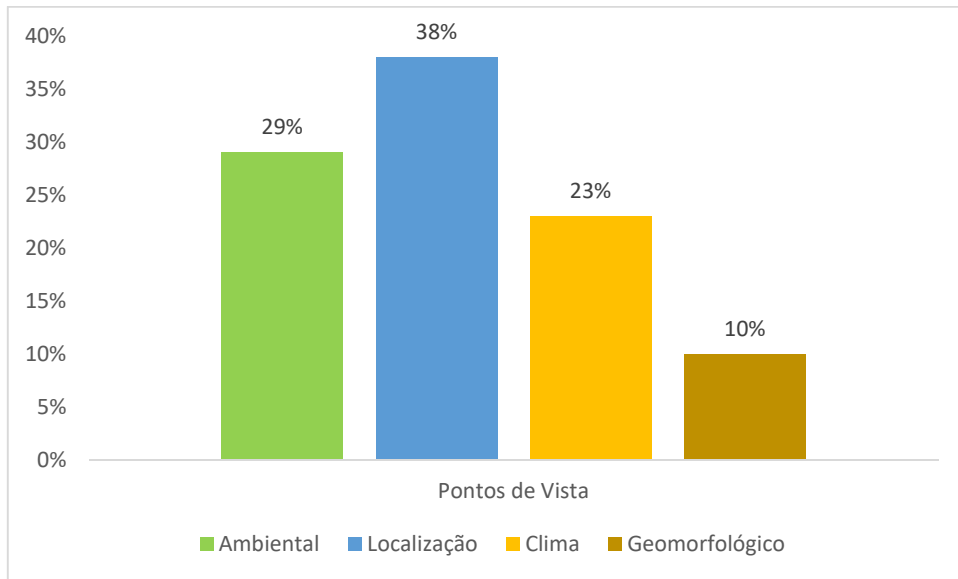
Os dados referentes a declividade são definidos como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal. Na utilização do fator declive para a tomada de decisão as áreas que apresentam menor declividade são consideradas mais interessantes.

4.4 PONDERAÇÃO DOS FATORES DETERMINANTES

Na determinação dos pesos dos fatores determinantes foi realizada uma comparação pareada, na qual sete especialistas da área contribuíram com a pesquisa respondendo o questionário que resultou no preenchimento de uma matriz de comparação que engloba os fatores de capacidade agrológica, uso da terra, distância das subestações, distância das estradas, distância das áreas urbanas, irradiação solar e declive conforme proposto no estudo. Ou seja, a análise é composta por sete fatores de decisão, consequentemente $IR=1,32$ apresentando um $RC = 0,23$.

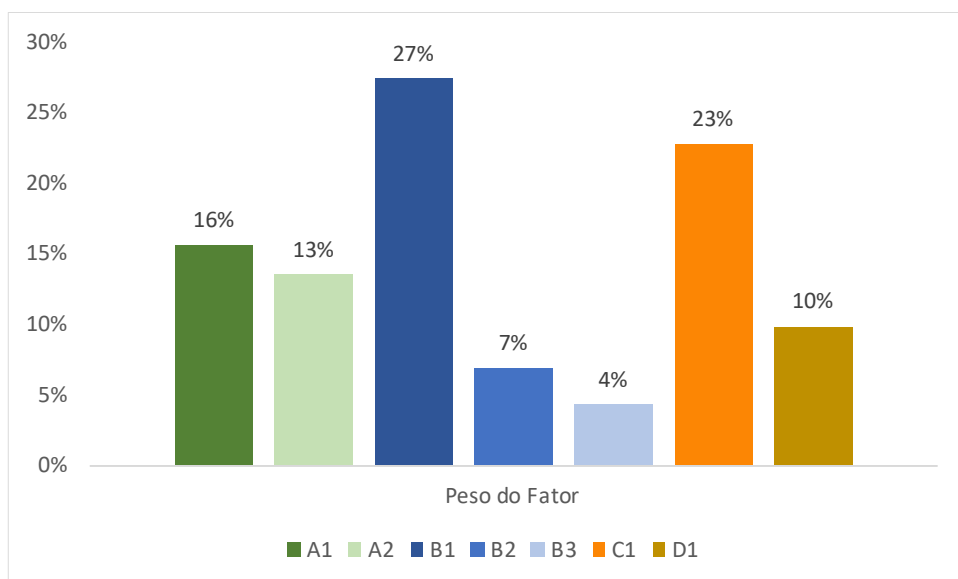
O preenchimento da matriz de comparação por pares ocorreu individualmente a partir das respostas de cada especialista, após o preenchimento da matriz foram calculados os pesos de cada especialista separadamente, e em seguida foi calculado a média destes pesos para utilização na análise das áreas. Os pesos resultantes da ponderação AHP podem se visualizadas na Figura 20.

Figura 20 – Peso dos pontos de vista



Pode-se observar que o ponto de vista Localização foi considerado mais importante, que se evidencia por conter o fator distância das subestações, um fator extremamente econômico, pois a proximidade com as subestações gera grande economia na construção de linhas até o acesso a subestação. Na Figura 21 é possível visualizar mais claramente a importância de cada um dos fatores em relação aos demais.

Figura 21 – Peso dos fatores determinantes



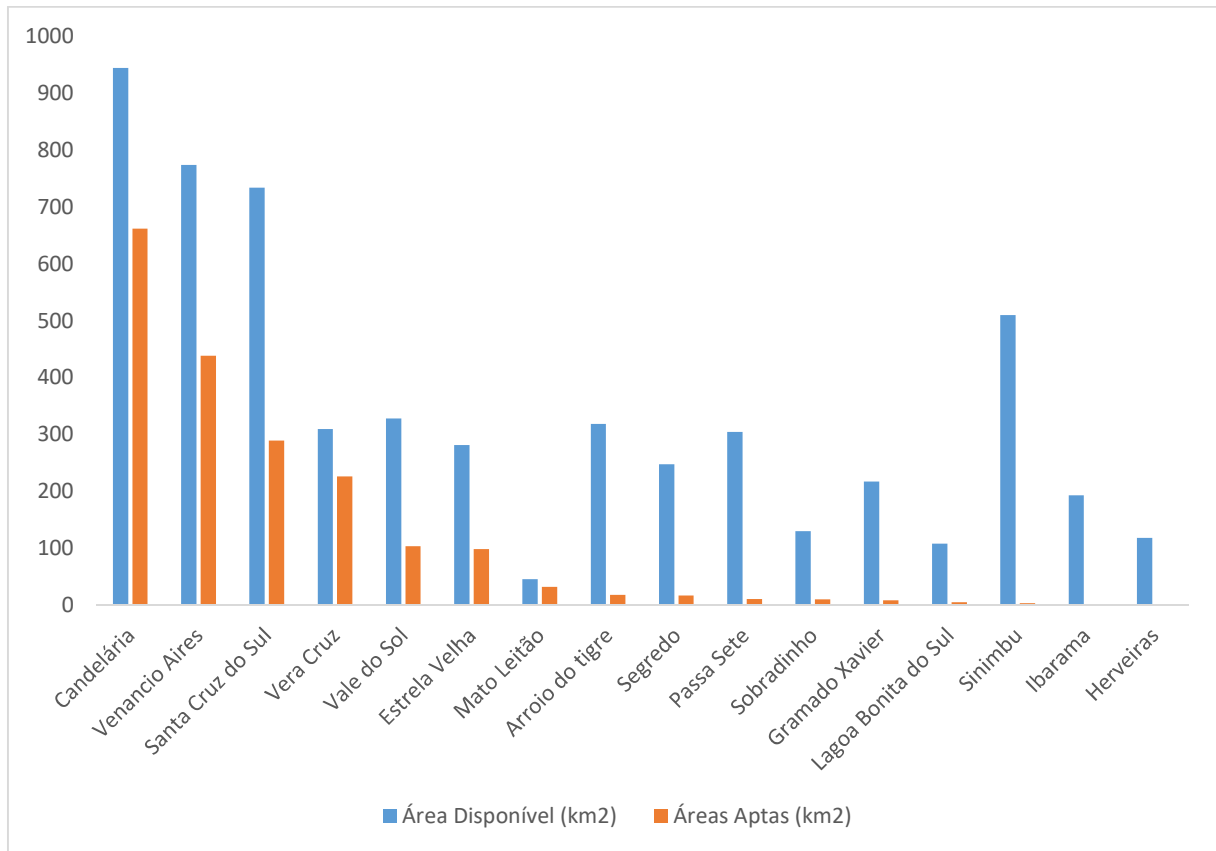
O fator distância das subestações apresentou maior importância, seguido do fator irradiação solar, fator que determina a capacidade de geração do local. Em ordem subsequente de importância aparecem os fatores capacidade agrológica e uso da terra, por ser uma região com predominância agrícola, são terras com valores elevados, sua capacidade de produção e o seu uso interferem diretamente no custo do terreno. Em seguida aparece o fator declive, pois inclinações leves são importantes para evitar gastos com preparação do terreno. Seguindo a ordem de importância elencada pelos pesos aparecem os fatores distância das estradas e distância das áreas urbanas, responsáveis por representar a infraestrutura e disponibilidade de mão de obra do local.

4.5 ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS

A capacidade de analisar e representar inúmeras informações sobre o espaço geográfico permitem que o SIG seja uma ferramenta valiosa para o planejamento de projetos de geração de energias. Neste estudo foi utilizado no *gvSIG* na versão 2.4 para realizar análises de informações geográficas para arquivos vetoriais (pontos, linhas ou polígonos) e arquivos no formato raster (pixels). O software de versão livre foi utilizado em todas etapas do estudo, sendo principalmente usado para sobrepor as camadas utilizadas criando mapas compostos para gerar informações capazes de auxiliar no processo de tomada de decisão.

Na primeira etapa do estudo foram identificadas as áreas aptas a receber uma instalação fotovoltaica de grande porte, resultando em 1823,35 km². O cenário de estudo é composto por 16 municípios, na Figura 22 é possível visualizar as áreas disponíveis e aptas de cada município.

Figura 22 – Observação por município



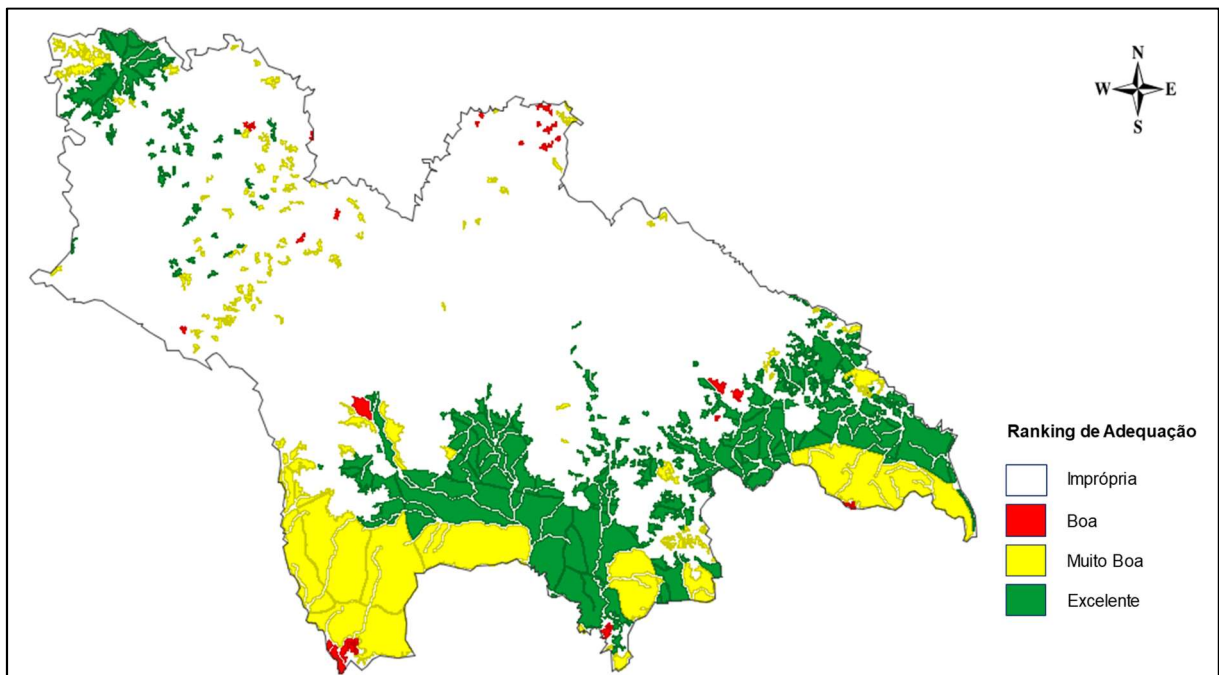
O município de Candelária se destaca apresentando um elevado número de áreas aptas, dos 943,72 km² de área disponível, 661,86 km² são aptos a receber uma usina solar, ou seja 70% da área do município se encontra em posição adequada para hospedar um empreendimento solar de grande porte. Em seguida aparece o município de Venâncio Aires que possui uma área disponível de 773,31 km², sendo 438,59 km² aptas, logo 57% da área do município se encontra apta. Posteriormente, surge o município de Santa Cruz do Sul que possui 733,39 km² de área disponível, do qual 289,12 km² estão aptos, que equivale a 39% da área do município. Já o município vizinho, apresenta uma proporção elevada de áreas aptas, o município de Vera Cruz possui 309,63 km² de área disponível, do qual 226,6 km² são aptas, ou seja 73% da área do município são próprias para receber uma usina solar de grande porte.

A maioria dos municípios que apresentam baixa proporção de áreas aptas se encontram na região Centro-Serra, como os municípios de Ibarama (1%), Passa Sete (4%), Lagoa Bonita do Sul (5%), Arroio do Tigre (6%), Segredo (7%), Sobradinho (8%) e Estrela Velha (35%). Visto que quanto mais ao norte da Microrregião as terras se encontram, menor o índice de área próprias para receber uma instalação fotovoltaica,

pois quanto mais ao norte as terras apresentam maior índice de relevos montanhosos, que impossibilitam a instalação de tais empreendimentos.

Após a identificação das áreas aptas (alternativas), a ponderação dos fatores a partir dos especialistas, e coleta das camadas dos fatores, todas essas informações foram inseridas no mesmo projeto dentro software *gvSIG*, obtendo assim uma nova camada que mostrará, de um lado as alternativas a serem avaliadas e, do outro, os valores de cada um dos fatores para cada uma das alternativas. Assim o *gvSIG* fornece uma tabela, chamada tabela de atributos, onde as alternativas se encontram nas linhas e os fatores nas colunas. Por meio desta tabela gerada é possível aplicar o método TOPSIS utilizando a ferramenta de cálculo do *gvSIG*, chamada “Calculadora de Campos”, onde foi calculado a proximidade relativa à solução ideal para cada uma das 453 alternativas. Deste modo foi possível através destas informações em conjunto com a ferramenta de cálculos aplicar todo método TOPSIS dentro do software, gerando um *ranking* da melhor a pior área a receber uma usina solar de grande porte. Após a obtenção deste ranking foi realizada uma classificação das áreas conforme Figura 23.

Figura 23 – Classificação de Adequação



Através do ranqueamento das alternativas foi possível classificar as áreas representando sua capacidade em 4 categorias: imprópria, boa, muito boa e

excelente. As áreas designadas como boas, muito boas e excelentes representam as alternativas que apresentaram valores de 0,15 a 0,55 para as áreas boas; 0,56 a 0,8 para as áreas muito boas; 0,81 a 0,96 para áreas excelentes. Enquanto as áreas designadas como impróprias representam as áreas que apresentam restrições, que já haviam sido retiradas do estudo na etapa anterior.

Analisando esta classificação é possível identificar o quanto a definição dos fatores e seus pesos interferem no resultado final, pois podemos observar que o fator distância das subestações foi extremamente decisivo no resultado final, isso ocorre por duas razões, uma porque o fator recebeu um peso alto, ou seja, foi considerado como um fator muito relevante a ser considerado no momento da escolha do melhor local para receber uma usina solar fotovoltaica de grande porte, outra razão decorre do fato de haver poucas subestações na região, fazendo com que as alternativas apresentem distâncias bastante diferentes umas das outras, havendo uma grande discrepância entre as alternativas.

As três alternativas que se encontram no topo da lista das melhores áreas para receber uma instalação fotovoltaica de grande porte estão localizadas no município de Venâncio Aires. A alternativa que ficou no topo da lista possui sua localização próxima da subestação de Venâncio Aires (3214m), próxima a área urbana do município (1328m), próxima a estrada (533m), apresenta baixa capacidade agrológica, sendo uma área coberta por mata, e apresentando um índice não muito elevado de irradiação solar (3968 Wh/m² dia), e baixa declividade (2,5°). É possível observar que a parte sul da Microrregião de Santa Cruz do Sul possui o maior potencial para desenvolvimento de projetos solares. Além da distribuição geográfica das áreas adequadas, este estudo também mostrou que as áreas que apresentam maior potencial de geração se encontram nos municípios de Venâncio Aires, Vera Cruz e Santa Cruz do Sul.

5 CONCLUSÕES

A geração de energia a partir da fonte solar pode contribuir para a obtenção de um futuro sustentável, seguro e com baixas emissões de carbono. Esta pesquisa apresentou uma abordagem original do desenvolvimento de uma modelagem que engloba a integração SIG-MCDA para identificar potenciais locais para implantação de projetos de usinas solares de larga escala. Como etapa inicial da instalação de usinas de energia fotovoltaica, a identificação de locais adequados pode economizar muito tempo e dinheiro para os engenheiros e pode promover futuros desenvolvimentos de infraestrutura.

A combinação do SIG com os métodos do MCDA consiste em uma técnica altamente útil para lidar sistematicamente com dados de informações geográficas, bem como estabelecer a importância dos fatores para a introdução dos melhores locais para hospedar usinas de energia solar. Além disso, ao incorporar fatores determinantes associados ao processo de tomada de decisão, podemos oferecer melhores resultados, tornando o projeto de energia solar economicamente e tecnicamente mais viável.

A geração de energia a partir de fontes renováveis segue como uma tendência para muitos países, principalmente no Brasil que apresenta riqueza em diversas fontes, uma delas a fonte solar. A região sul do país apresenta áreas com altos valores de declividade, sendo considerado um problema para a instalação de usinas solares, motivando o estudo na busca de potenciais áreas para instalação.

A elaboração de projetos de usinas solares de larga escala envolve um elevado investimento inicial, por isso a identificação de um local apropriado para a instalação é considerada um dos passos mais importantes no desenvolvimento deste setor. Vários fatores técnico-econômicos foram usados para identificar os locais mais adequados para hospedar instalações de energia solar na Microrregião de Santa Cruz do Sul. Aparentemente, com base em uma revisão bibliográfica, existem evidências de que este seja o primeiro estudo a avaliar a adequação do local para instalações de energia solar em grande escala usando a abordagem SIG-MCDA combinada no sul do Brasil.

Na modelagem aplicada na Microrregião de Santa Cruz do Sul foi possível identificar que 67,23% desta região é imprópria para receber instalações fotovoltaicas deste porte, ou seja, grande parte da região não possui áreas adequadas, conforme

já havia sido previsto, principalmente pelos elevados valores de declividade desta região. Das áreas aptas a receber uma instalação deste porte foi analisado a partir dos fatores com seus respectivos pesos de importância quais as potenciais áreas, onde 54,56% são consideradas como excelentes para receber projetos com estas especificidades. O maior potencial para sistemas fotovoltaicos é observado para os locais na parte sul da Microrregião de Santa Cruz do Sul, na qual as maiores parcelas dessas áreas se encontram nos municípios de Venâncio Aires, Vera Cruz e Santa Cruz do Sul.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho relatou o cenário da geração de energia a partir da fonte solar no Brasil, centralizando o estudo na geração por meio de usinas de grande porte, sendo assim atendendo o primeiro objetivo específico do trabalho, descrever o cenário da energia fotovoltaica no Brasil, dando ênfase a geração centralizada. Posteriormente, foi realizada uma busca na literatura para identificar as ferramentas apropriadas na solução do problema exposto, identificando a combinação de Sistemas de Informação Geográfica com Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão, seguindo o segundo objetivo, definir as ferramentas a serem utilizadas na construção da modelagem.

A seguir foi realizado uma análise documental e bibliográfica visando identificar as restrições existentes na implementação de um projeto de usina solar, coletando as camadas restritivas e as excluindo do cenário analisado, acatando assim o terceiro objetivo proposto, identificar os fatores restritivos que permitem reduzir a área de estudo descartando as áreas que impedem a implantação de plantas de energia renovável.

Em seguida foi realizada uma busca nas bases de periódicos da capes, visando identificar os fatores determinantes na escolha do local ideal para hospedar uma usina solar de grande porte, após o levantamento dos fatores, estes foram validados por especialistas da área. Em seguida estes fatores escolhidos foram ponderados utilizando a metodologia AHP, com a contribuição de sete especialistas da área fotovoltaica. Desta forma, foram alcançados o quarto e o quinto objetivos específicos, identificar os fatores que mais influenciam a capacidade de escolha de um local

adequado, ponderar os fatores identificados conforme sua relevância na tomada de decisão.

Com todas as camadas coletadas e tratadas, estas foram inseridas em um novo projeto dentro do *gvSIG*, no qual foi criada uma tabela de atributos, onde nas linhas se encontram as alternativas, e nas colunas os fatores, sendo possível a avaliação das áreas utilizando o método TOPSIS, que resultou em um ranking das potenciais áreas par instalação de uma usina solar de grande porte, contemplando assim o ultimo objetivo proposto, testar a modelagem proposta encontrando as potenciais áreas para instalação de uma planta solar.

A realização de cada uma das etapas da pesquisa levou ao desenvolvimento de uma modelagem capaz de identificar os melhores locais para hospedar projetos de usinas solares de larga escala, atendendo ao objetivo principal proposto pela pesquisa e respondendo ao problema de pesquisa que originou esse trabalho.

Assim, atendidos os objetivos do trabalho, pode-se concluir que a modelagem pode ser utilizada para identificar locais ideais par instalação de projetos solares de larga escala em qualquer área do território brasileiro, sendo uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão pelas empresas e investidores que tem interesse em investir em projetos de geração de energia através da fonte solar, pois a localização do empreendimento é um aspecto primordial na viabilidade econômica do projeto.

5.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

As principais limitações desta pesquisa se referem ao fato da dificuldade de acesso e da inexistência de alguns dados relevantes ao estudo. Como no caso dos dados restritivos, pois seria importante retirar do estudo as áreas habitadas, ou seja, que apresentam moradias. Essa informação daria maior precisão ao estudo, pois são consideradas áreas impróprias para a instalação de um empreendimento de grande porte, mas ainda não existe um banco de dados no formato *shapefile* que contenha todas estas informações. Somente foi possível encontrar os dados das áreas urbanas de cada município, mas existem muitas moradias que se encontram fora da área urbana, moradias que se localizam nos interiores do município, que possuem renda proveniente da agropecuária e agricultura, que além das casas possuem empreendimentos dentro de propriedades onde executam suas atividades.

Outro aspecto limitante do trabalho foi o fato do sistema utilizado nas análises apresentar limitações no processamento dos dados. Como as camadas utilizadas no estudo possuem um elevado número de informações, ao utilizarmos uma área muito grande o sistema não foi capaz de realizar as análises necessárias, sendo assim não foi possível realizar a análise em uma área maior.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente estudo ainda apresenta pontos que podem ser aprofundados e ampliados em estudos futuros. Entre estes, destaca-se a possibilidade de realizar este estudo agregando mais fatores para a tomada de decisão, nesta aplicação foram considerados sete fatores, mas podem ser inseridos outros fatores caso for considerado necessário, fatores como temperatura, velocidade do vento, dentre outros. Pois a importância da utilização de um fator depende muito da região de análise.

As linhas de pesquisa futuras incluem a análise de extensões maiores de território e o estudo de outras tecnologias de energia renovável (parques eólicos, termoelétricas solares, biomassa, etc.), podendo ser utilizada a mesma metodologia, somente alterando os fatores utilizados na tomada de decisão. Assim como existe a possibilidade de utilizar a modelagem proposta tomando a decisão com base em outros métodos multicritérios, abordagens MCDA têm sido usadas para fornecer suporte à decisão em vários problemas na área de energias renováveis, a escolha do método depende do resultado que se deseja obter.

5.4 PUBLICAÇÕES

Até o presente momento houve a publicação de dois artigos, o primeiro de um artigo titulado “Utilização do gvSIG para Identificação de Áreas Adequadas para Instalação de Usinas Fotovoltaicas” foi apresentado no evento “VII Jornada Brasileira de gvSIG” em agosto de 2018. E o segundo titulado “Determinant factors in site selection for photovoltaic projects: A systematic review” foi publicado na revista “International Journal of Energy Reserch” em novembro de 2018.

REFERÊNCIAS

ACOLET, T. **Modelo de análise de crédito fundamentado no ELECTRE TRI**. 2008. Faculdades Ibmec, [s. l.], 2008.

AKKAS, O. P. et al. Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in the Central Anatolian Region of Turkey. **International Journal of Photoenergy**, [s. l.], v. 1, p. 13, 2017. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/ijp/2017/7452715/citations/>>

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, p. 1225–1240, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85030871111&doi=10.1016%2Fj.apenergy.2017.10.024&partnerID=40&md5=d58c6a939ba851411e80e12984b6ec1c>>

ALLIL, R. C. et al. Solar tracker development based on a POF bundle and Fresnel lens applied to environment illumination and microalgae cultivation. **Solar Energy**, [s. l.], v. 174, p. 648–659, 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18309551>>

ALMEIDA, R. R. G. De et al. Proposição de uma metodologia para análise de viabilidade econômica de uma usina fotovoltaica. **Revista Principia**, [s. l.], n. 34, p. 9, 2016. Disponível em: <<http://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/viewFile/1355/665>>

ALY, A.; JENSEN, S. S.; PEDERSEN, A. B. Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 113, p. 159–175, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117304718>>

AMARO, G. D.; JUNIOR, F. R. L. Aplicação do método fuzzy-TOPSIS no apoio à seleção de fornecedores “verdes”. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE - ENGEMA 2015, **Anais...** [s.l: s.n.] Disponível em: <<http://engemausp.submissao.com.br/17/anais/arquivos/83.pdf>>

ANDRADE, E. de L. Redescobrimo os SIG com software livre. **Revista FOSSGIS**, [s. l.], v. 1, p. 19–23, 2011. Disponível em: <http://www.fernandoquadro.com.br/fossGIS/Revista_FOSSGIS_Brasil_Ed_01_Marco2011.pdf>

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>.

AZADEH, A.; GHADERI, S. F.; MAGHSOUDI, A. Location optimization of solar plants by an integrated hierarchical DEA PCA approach. **Energy Policy**, [s. l.], v. 36, n. 10, p. 3993–4004, 2008. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-51549117054&doi=10.1016%2Fj.enpol.2008.05.034&partnerID=40&md5=a6d29aebf6da1029bf320afe80329962>>

AZEVEDO, V. W. B.; CANDEIAS, A. L. B.; TIBA, C. Location Study of Solar Thermal Power Plant in the State of Pernambuco Using Geoprocessing Technologies and Multiple-Criteria Analysis. **ENERGIES**, [s. l.], v. 10, n. 7, 2017.

AZEVÊDO, V. W. B.; CANDEIAS, L. B.; TIBA, C. Location study of solar thermal power plant in the state of Pernambuco using geoprocessing technologies and Multiple-Criteria analysis. **Energies**, [s. l.], v. 10, n. 7, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85044330735&doi=10.3390%2Fen10071042&partnerID=40&md5=87dc798a270b765b399cb7321b2cb20f>>

BAPTISTA, R. **Projeto flexibiliza limite de faixas não-edificáveis em rodovias e ferrovias**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2015/07/08/projeto-flexibiliza-limite-de-faixas-nao-edificaveis-em-rodovias-e-ferrovias/tablet>>.

BAUER, J. R. **Assessing the Robustness of Web Feature Services Necessary to Satisfy the Requirements of Coastal Management Applications**. 2012. University of Wisconsin Sea Grant Institute, [s. l.], 2012. Disponível em: <file:///D:/Users/USER/Downloads/BauerJennifer2012.pdf>

BAYRAK, F. et al. A review on exergy analysis of solar electricity production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 74, p. 755–770, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117303283>>

BRASIL. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências 1979. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6766.htm>

BRASIL. **Das Regras Gerais de Comercialização de Energia Elétrica**. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm>.

BRITO, M. C.; SILVA, J. A. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade. **O Instalador**, [s. l.], p. 7, 2006. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf>>

CAMARGO, F. **Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas**. Brasília. Disponível em: <https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/15_6_2015_wwf_energ_solar_fin_al_web_3.pdf>.

CASTILLO, C. P.; E SILVA, F. B.; LAVALLE, C. An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28. **Energy Policy**, [s. l.], v. 88, p. 86–99, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421515301324>>

CHOUDHARY, D.; SHANKAR, R. An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India. **Energy**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 510–521, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544212002010>>

COSTA, R. F. P. Da. **Utilização de Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão como Ferramenta de Suporte numa Empresa de Serviços Energéticos**. 2012. Instituto Superior de Engenharia do Porto, [s. l.], 2012. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/47137853.pdf>>

COSTA, K. E. **Otimização Econômica de redes de distribuição de água em ambiente SIG**. 2010. Universidade Federal de Goiás, [s. l.], 2010. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/606?locale=pt_BR>

DE SOUZA, L. E. V.; CAVALCANTE, A. M. G. Towards a sociology of energy and globalization: Interconnectedness, capital, and knowledge in the Brazilian solar photovoltaic industry. **Energy Research & Social Science**, [s. l.], v. 21, p. 145–154, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629616301797>>

DELEON, L. et al. Use of a geographic information system to produce pest monitoring maps for south Texas cotton and sorghum land managers. **Crop Protection**, [s. l.], v. 101, p. 50–57, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219417302090>>

DOLJAK, D.; STANOJEVIĆ, G. Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia. **Energy**, [s. l.], v. 127, p. 291–300, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85016519541&doi=10.1016%2Fj.energy.2017.03.140&partnerID=40&md5=9c79a938fb9e543bf028d1c62e4fe647>>

ECHEGARAY, F. Understanding stakeholders' views and support for solar energy in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 63, p. 125–133, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613000668>>

ELETRÔNICA, A.-A. B. da I. E. e. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>.

EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/Solar/Solar_COGEN/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>.

EPE. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ecovolts.net.br/downloads/DEA_19.pdf>.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). **Demanda de Energia 2050**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/DEA_13-15_Demanda_de_Energia_2050.pdf>.

FERNANDEZ-JIMENEZ, L. A. et al. Site selection for new PV power plants based on their observability. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 78, p. 7–15, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811400901X>>

FERREIRA, A. et al. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 81, p. 181–191, 2018.

GARNI, H. Z. Al; 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, p. 1225–1240, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191731437X>>

GEHLING, R. **Alternativas à Matriz Energética Brasileira: O caso do Biodiesel**. 2007. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, [s. l.], 2007. Disponível em: <<http://tcc.bu.ufsc.br/Economia293458.pdf>>

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. 4ª Edição ed. São Paulo.

GONÇALVES, R. W. **Métodos multicritérios como apoio à decisão em comitês de bacias hidrográficas**. 2001. Universidade de Fortaleza, [s. l.], 2001. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp024674.pdf>>

GREENER. **Como as usinas fotovoltaicas estão se desenvolvendo no Brasil?** 2017. Disponível em: <<http://www.greener.com.br/como-usinas-fotovoltaicas-estao-se-desenvolvendo-no-brasil>>.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. do V. **Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação**. Jaguariúna. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_67.pdf>.

HUANG, J. Combining entropy weight and TOPSIS method for information system selection. In: IEEE CONFERENCE ON CYBERNETICS AND INTELLIGENT SYSTEMS 2008, **Anais...** : IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, 2008. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4670971/authors#authors>>

HWANG, C.-L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making**. Berlin.

IRENA - INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable capacity statistics 2017**. Abu Dhabi. Disponível em: <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2017.pdf>.

IRENA (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY). **REthinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation**. Abu Dhabi. Disponível em: <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_REthinking_Energy_2017.pdf>.

IZADI YAZDANABADI, M. et al. A Geographic Information System-based site selection experience for the construction of a geomagnetic observatory in Kerman Province, Iran. **Geophysical Prospecting**, [s. l.], v. 65, n. S1, p. 237–245, [s.d.]. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1365-2478.12568>>

- JUNIOR, J. U. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes De Distribuição Urbanas: Sua Influência Na Qualidade Da Energia Elétrica E Análise Dos Parâmetros Que Possam Afetar a Conectividade**. 2010. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2010. Disponível em: <http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_Jair_Urbanetz_Junior.pdf>
- KHALID, A.; JUNAIDI, H. Study of economic viability of photovoltaic electric power for Quetta - Pakistan. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 50, p. 253–258, 2013. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.084864081831&doi=10.1016%2Fj.renene.2012.06.040&partnerID=40&md5=196711bbd5af65c08353aa12690c7cc9>>
- KROHLING, R. A.; SOUZA, T. T. M. De. Dois Exemplos da Aplicação da Técnica TOPSIS para Tomada de Decisão. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, [s. l.], n. 8, p. 31–35, 2011. Disponível em: <http://www.fsma.edu.br/si/edicao8/FSMA_SI_2011_2_Principal_1.pdf>
- KUMAR, K. A.; SUNDARESWARAN, K.; VENKATESWARAN, P. R. Performance study on a grid connected 20kW solar photovoltaic installation in an industry in Tiruchirappalli (India). **Energy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 23, p. 294–304, 2014. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.084911126123&doi=10.1016%2Fj.esd.2014.10.002&partnerID=40&md5=2ebffd8fb9dd67815980c6517e496633>>
- LACERDA, D. P. et al. Algumas Caracterizações dos Métodos Científicos em Engenharia de Produção: Uma Análise de Periódicos Nacionais e Internacionais. In: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO-ENEGEP 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu
- LEE, A. H. I. et al. An Integrated Decision-Making Model for the Location of a PV Solar Plant. **Sustainability**, [s. l.], v. 7, n. 10, p. 13522–13541, 2015. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/7/10/13522>>
- LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. Comparação entre os métodos Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores. **Gestão & Produção**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 17–34, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v22n1/0104-530X-gp-22-01-00017.pdf>>
- MAPPING, G. E. **GIS Services**. 2017. Disponível em: <<http://www.gembc.ca>>.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica**. São Paulo.
- MARTINS, D. M. de F. **Investimento em Energia Solar Fotovoltaica: uma análise dos seus determinantes para uma amostra alargada de países**. 2017. Faculdade de Economia da Universidade do Porto, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://www.google.com.br/search?q=Investimento+em+Energia+Solar+Fotovoltaica%3A+uma+análise+dos+seus+determinantes+para+uma+amostra+alargada+de+países&rlz=1C1GCEA_enBR825BR825&oq=Investimento+em+Energia+Solar+Fotovoltaica%3A+uma+análise+dos+seus+determin>

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2ª edição ed. Rio de Janeiro.

MORALES, A. **ArcGIS, gvSIG o QGIS?** 2017. Disponível em: <<https://mappinggis.com/2013/05/arcgis-gvsig-o-quantum-gis-no-elijas/>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

MOSADEGHI, R. et al. Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. **Computers, Environment and Urban Systems**, [s. l.], v. 49, p. 54–65, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971514001100>>

NAKABAYASHI, R. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. Universidade de São Paulo, [s. l.], 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-26012015-141237/en.php>>

NASCIMENTO, C. A. Do. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. 2004. Universidade Federal de Lavras, [s. l.], 2004. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf>

NOOROLLAHI, E. et al. Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)—A Case Study of Iran. **Energies**, [s. l.], v. 9, n. 8, 2016. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1996-1073/9/8/643>>

OZTAYSI, B. A decision model for information technology selection using AHP integrated TOPSIS-Grey: The case of content management systems. **Knowledge-Based Systems**, [s. l.], v. 70, p. 44–54, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950705114000598>>

PARIDA, B.; INIYAN, S.; GOIC, R. A review of solar photovoltaic technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 1625–1636, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110004016>>

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <file:///D:/Users/USER/Desktop/brazil_solar_atlas_R1.pdf>.

PEREIRA, M. G. et al. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 3786–3802, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112002079>>

PEREIRA, O. L. S.; GONÇALVES, F. F. Dimensionamento de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica: Estudo de Caso do Sistema de Tubarão- SC. **Revista Brasileira de Energia**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 25–45, 2008.

PERPIÑA CASTILLO, C.; E SILVA, F.; LAVALLE, C. An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28. **Energy Policy**, [s. l.], v. 88, p. 86–99, 2016. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84949579787&doi=10.1016%2Fj.enpol.2015.10.004&partnerID=40&md5=7398d9cac695bd04e04560c163c4f59a>>

PETROLEUM, B. **Statistical Review of World Energy 2018**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>>.

PORTAL SOLAR. **Usina Solar**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>>.

PORTAL SOLAR. **Produção de energia solar fotovoltaica pode dobrar em 2018**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/producao-de-energia-solar-fotovoltaica-pode-dobrar-em-2018.html>>.

REDISKE, G. et al. Determinant factors in site selection for photovoltaic projects: A systematic review. **International Journal of Energy Research**, [s. l.], v. 0, n. 0, [s.d.]. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.4321>>

REOLON, C. A. **Geotecnologias à cartografia temática:gvSIG**. Marechal Cândido Rondon. Disponível em: <http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/Disciplinas/GeotecnologiaAplicada/Geo_gvSIG.pdf>.

REZAEI, M. et al. Investigation of the optimal location design of a hybrid wind-solar plant: A case study. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 43, n. 1, p. 100–114, 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319917342222>>

RUSCHEL, C. S. **Desenvolvimento de Software para Supervisão de Usinas Solares Fotovoltaicas**. 2015. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s. l.], 2015. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/116607/000966687.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo, 1991.

SABO, M. L. et al. Spatial matching of large-scale grid-connected photovoltaic power generation with utility demand in Peninsular Malaysia. **Applied Energy**, [s. l.], v. 191, p. 663–688, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85012016552&doi=10.1016%2Fj.apenergy.2017.01.087&partnerID=40&md5=81bb65a3569e45df5e84160251f5132f>>

SÁNCHEZ-LOZANO, J. M. et al. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria 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, p. 544–556, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113001780>>

SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; LAMATA, M. T. Evaluation of suitable locations for the installation of solar thermoelectric power plants. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 87, p. 343–355, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036083521500251X>>

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, p. 387–398, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616302463>>

SCHMIDT, A. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão – Abordagens: AHP e MACBETH**. 1995. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, [s. l.], 1995. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/157951/PEPS0434-D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

SINDHU, S.; NEHRA, V.; LUTHRA, S. Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, [s. l.], v. 73, p. 496–511, 2017.

SPERB, R. C. et al. Utilização de software livre para análise geoespacial – estudo de caso: seleção de área para instalação de aterro sanitário. **Geosul**, [s. l.], v. 25, n. 49, p. 159–177, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/viewFile/2177-5230.2010v25n49p159/14073>>

SULTAN, H. M.; KUZNETSOV, O. N.; DIAB, A. A. Z. Site Selection of Large-Scale Grid-Connected Solar PV System in Egypt. In: ONFERENCE OF RUSSIAN YOUNG RESEARCHERS IN ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING 2018, **Anais...** : IEEE, 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore-ieee.org.ez47.periodicos.capes.gov.br/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8317214>>

SUURONEN, A. et al. Optimization of photovoltaic solar power plant locations in northern Chile. **Environmental Earth Sciences**, [s. l.], v. 76, n. 24, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85038124751&doi=10.1007%2Fs12665-017-7170-z&partnerID=40&md5=f6e4f56db50d2562b3d40420d6839b11>>

TAHRI, M.; HAKDAOUI, M.; MAANAN, M. The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 51, p. 1354–1362, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115007017>>

TESKE, S. **Revolução Energética: A caminho do desenvolvimento limpo**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/archive-brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticadeslimpo.PDF>>.

TIBA ET AL., C. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_solarimetrico_do_brasil_2000.pdf>.

TURNEY, D.; FTHENAKIS, V. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 15, n. 6, p. 3261–3270, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111001675>>

UYAN, M. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 28, p. 11–17, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113004875>>

- UYAN, M. Optimal site selection for solar power plants using multi-criteria evaluation: A case study from the Ayranci region in Karaman, Turkey. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [s. l.], v. 19, n. 9, p. 2231–2244, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10098-017-1405-2>>
- VAF AEIPOUR, M. et al. Assessment of regions priority for implementation of solar projects in Iran: New application of a hybrid multi-criteria decision making approach. **Energy Conversion and Management**, [s. l.], v. 86, p. 653–663, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890414005020>>
- VIANA, S. F. A. C. **Modelação de Micro-Sistemas Híbridos Fotovoltaicos/Eólicos para Produção Descentralizada. Tese**. 2010. Universidade Técnica de Lisboa, [s. l.], 2010. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/70657866.pdf>>
- VOIVONTAS, D. et al. Evaluation of Renewable Energy potential using a GIS decision support system. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 333–344, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148198000068>>
- WALLENIOUS, J. et al. Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: Recent Accomplishments and What Lies Ahead. **Management Science**, [s. l.], v. 54, n. 7, p. 1336–1349, 2008. Disponível em: <<https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.1070.0838>>
- WOLLMANN, C. A. Enchentes no Rio Grande do Sul do Século XXI. **Mercator**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 79–91, 2014. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/html/2736/273630615007/>>
- WU, Y. et al. Decision framework of solar thermal power plant site selection based on linguistic Choquet operator. **Applied Energy**, [s. l.], v. 136, p. 303–311, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914009805>>
- WWDR. **Water and Energy**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002257/225741E.pdf>>.
- XIAO, J. et al. 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, p. 23132, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1063/1.4801451>>
- XU, J. et al. GIS-modelling based coal-fired power plant site identification and selection. **Applied Energy**, [s. l.], v. 159, p. 520–539, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915010788>>
- YANG, Z.; GAO, S. On Selecting the Locations of 60MW Grid-Connected Photovoltaic Power Plant. In: SYMPOSIUM ON PHOTONICS AND OPTOELECTRONICS 2010, **Anais...** : IEEE, 2010.

YEO, I.-A.; YEE, J.-J. A proposal for a site location planning model of environmentally friendly urban energy supply plants using an environment and energy geographical information system (E-GIS) database (DB) and an artificial neural network (ANN). **Applied Energy**, [s. l.], v. 119, p. 99–117, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913010696>>

YOUSEFI, H.; HAFEZNIA, H.; YOUSEFI-SAHZABI, A. Spatial Site Selection for Solar Power Plants Using a GIS-Based Boolean-Fuzzy Logic Model: A Case Study of Markazi Province, Iran. **Energies**, [s. l.], v. 11, n. 7, 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1996-1073/11/7/1648>>

APÊNDICE A – PESQUISA BIBLIOMÉTRICA

Ano	Título	Periódico	Autoria	Objetivo
2013	GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey	Renewable and Sustainable Energy Reviews	(UYAN, 2013)	Determinar a seleção local adequado para usinas solares, usando SIG e AHP na região de Ayranci, na Turquia.
2013	Research on an optimal site selection model for desert photovoltaic power plants based on analytic hierarchy process and geographic information system	Journal of Renewables and Sustainable Energy	(XIAO et al., 2013)	Estabelecer um ótimo modelo de seleção de locais para usinas de energia fotovoltaica no deserto usando um processo de hierarquia analítica e tecnologia de SIG.
2013	Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain	Renewable and Sustainable Energy Reviews	(SÁNCHEZ-LOZANO et al., 2013)	Combinar as ferramentas SIG e MCDM para obter a avaliação da colocação ideal de usinas de energia solar na área de Cartagena (Região de Murcia), no sudeste da Espanha.
2013	Study of economic viability of photovoltaic electric power for Quetta e Pakistan	Renewable Energy	(KHALID; JUNAIDI, 2013)	Selecionar a melhor localização para uma usina fotovoltaica de 10 MW de oito cidades do Paquistão e estimar a viabilidade financeira do possível local fotovoltaico
2014	Decision framework of solar thermal power plant site selection based on linguistic Choquet operator	Applied Energy	(WU et al., 2014)	Propor um quadro de decisão para avaliação e seleção do local ideal para Usina de Energia Solar Térmica.
2014	A proposal for a site location planning model of environmentally friendly urban energy supply plants using an environment and energy geographical information system (E-GIS) database (DB) and an artificial neural network (ANN)	Applied Energy	(YEO; YEE, 2014)	Propor um modelo de potencial de localização para instalações de abastecimento de energia urbana e disponibilidade de energia renovável usando uma base de dados de E-GIS e ANN.
2014	Performance study on a grid connected 20 kWp solar photovoltaic installation in an industry in Tiruchirappalli (India)	Energy for Sustainable Development	(KUMAR; SUNDARESWARAN; VENKATESWARAN, 2014)	Destaca alguns recursos salientes da instalação, desempenho operacional e cálculos econômicos de uma usina de energia solar conectada à rede.

Ano	Título	Periódico	Autoria	Objetivo
2015	Multi-domain analysis of photovoltaic impacts via integrated spatial and probabilistic modelling	IET Renewable Power Generation	ROWLEY, P.; LEICESTER, P.; PALMER, D.	Descrever uma abordagem de espaço-temporal SIG que integra a análise probabilística através de uma técnica bayesiana para avaliar os impactos multi-domínio / multi-domínio da energia solar.
2015	Evaluation of suitable locations for the installation of solar thermoelectric power plants	Computers & Industrial Engineering	SANCHEZ-LOZANO, J. M.; GARCIA-CASCALES, M. S.; LAMATA, M. T.	Determinar a melhor localização para hospedar uma usina termoelétrica solar na Região de Múrcia no sudeste da Espanha, utilizando Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e Decisão Multi Critérios (MCDM).
2015	Site selection for new PV power plants based on their observability	Renewable Energy	FERNANDEZ-JIMENEZ, L.A. et al.	Apresentar uma nova metodologia para classificar os locais viáveis em uma zona para a construção de novas usinas fotovoltaicas (PV), utilizando SIG.
2015	An Integrated Decision-Making Model for the Location of a PV Solar Plant	Sustainability	LEE, A. H. I.; KANG, H.; LIN, C.; SHEN, K.	Propor uma estrutura para avaliar a adequação das alternativas do local da planta de energia renovável, utilizando um processo de hierarquia analítica difusa (FAHP) .
2015	Viability study of grid-connected solar PV system in Ethiopia	Sustainable Energy Technologies and Assessments	KEBEDE, K. Y.	Analisar a viabilidade de uma central de energia solar de 5 MW conectada à rede na área de Addis Abeba
2016	Optimal site selection for sitting a solar park using multi-criteria decision analysis and geographical information systems	Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems	GEORGIU, A.; SKARLATOS, D.	Avaliar a adequação da terra para a colocação ideal de usinas solares, com base em uma combinação dos métodos SIG e AHP.
2016	Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)-A Case Study of Iran	Energies	NOOROLLAHI, E.; FADAI, D.; SHIRAZI, M. A.; HASSAN, S.	Identificar as regiões adequadas para a exploração da energia solar no Irã, utilizando SIG com a técnica de processo de hierarquia analítica difusa (FAHP).

Ano	Título	Periódico	Autoria	Objetivo
2016	The benefits of geospatial planning in energy access e a case study on Ethiopia	Applied Geography	MENTIS, D.; ANDERSSON, M.; HOWELLS, M.; ROGNER, H.; SIYAL, S.; BROAD, O.; KORKOVELOS, A.; BRAZILIAN, M.	Aplicar uma metodologia baseada em SIG recentemente desenvolvida para informar o planejamento e as estratégias de eletrificação na Etiópia.
2016	An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28	Energy Police	CASTILLO, C.P.; SILVA, F. B.; LAVALLE, C.	Estimar o grau de adequação para a instalação de sistemas fotovoltaicos em toda a Europa, com base em (GIS-MCDA) usando um conjunto de variáveis.
2017	Optimal site selection for solar power plants using multi-criteria evaluation: A case study from the Ayrançi region in Karaman, Turkey	Clean Technologies Environmental Policy	UYAN, M.	Selecionar os locais ideais para a usina de energia solar usando o sistema de informação geográfica e o processo de hierarquia analítica, que é um dos métodos de avaliação multi-critérios.
2017	Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India	Renewable and Sustainable Energy Reviews	SINDHU, S.; NEHRA, V.; LUTHRA, S.	Selecionar o local apropriado em Haryana, na Índia, utilizando uma combinação híbrida de dois métodos de avaliação multicritério, AHP e TOPSIS.
2017	Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis	Renewable Energy	ALY, A.; JENSEN, S.S.; PEDERSON, A. B.	Investigar a adequação espacial para instalações de energia solar em larga escala na Tanzânia através do SIG combinada com MCDM.
2017	Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia	Applied Energy	AL GARNI, H. Z.; AWASTHI, A.	Avaliar e selecionar a melhor localização para projetos de energia solar de escala de utilidade usando SIG) e MCDM.
2017	Spatial matching of large-scale grid-connected photovoltaic power generation with utility demand in Peninsular Malaysia	Applied Energy	SABO, M. L.; MARIUN, N.; HIZAM, H.; RADZI, M.; ZACARIA, A.	Descrever o desenvolvimento de um método alternativo para avaliar a implantação em grande escala de usinas de energia fotovoltaicas conectadas em rede na Malásia peninsular.

Ano	Título	Periódico	Autoria	Objetivo
2017	Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN	Renewable and Sustainable Energy Reviews	ZOGHI, M.; EHSANI, A. H.; SADAT, M. AMIRI, M. J.; KARIMI, S.	Selecionar locais ideais para proporcionar uma ótima oportunidade para crescimento econômico e desenvolvimento com base na lógica fuzzy.
2017	Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in the Central Anatolian Region of Turkey	International Journal of Photoenergy	AKKAS, O. P.; ERTEN, M. Y.; CAM, E.; INANC, N.	Selecionar a cidade mais adequada entre 5 cidades da Região Central da Anatólia da Turquia para o estabelecimento da usina de energia solar utilizando métodos multicritérios.
2017	Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia	Energy	DOLJAK, D.; STANOJEVI, G.	Indicar os locais mais desejáveis para o desenvolvimento de PVPPs na Sérvia, utilizando AHP e SIG.
2018	A GIS-AHP combination for the sites assessment of large-scale CSP plants with dry and wet cooling systems. Case study: Eastern Morocco	Solar Energy	Merrouni, A. A.; Elalaoui, F. E.; Ghennioui, A.; Mezrhab, A.; Mezrhab, A.	Avaliar a adequação da região leste do Marrocos para hospedar usinas de energia solar concentrada de larga escala (CSP) combinando o GIS e AHP.
2018	Spatial Site Selection for Solar Power Plants Using a GIS-Based Boolean-Fuzzy Logic Model: A Case Study of Markazi Province, Iran	Energies	Yousefi, H.; Hafeznia, H.; Yousefi-Sahzabi, A.	Aplicar um modelo de lógica fuzzy para realizar a seleção espacial de locais para usinas de energia solar na Província de Markazi do Irã.
2018	Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Approaches for Solar Power Plant Location Selection in Viet Nam	Energies	Wang, C. N.; Nguyen, V. T.; Thai, H. T. N.; Duong, D. H.	Combinar três metodologias multicritério para encontrar a melhor localização para central elétrica baseada em critérios quantitativos e qualitativos.

Fonte: Autora

APÊNDICE B – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS PONDERAÇÃO: ESPECIALISTAS



Modelagem para Avaliação de Locais Adequados para a Instalação de Usinas Fotovoltaicas

Este é um estudo desenvolvido por uma estudante de mestrado da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pertencente ao Núcleo de Inovação e Competitividade (NIC) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Geração Distribuída (INCT-GD), que tem por objetivo geral propor uma modelagem para indicar a melhor localização para projetos de energia fotovoltaica no estado do Rio Grande do Sul.

Na escolha de locais adequados para projetos fotovoltaicos de larga escala há diversos fatores que devem ser considerados no momento desta tomada de decisão, fatores que contribuem fortemente na eficácia do projeto. Porém considera-se que estes fatores não apresentam a mesma relevância, por isso a importância do processo de ponderação destes fatores.

Especialistas na área, como pesquisadores e profissionais do ramo de energia fotovoltaica, são convidados a contribuir com o processo de ponderação dos fatores relevantes deste estudo. Para que em seguida seja possível analisar e ranquear as áreas adequadas para receber instalações fotovoltaicas, auxiliando as empresas e os investidores em energia fotovoltaica na tomada de decisão, e no desenvolvimento do mercado de energia fotovoltaica.

Assim, gostaríamos de contar com seu apoio, permitindo a aplicação do questionário, sobre o qual será desenvolvido o trabalho pretendido, sendo, posteriormente, disponibilizado o retorno dos dados obtidos.

Solicitamos, por fim, que seja autorizado o uso acadêmico dos dados obtidos, reiterando que, após a conclusão desta pesquisa, será disponibilizado os resultados em produção acadêmica.

Os dados coletados nesse questionário são mantidos em sigilo comercial, e serão utilizados unicamente para fins acadêmicos. Você AUTORIZA o uso dos dados obtidos? *

() Sim

Esse questionário possui duas seções de questões de múltipla escolha. A primeira seção com questões referentes a identificação do especialista. Na seguinte seção com questões referente a ponderação dos fatores.

Identificação

Qual a sua formação acadêmica? (Exemplo: Doutor em Engenharia Elétrica):

Qual sua ocupação profissional?

() Pesquisador

() Professor

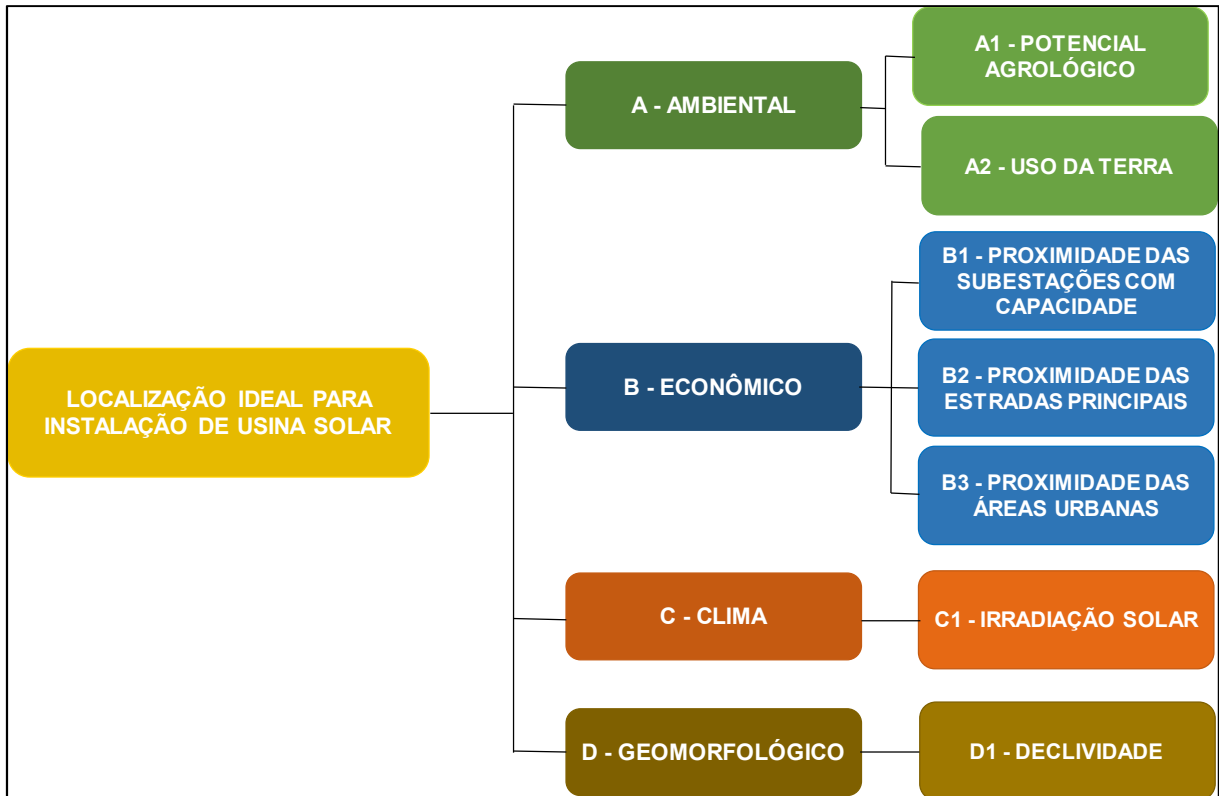
() Profissional do ramo de energia fotovoltaica

.

Qual o seu Estado? _____

Ponderação dos Fatores

1. As perguntas devem ser respondidas de acordo com sua percepção e experiência sobre os fatores elencados, buscando apontar quais são os fatores mais importantes para que o projeto apresente boa capacidade de geração e viabilidade econômica.
2. Os fatores são brevemente explicados na figura abaixo. Eles estão divididos em quatro categorias como pode ser visualizado na figura.



Explicação dos Fatores

A1 - Potencial Agrológico da Terra

O fator "Potencial Agrológico da Terra" consiste no potencial de produtividade do solo, ou seja, na sua fertilidade. Do ponto de vista da localização ideal para instalações renováveis, a área deve apresentar uma baixa adequação para o desenvolvimento da agricultura.

A2 - Uso da Terra

O fator "Uso da Terra" consiste na utilização do terreno no momento. Dentro da área de estudo, há diversos tipos de uso da terra, podendo ser florestas, terras agrícolas, áreas arenosas, silvicultura, corpos d'água, áreas úmidas e áreas urbanas.

B1 - Proximidade das Subestações com Capacidade de Transmissão

O fator "Proximidade das Subestações com Capacidade" consiste na proximidade do local com a subestação com capacidade de recebimento de energia mais próxima.

B2 - Proximidade das Estradas Principais

O fator "Proximidade das Estradas Principais" corresponde a proximidade que o local da instalação da usina possui da estrada mais próxima.

B3 - Proximidade das Áreas Urbanas

O fator "Proximidade das Áreas Urbanas" corresponde a proximidade do local com os centros urbanos. Pois a proximidade com essas áreas aumenta a possibilidade de mão de obra disponível para a construção da usina, como também maior demanda de energia elétrica.

C1 - Taxa de Irradiação Solar

O fator "Irradiação Solar" corresponde a quantidade de energia solar que uma superfície do solo recebe durante um período de tempo.

D1 - Taxa de Declividade

O fator "Declividade" consiste na inclinação média do terreno. O declive da área onde ocorrerá a construção da usina determina a aceitabilidade do local de acordo com o seu impacto no custo relacionado para a preparação e planificação do solo.

<p>Para compreender a importância de cada fator na localização ideal de usinas solares de larga escala, é necessário compará-los par a par. Os fatores são: Potencial Agrológico (A1), Uso da Terra (A2), Proximidade das Subestações com Capacidade (B1), Proximidade das Estradas Principais (B2), Proximidade das Áreas Urbanas (B3), Taxa de Irradiação Solar (C1), Declive (D1).</p>						
1. Compare a importância entre os fatores Potencial Agrológico da Terra (A1) e Uso da Terra (A2):						
A1 é muito superior que A2 ()	A1 é superior que A2 ()	A1 é pouco superior que A2 ()	Equivalentes ()	A2 é pouco superior que A1 ()	A2 é superior que A1 ()	A2 é muito superior que A1 ()
2. Compare a importância entre os fatores Potencial Agrológico da Terra (A1) e Proximidade das Subestações com Capacidade (B1):						
A1 é muito superior que B1 ()	A1 é superior que B1 ()	A1 é pouco superior que B1 ()	Equivalentes ()	B1 é pouco superior que A1 ()	B1 é superior que A1 ()	B1 é muito superior que A1 ()
3. Compare a importância entre os fatores Potencial Agrológico da Terra (A1) e Proximidade das Estradas Principais (B2):						
A1 é muito superior que B2 ()	A1 é superior que B2 ()	A1 é pouco superior que B2 ()	Equivalentes ()	B2 é pouco superior que A1 ()	B2 é superior que A1 ()	B2 é muito superior que A1 ()
4. Compare a importância entre os fatores Potencial Agrológico da Terra (A1) e Proximidade das Áreas Urbanas (B3):						
A1 é muito superior que B3 ()	A1 é superior que B3 ()	A1 é pouco superior que B3 ()	Equivalentes ()	B3 é pouco superior que A1 ()	B3 é superior que A1 ()	B3 é muito superior que A1 ()
5. Compare a importância entre os fatores Potencial Agrológico da Terra (A1) e Taxa de Irradiação Solar (C1):						
A1 é muito superior que C1 ()	A1 é superior que C1 ()	A1 é pouco superior que C1 ()	Equivalentes ()	C1 é pouco superior que A1 ()	C1 é superior que A1 ()	C1 é muito superior que A1 ()
6. Compare a importância entre os fatores Relevância do Potencial Agrológico da Terra (A1) e Taxa de Declividade (D1):						
A1 é muito superior que D1 ()	A1 é superior que D1 ()	A1 é pouco superior que D1 ()	Equivalentes ()	D1 é pouco superior que A1 ()	D1 é superior que A1 ()	D1 é muito superior que A1 ()
7. Compare a importância entre os fatores Uso da Terra (A2) e Proximidade das Subestações com Capacidade de Transmissão (B1):						
A2 é muito superior que B1 ()	A2 é superior que B1 ()	A2 é pouco superior que B1 ()	Equivalentes ()	B1 é pouco superior que A2 ()	B1 é superior que A2 ()	B1 é muito superior que A2 ()
8. Compare a importância entre os fatores Uso da Terra (A2) e Proximidade das Estradas Principais (B2):						
A2 é muito superior que B2 ()	A2 é superior que B2 ()	A2 é pouco superior que B2 ()	Equivalentes ()	B2 é pouco superior que A2 ()	B2 é superior que A2 ()	B2 é muito superior que A2 ()
9. Compare a importância entre os fatores Uso da Terra (A2) e Proximidade das Áreas Urbanas (B3):						
A2 é muito superior que B3 ()	A2 é superior que B3 ()	A2 é pouco superior que B3 ()	Equivalentes ()	B3 é pouco superior que A2 ()	B3 é superior que A2 ()	B3 é muito superior que A2 ()

10. Compare a importância entre os fatores Uso da Terra (A2) e Taxa de Irradiação Solar (C1):						
A2 é muito superior que C1 ()	A2 é superior que C1 ()	A2 é pouco superior que C1 ()	Equivalentes ()	C1 é pouco superior que A2 ()	C1 é superior que A2 ()	C1 é muito superior que A2 ()
11. Compare a importância entre os fatores Uso da Terra (A2) e Taxa de Declividade (D1):						
A2 é muito superior que D1 ()	A2 é superior que D1 ()	A2 é pouco superior que D1 ()	Equivalentes ()	D1 é pouco superior que A2 ()	D1 é superior que A2 ()	D1 é muito superior que A2 ()
12. Compare a importância entre os fatores Proximidade das Subestações com Capacidade de Transmissão (B1) e Proximidade das Estradas Principais (B2):						
B1 é muito superior que B2 ()	B1 é superior que B2 ()	B1 é pouco superior que B2 ()	Equivalentes ()	B2 é pouco superior que B1 ()	B2 é superior que B1 ()	B2 é muito superior que B1 ()
13. Compare a importância entre os fatores Proximidade das Subestações com Capacidade de Transmissão (B1) e Proximidade das Áreas Urbanas (B3):						
B1 é muito superior que B3 ()	B1 é superior que B3 ()	B1 é pouco superior que B3 ()	Equivalentes ()	B3 é pouco superior que B1 ()	B3 é superior que B1 ()	B3 é muito superior que B1 ()
14. Compare a importância entre os fatores Proximidade das Subestações com Capacidade de Transmissão (B1) e Taxa de Irradiação Solar (C1):						
B1 é muito superior que C1 ()	B1 é superior que C1 ()	B1 é pouco superior que C1 ()	Equivalentes ()	C1 é pouco superior que B1 ()	C1 é superior que B1 ()	C1 é muito superior que B1 ()
15. Compare a importância entre os fatores Proximidade das Subestações com Capacidade de Transmissão (B1) e Taxa de Declividade (D1):						
B1 é muito superior que D1 ()	B1 é superior que D1 ()	B1 é pouco superior que D1 ()	Equivalentes ()	D1 é pouco superior que B1 ()	D1 é superior que B1 ()	D1 é muito superior que B1 ()
16. Compare a importância entre os fatores Proximidade das Estradas Principais (B2) e Proximidade das Áreas Urbanas (B3):						
B2 é muito superior que B3 ()	B2 é superior que B3 ()	B2 é pouco superior que B3 ()	Equivalentes ()	B3 é pouco superior que B2 ()	B3 é superior que B2 ()	B3 é muito superior que B2 ()
17. Compare a importância entre os fatores Proximidade das Estradas Principais (B2) e Taxa de Irradiação Solar (C1):						
B2 é muito superior que C1 ()	B2 é superior que C1 ()	B2 é pouco superior que C1 ()	Equivalentes ()	C1 é pouco superior que B2 ()	C1 é superior que B2 ()	C1 é muito superior que B2 ()
18. Compare a importância entre os fatores Proximidade das Estradas Principais (B2) e Taxa de Declividade (D1):						
B2 é muito superior que D1 ()	B2 é superior que D1 ()	B2 é pouco superior que D1 ()	Equivalentes ()	D1 é pouco superior que B2 ()	D1 é superior que B2 ()	D1 é muito superior que B2 ()
19. Compare a importância entre os fatores Proximidade das Áreas Urbanas (B3) e Taxa de Irradiação Solar (C1):						
B3 é muito superior que C1 ()	B3 é superior que C1 ()	B3 é pouco superior que C1 ()	Equivalentes ()	C1 é pouco superior que B3 ()	C1 é superior que B3 ()	C1 é muito superior que B3 ()

20. Compare a importância entre os fatores Proximidade das Áreas Urbanas (B3) e Taxa de Declividade (D1):						
B3 é muito superior que D1 ()	B3 é superior que D1 ()	B3 é pouco superior que D1 ()	Equivalentes ()	D1 é pouco superior que B3 ()	D1 é superior que B3 ()	D1 é muito superior que B3 ()
21. Compare a importância entre os fatores Taxa de Irradiação Solar (C1) e Taxa de Declividade (D1):						
C1 é muito superior que D1 ()	C1 é superior que D1 ()	C1 é pouco superior que D1 ()	Equivalentes ()	D1 é pouco superior que C1 ()	D1 é superior que C1 ()	D1 é muito superior que C1 ()