

INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MURILO SOUZA AVERLAN

MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA NO ESTADO DE SANTA CATARINA

FLORIANÓPOLIS, JULHO 2019

INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MURILO SOUZA AVERLAN

MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA NO ESTADO DE SANTA CATARINA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte dos
requisitos para obtenção do título bacharel em
Engenharia Civil.

Professora Orientadora: Dra. Fernanda Simoni
Schuch

FLORIANÓPOLIS, JULHO 2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Averlan, Murilo Souza

Mapeamento do Potencial de Geração de Energia Fotovoltaica
no Estado de Santa Catarina / Murilo Souza Averlan
; orientação de Fernanda Simoni Schuch. - Florianópolis,
SC, 2019.

84 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico
de Construção Civil.
Inclui Referências.

1. Geoprocessamento. 2. Potencial fotovoltaico.
3. Análise Multicritério (AHP). I. Simoni Schuch, Fernanda.
II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento
Acadêmico de Construção Civil. III. Título.

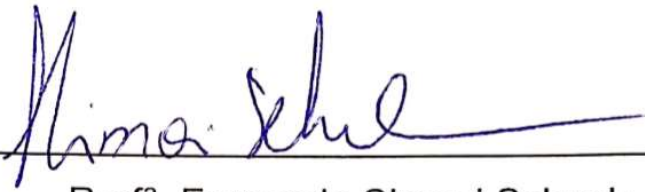
MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO ESTADO DE SANTA CATARINA

MURILO SOUZA AVERLAN

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 30 de julho de 2019.

Banca Examinadora:



Profª. Fernanda Simoni Schuch



Prof. Fabio Krueger da Silva



Prof. Samuel João da Silveira

RESUMO

A necessidade da diversificação da matriz elétrica mundial levou ao crescimento da demanda por produção de energética com foco na redução dos impactos ambientais. Com a intensificação de investimentos e incentivos no desenvolvimento de projetos inovadores para geração de energia, a partir de fontes renováveis, constatou-se a ocorrência de benefícios tanto do ponto de vista elétrico, como socioeconômico e ambiental. Esta pesquisa tem como foco principal a aplicação dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em conjunto a avaliação multicriterial Analytic Hierarchy Process (AHP), destinando-se a definir as áreas mais favoráveis para instalação de sistemas de geração de energia elétrica através da energia solar fotovoltaica, tendo o estado de Santa Catarina como objeto de estudo. Foram definidos um conjunto de critérios a serem considerados para implementação de usinas solares, nomeadamente, a disponibilidade de radiação solar existente na área, a distância das linhas de transmissão de energia elétrica, a distância de arruamentos, a distâncias de áreas urbanizadas, a declividade do terreno, as unidades de conservação ambiental, a hidrografia e o uso e ocupação do solo. Desta forma, foi possível realizar análise e considerações sobre as áreas destacadas com maior aptidão para implantação de usinas solares, verificando se os critérios adotados forneceram um resultado coerente dado às características geográficas, ocupacionais e de irradiação solar de Santa Catarina. Foi possível também quantificar as áreas identificadas como mais aptas apresentando-as em um mapa de potencial solar fotovoltaico e estimar o potencial energético solar.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Potencial fotovoltaico, Análise Multicritério (AHP)

ABSTRACT

The need for diversification of the world's electricity matrix has led to an increase in the demand for energy production with a focus on reducing environmental impacts. With the intensification of investments and incentives in the development of innovative projects for energy generation, from renewable sources, it was verified the occurrence of benefits from both the electric, socioeconomic and environmental point of view. This research has as main focus the application of Geographic Information Systems (GIS) in conjunction with the multicriterial Evaluation Analytic Hierarchy Process (AHP), aiming to define the most favorable areas for installation of systems of electric power generation through solar energy photovoltaic, with the state of Santa Catarina being the object of study. A set of criterias were defined regarding the implementation of solar power plants, such as: the availability of the existing solar radiation in the area, the distance of electric power transmission lines, distance from streets, distances from urbanized areas, the declivity of the area, the existence of conservation units, the hydrography and, land use and occupation. After that, it was possible to perform analysis and considerations on the highlighted areas, with greater aptitude to build solar energy plants, verifying if the adopted criterias provided a coherent result due to the geographic, occupational and solar irradiance characteristics of Santa Catarina State. It was also possible to quantify the areas identified as more proper, by presenting them on a solar photovoltaic potential map and also, to estimate its total solar energy potential.

Key words: Geoprocessing, Potential photovoltaic, Analytic Hierarchy Process (AHP)

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SISTEMA INTERLIGA NACIONAL (SIN)	19
FIGURA 2 – MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA EM MAIO DE 2017	20
FIGURA 3 – GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE NO ESTADO DE SANTA CATARINA	23
FIGURA 4 – PARTICIPAÇÃO DE CADA FONTE NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA 2017	24
FIGURA 5 – VARIABILIDADE DO FOTOPERÍODO AO LONGO DO ANO PARA DIFERENTES LATITUDES	27
FIGURA 6 – ÂNGULOS NOTÁVEIS EM SOLARIMETRIA	27
FIGURA 7 – AMPLITUDE DE VALORES DO ÂNGULO DE DECLINAÇÃO.....	28
FIGURA 8 – MAPA BRASILEIRO E EUROPEU DE IRRADIAÇÃO SOLAR NO PLANO INCLINADO - MÉDIA ANUAL	30
FIGURA 9 – COMPONENTES DE UM SIG	32
FIGURA 10 – REPRESENTAÇÃO DE DADOS EM FORMATO VETORIAL E RASTER.....	33
FIGURA 11 – SOBREPOSIÇÃO DOS PLANOS DE INFORMAÇÕES.....	34
FIGURA 12 – OPERAÇÃO AND (ESQUERDA) E OPERAÇÃO OR (DIREITA).....	35
FIGURA 13 - OPERAÇÃO XOR (ESQUERDA) E OPERAÇÃO NOT (DIREITA)	35
FIGURA 14 – ORGANOGRAMA DAS PRINCIPAIS ETAPAS REALIZADAS NESSE TRABALHO	39
FIGURA 15 – DELIMITAÇÃO DE SANTA CATARINA, ÁREA ABRANGIDA PELO PRESENTE ESTUDO.	41
FIGURA 16 – MAPA HIPSOMÉTRICO DE SANTA CATARINA	43
FIGURA 17 – REGIÕES HIDROGRÁFICAS DE SANTA CATARINA.	44
FIGURA 18 – MÉDIAS ANUAIS DA IRRADIAÇÃO SOLAR NO PLANO INCLINADO NA LATITUDE EM Wh/M ² .DIA.	45
FIGURA 19 – FLUXOGRAMA DE GEOPROCESSAMENTOS PARA OBTENÇÃO DO MAPA DE POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO.....	56
FIGURA 20 – FLUXOGRAMA DE GEOPROCESSAMENTO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO.....	57
FIGURA 21 – FLUXOGRAMA DE GEOPROCESSAMENTO MAPA DE ARRUAMENTOS EM AMBIENTE QGIS.....	58
FIGURA 22 – FLUXOGRAMA DE GEOPROCESSAMENTOS MAPA DE HIDROGRAFIA EM AMBIENTE QGIS	58
FIGURA 23 – FLUXOGRAMA DE GEOPROCESSAMENTO MAPA DE DECLIVIDADE EM AMBIENTE QGIS	59

FIGURA 24 – FLUXOGRAMA DE GEOPROCESSAMENTO MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM AMBIENTE QGIS	61
FIGURA 25 – FLUXOGRAMA DE GEOPROCESSAMENTO MAPA DE DISTÂNCIA DE ÁREAS URBANIZADAS EM AMBIENTE QGIS	61
FIGURA 26 – FLUXOGRAMA DE GEOPROCESSAMENTO MAPA DE IRRADIAÇÃO SOLAR EM AMBIENTE QGIS	62
FIGURA 27 - MAPA DE IRRADIAÇÃO SOLAR NORMALIZADO.....	68
FIGURA 28 - MAPA DE DISTÂNCIAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO NORMALIZADO	70
FIGURA 29 - MAPA DE DISTÂNCIA DE ÁREAS URBANIZADAS NORMALIZADA	71
FIGURA 30 - MAPA DE DISTÂNCIA DE ARRUAMENTOS NORMALIZADO.....	72
FIGURA 31 - MAPA DE DECLIVIDADE DE SANTA CATARINA NORMALIZADO	73
FIGURA 32 - MAPA DE POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	74
FIGURA 33 - MAPA UFV NOVA AURORA	76

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN: Balanço Energético Nacional

COP: Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

FV: Fotovoltaico

GD: Geração Distribuída

GW.h: Gigawatt.hora

MME: Ministério de Minas e Energia

Mtep: Tonelada Equivalente de Petróleo

MW: Megawatt

ONS: Operador Nacional do Sistema

PDE: Plano Decenal de Energia

ProGD: Programa de Desenvolvimento Geração Distribuída de Energia Elétrica

SIGs: Sistema de Informações Geográficas

SIN: Sistema Interligado Nacional

TWh: Terawatt.hora

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	12
1.1	Objetivo geral	14
1.2	Objetivos específicos	14
1.3	Justificativa	15
2.	Revisão bibliográfica.....	17
2.1	Setor elétrico brasileiro	17
2.1.1	Organização do setor elétrico brasileiro	17
2.1.2	Sistema Interligado Nacional - SIN	19
2.1.3	Matriz Elétrica Brasileira.....	20
2.1.4	Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica - PDE	21
2.1.5	Matriz elétrica no estado de Santa Catarina	22
2.1.6	Micro e minigeração distribuída	23
2.1.7	Geração centralizada	25
2.2	Energias renováveis e energia solar	25
2.2.1	Geometria solar.....	26
2.2.2	Radiação solar	29
2.3	Sistema de informações geográficas	31
2.3.1	Sobreposição de planos de informações	33
2.4	Princípios básicos da análise multicritério.....	36
2.4.1	Escala fundamental de Saaty.....	37
2.4.2	Aplicações do método AHP em usinas solares.....	37
3.	Método da Pesquisa	39
3.1	Delimitação da área de estudo	41
3.2	Programa usado	45
3.3	Etapa 1 – Definição dos critérios	46
3.4	Etapa 2 – Obtenção dos dados e pré-processamento.....	49

3.4.1 Unidades de conservação	49
3.4.2 Declividade do terreno	50
3.4.3 Hidrografia	50
3.4.4 Arruamentos	52
3.4.5 Linhas de transmissão	53
3.4.6 Uso e ocupação do solo	53
3.4.7 Irradiação solar	54
3.5 Etapa - 3 Processamento dos dados	55
3.5.1 Linhas de transmissão	56
3.5.2 Arruamentos e hidrografia	57
3.5.3 Declive do terreno	59
3.5.4 Uso e ocupação solo	60
3.5.5 Unidades de conservação	61
3.5.6 Irradiação solar	61
3.6 Etapa 4 – Aplicação do método AHP	62
3.6.1 Combinação linear ponderada	65
3.6.2 Normalização dos pesos dos critérios	67
4. Resultados	68
4.1 Irradiação solar	68
4.2 Distância de linhas de transmissão	69
4.3 Distância de áreas urbanizadas	70
4.4 Distância de arruamentos	71
4.5 Declividade	72
4.6 Mapa de Potencial de geração de Energia Fotovoltaica	73
5. Conclusões e recomendações	77
6. Referências	79

1. Introdução

Atualmente, no contexto da produção de energia elétrica, o termo sustentabilidade tem ganho cada vez mais espaço. Observa-se um esforço global em introduzir novas fontes de energia limpa, seja através de conferências, como a COP 21 de 2015, seja na intensificação de investimentos e incentivos no desenvolvimento de projetos inovadores para geração de energia a partir de fontes renováveis como a solar fotovoltaica, eólica, biomassa e hidrelétrica de pequeno porte. Pode-se utilizar como exemplos a recente estrada pavimentada de painéis solares na França, nos parques eólicos offshore na Dinamarca ou nas mais de 1 milhão de residências com painéis solares na Austrália e, no Brasil, a inauguração em 2017 de duas grandes usinas, Parque Solar Nova Olinda com geração de 292 megawatts (MW) e da usina de Pirapora com capacidade de 400 MW.

A possibilidade da redução da oferta de combustíveis convencionais, em conjunto com o aumento da demanda de energia, e o anseio pelo zelo do meio ambiente, tem impulsionado a comunidade científica a pesquisar e desenvolver fontes alternativas de energias renováveis, que sejam menos poluentes e com o menor impacto ambiental possível (PEREIRA, MARTINS, *et al.*, 2006).

Segundo dados apresentados no relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (BEN, 2018), o sistema elétrico brasileiro apresenta-se como um sistema essencialmente hidrotérmico, de grande porte, com forte predominância de usinas hidroelétricas. Em 2017, a oferta total de energia atingiu a marca aproximada de 624,3TWh com participação predominante de 407,3TWh de fonte hidráulica.

Conforme Pereira et al. (2006), as fontes renováveis de energia como a eólica e solar são consideradas fontes intermitentes de energia, devido à elevada dependência direta de variáveis temporais associadas a condições meteorológicas do local de instalação. Entretanto, fontes de energia como termoelétricas e hidrelétricas são consideradas fontes de energia firme devido sua capacidade de garantir a demanda de energia.

Freitas e Soito (2008) alertam para importância da realização de estudos para avaliação da vulnerabilidade da geração de energia elétrica no Brasil devido o risco do aquecimento global promover mudanças climáticas que por sua vez podem,

futuramente, alterar o ciclo hidrológico e com isso o regime e a disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas, bem como as mudanças de padrões de precipitação.

Sendo assim, a vulnerabilidade climática dos recursos hídricos frente ao crescimento da demanda de eletricidade evidencia a necessidade da diversificação das fontes de energia que compõem a matriz energética brasileira, de modo a usufruir de fontes de energia que causem baixo impacto ao meio ambiente.

Diante desse contexto, e na contramão da exigência por sistemas ecologicamente mais sustentáveis, dados do Balanço Energético Nacional (BEN) publicados entre os anos 2011 e 2015 apontam um crescimento significativo na participação de combustíveis fósseis, devido a utilização das termelétricas para atender o aumento da demanda de energia frente à crise hídrica, ocorrida em função do longo período de estiagem que atingiu grande parte do território brasileiro (PEREIRA, MARTINS, *et al.*, 2017). Consequentemente, mister a necessidade de planejar a implementação de fontes alternativas de energias renováveis que se enquadrem na necessidade da matriz energética Brasileira, como a energia solar fotovoltaica.

Segundo Barros, Koloszuk e Sauaia (2018), a incorporação de mais energia solar na matriz elétrica brasileira contribui de forma indireta na diminuição das oscilações das bandeiras tarifárias, visto que as mesmas operam em alta quando reservatórios das hidrelétricas apresentam níveis baixos, o que implica na entrada em operação de termelétricas a óleo combustível, para suprimento instantâneo da demanda de energia elétrica.

A utilização da energia fotovoltaica em sistemas de geração distribuída (GD) apresenta características que contribui para a não dependência exclusiva da geração centralizada, pois sua geração acontece em pequenas fontes ao longo do sistema de transmissão ou de distribuição. Isto acarreta também na redução da necessidade de custos extras na ampliação de infraestrutura de transporte desta energia, uma vez que as fontes geradoras estarão mais próximas aos consumidores de energia (SILVEIRA, 2013).

Segundo dados do (MME, 2016), o estado de Santa Catarina apresenta 83,9% de geração de energias renováveis em sua matriz elétrica. No entanto, apresenta ainda em 2015, 34% de consumo de energia proveniente de fonte poluidora, carvão mineral, para geração de energia elétrica. Isso é preocupante uma vez que o Estado

é possuidor de um grande legado de degradação ambiental de décadas de exploração deste mineral como fonte energética e ainda continua a explorá-lo (ANDRADE, 2017).

Um dos processos mais usuais de aproveitamento da luz solar para geração de eletricidade é o aproveitamento fotovoltaico (FV), que converte a luz do sol em energia elétrica, a qual pode ser aplicada em pequenos sistemas autônomos de geração distribuída (GD) ou em grandes sistemas conhecidos como usinas solares.

Neste sentido, com intuito de contribuir com análises baseadas em parâmetros técnicos, nesta pesquisa serão mapeadas as regiões com potencial de geração de energia fotovoltaica no estado de Santa Catarina, através dos objetivos citados a seguir.

1.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial energético solar do estado de Santa Catarina para geração, recorrendo às técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica, apresentando em mapas, as regiões mais favoráveis à instalação de sistemas energéticos renováveis, provenientes do aproveitamento da energia solar fotovoltaica.

1.2 Objetivos específicos

- a. Apresentar o estado da arte atual sobre as energias renováveis e a matriz energética no Estado de Santa Catarina (Brasil);
- b. Estudar critérios para definição de locação de usina solar fotovoltaica;
- c. Aplicar metodologia de análise multicritério para definir de áreas mais favoráveis para instalação de micro usinas solares;
- d. Mapear as regiões com potencial para geração de energia solar em SC a partir de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e Sistema de informações Geográficas (SIG'S), utilizando-se software e dados gratuitos;
- e. Validar e analisar os mapas gerados.

1.3 Justificativa

Segundo Ignatios (2006), as discussões sobre as fontes de energias renováveis têm se intensificado na busca da autossuficiência em energia, e diversificação da matriz energética de um país, de maneira que supram a sua demanda interna, no caso de uma escassez de combustíveis fósseis. Para tanto, os países têm que ter sob controle fontes as primárias de geração de energia elétrica, térmica e veicular. Em um mundo globalizado, é necessário que haja uma interdependência entre os países e uma autossuficiência em alguma fonte de energia.

Objetivando a diversificação da matriz energética brasileira, o Ministério de Minas e Energia lançou em 15 dezembro de 2015 o Programa de Desenvolvimento de Geração Distribuída de energia elétrica (ProGD). Com R\$ 100 bilhões em investimentos do ProGD. A previsão é que até 2030, 2,7 milhões de unidades consumidoras poderão ter energia gerada por elas mesmas, entre residência, comércio, indústrias e no setor agrícola, o que pode resultar em 23,500MW (48 TWh produzidos) de energia limpa e renovável, o equivalente a metade da geração de uma usina hidrelétrica de Itaipu. Com isso, o Brasil pode evitar que sejam emitidos 29 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera (MME, 2017).

Na junção dos aspectos abordados, configura-se primordialmente a necessidade de garantir uma produção de energia compatível com a demanda proveniente do crescimento econômico de maneira sustentável, usufruindo dos recursos disponíveis que apresentem o menor impacto possível ao meio-ambiente e, com custos coerentes com a realidade econômica. Nesse contexto a geração de energia, através da irradiação solar, apresenta-se como uma fonte alternativa renovável para auxiliar o desenvolvimento de geração de energia.

Entre as fontes renováveis, a energia solar fotovoltaica é uma das mais abundantes em toda a superfície terrestre e é inesgotável na escala de tempo humano. Por esta razão é uma das alternativas mais promissoras para a composição de uma nova matriz energética mundial e seu aproveitamento tem se consolidado em muitos países (VERMA, MIDTGARD e SATRE, 2011). É esperado que até 2040 esta seja a fonte renovável de energia mais importante e significativa para o planeta (BRITO et al., 2011).

Atualmente, a matriz energética do estado de Santa Catarina não contempla a geração solar fotovoltaica com números expressivos de geração, conforme dados apresentados no Balanço Energético Nacional 2018. Logo, para viabilizar a instalação de geração solar fotovoltaica no estado é necessário realizar estudo contendo análise do potencial solar e possibilidades de conexão ao sistema elétrico.

Considerando o potencial de radiação solar do estado, a disponibilidade e proximidade de conexão à linhas de transmissão, declividades do relevo, hidrografia e outros fatores, a realização de estudo do potencial de geração através de sistemas fotovoltaicas para o estado de Santa Catarina torna-se atrativo e necessário.

Para que se determine este potencial faz-se necessário uma estruturação desta pesquisa, a qual está subdividida em capítulos, a saber:

Capítulo 1: apresenta uma introdução sobre o tema, os objetivos gerais e específicos, bem como a relevância da pesquisa proposta;

Capítulo 2: trata dos levantamentos de dados bibliográficos que servirão de embasamento técnico científico para o desenvolvimento do trabalho;

Capítulo 3: discorre sobre o processo metodológico das etapas desta pesquisa científica;

Capítulo 4: traz os resultados e discussões da pesquisa.

2. Revisão bibliográfica

Este capítulo visa apresentar e aprofundar conceitos fundamentais para o bom entendimento da temática da geração de energia fotovoltaica associada ao uso dos SIG como ferramenta para análise das variações espaciais.

2.1 Setor elétrico brasileiro

O sistema elétrico brasileiro é apresentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (2018) em quatro etapas, onde inicialmente as geradoras produzem a energia, as transmissoras a transportam do ponto de geração até os centros consumidores, de onde as distribuidoras de energia a levam até as unidades consumidoras. Existem ainda nesse meio as comercializadoras, empresas possuidoras de autorização de compra e venda de energia para os consumidores livres, os quais geralmente necessitam uma maior quantidade de energia.

2.1.1 Organização do setor elétrico brasileiro

Segundo (PERAZA, 2013) o setor elétrico brasileiro é composto por vários órgãos, que por sua vez possuem um inter-relacionamento para estabelecer diretrizes de modo organizar o setor energético brasileiro. Tendo como responsabilidades o planejamento estratégico do setor, regulação, operação e as demais premissas necessárias para a garantia do suprimento de energia elétrica do país. São os órgãos: Congresso Nacional, Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE), Ministério de Minas e Energia (MME), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e os agentes de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

Adiante, na Tabela 1, estão apresentadas as atribuições dos principais agentes envolvidos no planejamento, operação e controle do setor elétrico nacional.

Tabela 1 – Órgãos e respectivas atribuições no setor elétrico brasileiro

Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE)	Tem por finalidade o assessoramento do Presidente da República na formulação das políticas e diretrizes em energia. Revisa também a matriz energética em âmbito estadual, visando estabelecer diretrizes específicas para cada região.
Ministério de Minas e Energia (MME)	Tem como responsabilidade a formulação e implantação de políticas públicas voltadas para o setor de energia, de acordo com as diretrizes definidas pelo CNPE. Também estabelece o planejamento de ações, visando à manutenção da segurança energética e possíveis desequilíbrios entre oferta e demanda de energia.
Empresa de Pesquisa Energética (EPE)	É responsável pela elaboração de estudos e pesquisas, a fim de dar meios para a implantação do planejamento estratégico do setor energético, apresentação do balanço energético e plano de expansão de curto, médio e longo prazo. Elabora também os estudos necessários para viabilizar a expansão da matriz elétrica.
Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE)	Acompanha de forma perene a continuidade e a segurança do abastecimento de energia no país. É presidido pelo MME, com representantes da ANEEL, ANP, CCEE, EPE e ONS e tem como prerrogativa o acompanhamento e desenvolvimento das atividades inerentes a geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação, exportação, tanto de energia elétrica quanto de combustíveis, como gás natural e petróleo, bem como realizar análise periódica de segurança de abastecimento do mercado de energia elétrica, petróleo e gás. O CMSE também identifica as dificuldades, no âmbito técnico, ambiental, comercial e outros que possam afetar a disponibilidade e a expansão do setor energético.
Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)	Tem por finalidade a regulação da geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, fiscalizar os serviços e definir as tarifas, além de administrar os conflitos de interesses, garantindo a modicidade tarifária, zelando pela qualidade dos serviços.
Operador Nacional do Sistema (ONS)	É o ente que, sob a fiscalização da ANEEL, coordena e controla a operação de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN). Garante o suprimento de energia elétrica de forma contínua e ininterrupta, definindo ainda as condições de acesso à rede em todo o país.
Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)	É o responsável pela compra e venda de energia em todo o território nacional, administrando contratos, apresentando informações de balanço de compra e venda, realizando o balanço financeiro dos leilões de energia elétrica ocorridos nos mercados de curto prazo.

Fonte: Peraza (2013), adaptado.

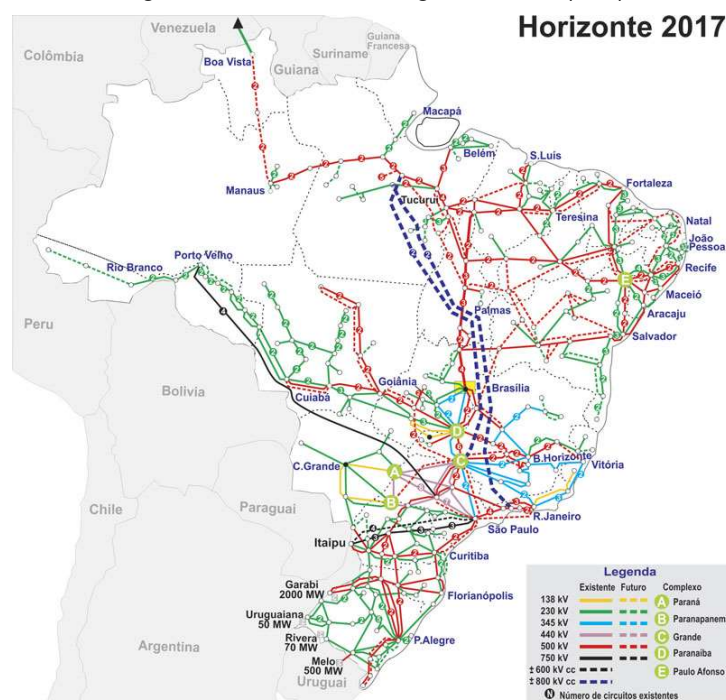
2.1.2 Sistema Interligado Nacional - SIN

O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte. Segundo ONS (2018), o Sistema Interligado Nacional (SIN) permite a interconexão dos sistemas elétricos, por meio de malhas de transmissão, propicia a transferência de energia entre subsistemas, permite a obtenção de ganhos sinérgicos e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias.

Em 2017, o SIN, apresenta-se praticamente todo conectado, representado na Figura 1, sendo apenas aproximadamente 1% do total da demanda energia elétrica do Brasil atendida por sistemas isolados (não conectados ao SIN), situadas na sua maioria na região Norte (ONS, 2018).

O sistema de transmissão é composto pelas linhas de transmissão e subestações operando nas faixas de tensão de: 138kV, 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV e 750 kV em corrente alternada e 600kV e 800kV em corrente contínua. O mapa do sistema interligado é demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Sistema Interligado Nacional (SIN)

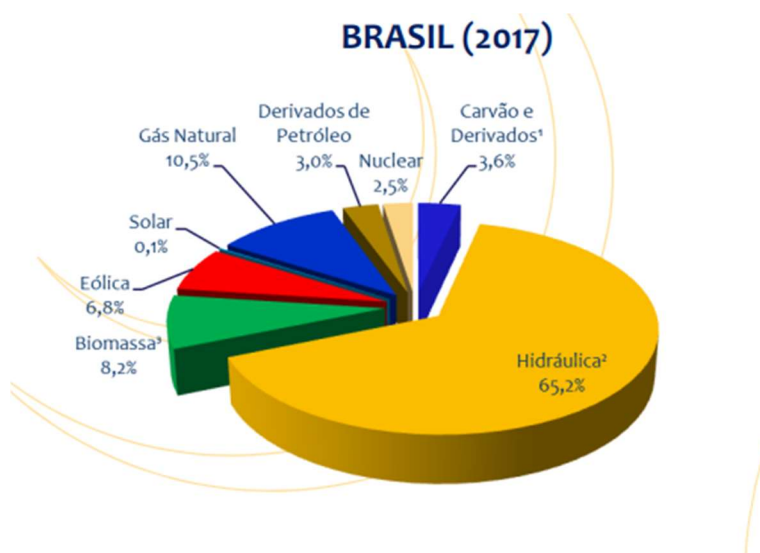


Fonte: Operador Nacional de Sistema (2018)

2.1.3 Matriz Elétrica Brasileira

Segundo dados apresentados no relatório síntese do Balanço Energético Nacional, BEN (2018) expressos na Figura 2, o sistema elétrico brasileiro apresenta-se como um sistema essencialmente hidrotérmico de grande porte com forte predominância de usinas hidroelétricas. Em que 2017, a oferta total de energia atingiu a marca aproximada de 624,3TWh com participação predominante de 407,3TWh de fonte hidráulica.

Figura 2 – Matriz energética brasileira em maio de 2017



Fonte: Balanço Energético Nacional (2018, Pág.31)

Conforme dados apresentados pelo BEN (2018), a oferta interna de energia (total de energia disponibilizada no país) atingiu 293,5Mtep, registrando um acréscimo de 1,8% em relação ao ano anterior. Parte deste aumento foi influenciado pelo comportamento das ofertas internas de gás natural e energia eólica, que subiram 6,7% e 26,5% no período, respectivamente.

No caso da energia elétrica verificou-se também um avanço na oferta interna de 4,6 TWh (0,7%) em relação a 2016. Devido às condições hidrológicas desfavoráveis, houve redução de 3,4% da energia hidráulica disponibilizada em relação ao ano anterior. Apesar da menor oferta hídrica, a participação de renováveis na matriz elétrica atingiu 80,2% em 2017, fato explicado pelo avanço da geração eólica (BEN, 2018).

A geração de energia elétrica proveniente da fonte solar fotovoltaica teve um crescimento de 875,6% de 2016 para 2017, representando nesse mesmo período, um aumento de 4,5% da capacidade instalada e 0,072% da oferta interna de energia no Brasil, conforme apresentando no (BEN, 2018).

Nos dados apresentados no Balanço Energético Nacional de 2018, destaca-se a ascensão da capacidade instalada da energia solar fotovoltaica, a qual apresentou crescimento de 3836% entre 2016 e 2017, passando de 24MW em 2016 para 935MW instalados em 2017. Dados estes, estão apresentados na Tabela 2, onde são desconsideradas as fontes de micro geração e minigeração distribuída.

Tabela 2 – Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil

Ano	Hidro (MW)	Termo (MW)	Eólica (MW)	Solar (MW)
2009	78.610	25.350	602	0
2010	80.703	29.689	927	1
2011	82.459	31.243	1.425	1
2012	84.294	32.778	1.892	2
2013	86.018	36.528	2.202	5
2014	89.193	37.827	4.888	15
2015	91.650	39.563	7.633	21
2016	96.925	41.275	10.124	24
2017	100.275	41.628	12.283	935

Fonte: (BEN 2018, p.182)

Os dados da capacidade instalada de micro geração e minigeração distribuída mostram o crescimento da geração proveniente da fonte solar fotovoltaica de 207% entre os anos de 2016 e 2017, o que significou um acréscimo de 117,6MW da capacidade instalada no período (BEN, 2018).

2.1.4 Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica - PDE

Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) é um documento informativo voltado para toda a sociedade, bem como aos agentes e investidores, com uma indicação, e não determinação, das perspectivas de expansão futura do setor de energia sob a ótica do Governo. Tal expansão é analisada a partir de uma visão

integrada para os diversos recursos energéticos, além da energia elétrica, no horizonte de 10 anos. O que facilita o acesso a informações relevantes para estudos e tomadas de decisões de agentes e investidores (EPE, 2017).

A expansão da Energia Solar no Brasil prevista no Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2026, estima-se que a capacidade instalada de geração solar chegue a 13 GW em 2026, sendo 9,6 GW de geração centralizada e 3,4 GW de geração distribuída. A proporção da potência solar chegará a 5,7% do total.

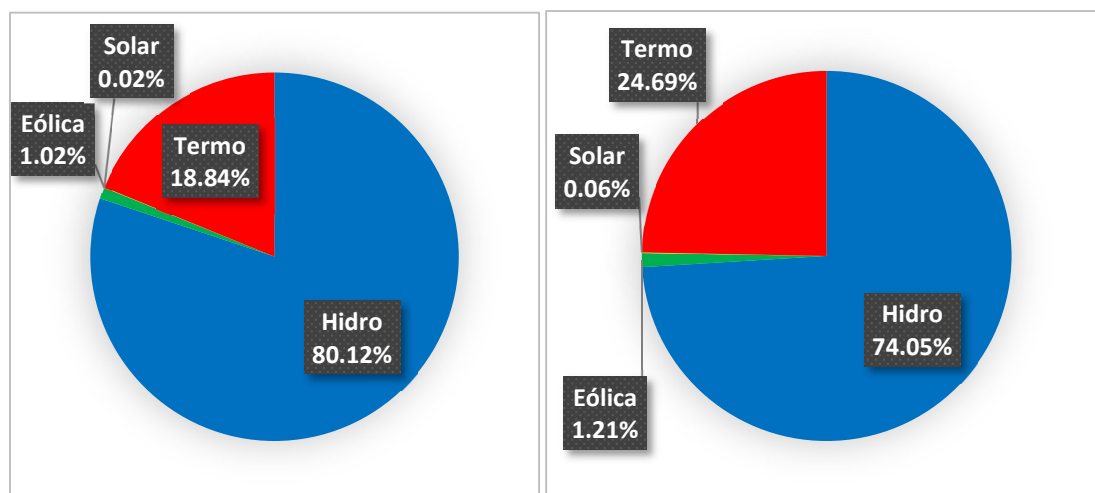
Os estudos do Plano Nacional de Energia – PNE 2050, em elaboração pela Empresa de Pesquisa Energética, estimam em 78 GW a potência de micro e mini geração distribuída solar em 2050, o que poderá representar 9% da oferta total de energia elétrica do ano. No aquecimento de água, a previsão é que 20% dos domicílios detenham coletores (DIE/MME, 2016).

Está prevista também uma expansão da Infraestrutura de energia, onde a capacidade instalada brasileira de geração elétrica chegará a 222 GW de potência em 2026, registrando uma expansão de 71,6 GW sobre 2016, assim distribuída: 64,1 GW no Sistema Interligado Nacional (SIN); e 7,5 GW no autoprodutor cativo (3,3 GW de micro e mini GD solar), com registro na ANEEL. Sendo que as fontes renováveis de energia vão corresponder por 75% a 80% desta expansão (MME, 2017).

2.1.5 Matriz elétrica no estado de Santa Catarina

O sistema elétrico catarinense é caracterizado pela predominância da geração de energia elétrica oriundas de hidroelétricas, representando 80% em 2016 e 74% em 2018 do total de geração conforme apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Geração de energia elétrica por fonte no estado de Santa Catarina



Fonte: BEN 2016(Esquerda) BEN 2018 (Direita) – Adaptado

Analisando os dados, apresentados na Figura 3, verifica-se que a geração de energia elétrica oriunda de termoeletrônica apresentou um ganho de aproximadamente 5,85% de representatividade em relação ao total de energia elétrica gerada no estado de Santa Catarina enquanto a solar representou o ganho 0,040%. Verifica-se também que a geração de eletricidade proveniente de fontes termoeletrônicas apresentou ganho de aproximadamente 6% de representatividade, indo na contramão das iniciativas por energias renováveis.

2.1.6 Micro e minigeração distribuída

A partir da resolução normativa Nº482/2012- Atualizada 25/05/2017, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) define as diferenças entre micro e minigeração no Art.2º conforme expressas abaixo:

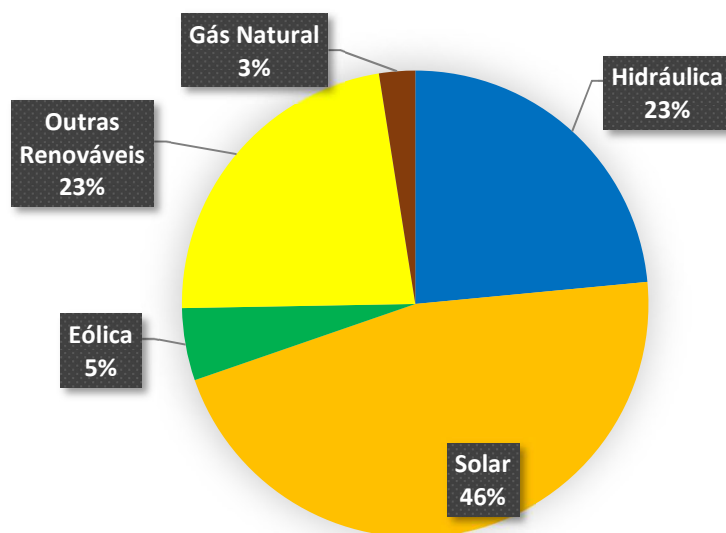
- A microgeração distribuída é caracterizada por uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24/11/2015).
- A minigeração distribuída é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para

fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para as demais fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (Redação dada pela REN ANEEL 786, de 17/10/2017).

Dentro do cenário de geração distribuída, o Balanço Energético Nacional 2018 ano base 2017, página 36, apresenta informações referentes à micro e mini geração distribuída de energia elétrica, cujo crescimento foi incentivado pelas ações regulatórias, tais como a que estabelece a possibilidade de compensação de energia excedente produzidas por sistemas de menor porte. Tal fato, viabilizou que estes sistemas atingissem a geração de energia excedente de 359,1 GWh com uma potência instalada de 246,1 MW. Destaca-se a fonte solar fotovoltaica, com 53,6 GWh e 174,5 MW de geração e potência instalada respectivamente (BEN, 2018).

Na Figura 4 tem-se a representação da participação de cada fonte na geração distribuída em 2017, o que demonstra o maior destaque para energias com fonte solar em relação às demais fontes de energias renováveis.

Figura 4 – Participação de cada fonte na geração distribuída 2017



Fonte: Balanço Energético Nacional – Relatório síntese (2018, p.36) - adaptado.

2.1.7 Geração centralizada

A geração centralizada, de modo geral, são projetos de geração de energia contratados por meio de leilões de energia a partir de contratos realizados no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). São geralmente usinas de grande porte distantes dos centros consumidores e necessitam de longas linhas de transmissão e de investimentos mais vultosos.

Os leilões são a principal forma de contratação de energia no Brasil. Por meio desse mecanismo, concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) garantem o atendimento à totalidade de seu mercado no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Quem realiza os leilões de energia elétrica é a CCEE, por delegação da Aneel. Sendo o critério definido para o vencedor do leilão aquele que apresentar a menor tarifa de comercialização de energia (CCEE, 2018).

2.2 Energias renováveis e energia solar

São consideradas fontes de energias renováveis aquelas que possuem capacidade de reposição equivalente à de sua utilização, podendo ocorrer de forma natural ou artificial. Como fontes naturais de energias renováveis podem ser citadas as fontes solar, eólica, hidráulica, biomassa e geotérmica. Considera-se a biomassa plantada como fonte de energia renovável artificial assim como os resíduos gerados pelos demais processos controlados pelo ser humano (PINHO, et al., 2008).

Segundo Goldemberg e Lucon (2007), as fontes de energias não renováveis são aquelas em que sua reposição se dá em horizonte de tempo geológico. O petróleo, o carvão mineral, gás natural e o xisto betuminoso são exemplos de fontes não renováveis de energia por apresentar taxa de consumo maior que a de reposição.

O Brasil dispõe de um potencial abundante para energias renováveis, visto tamanha a grandeza dos seus recursos hídricos, radiação solar, vento, água e a biomassa com suas diversas formas de utilização (PINHO, et al., 2008).

2.2.1 Geometria solar

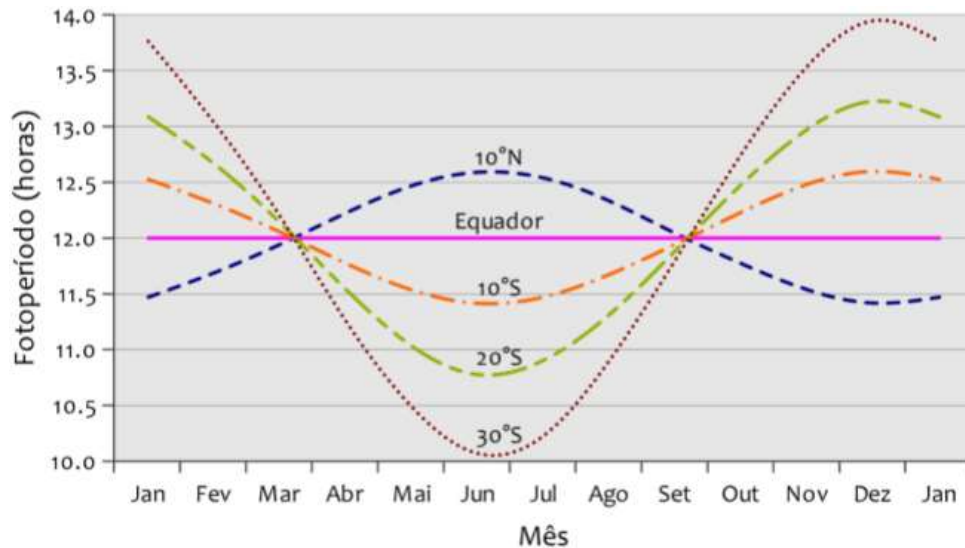
O sol é uma estrela de tamanho médio e a energia irradiada por ele alimenta quase todos os processos térmicos, dinâmicos e químicos no planeta Terra, sejam eles natural ou artificialmente desenvolvidos. Dentre os artificialmente desenvolvidos, o aquecimento solar, a geração de eletricidade, a climatização de ambientes apresenta um avanço significativo alcançado nas últimas décadas, no qual o aproveitamento fotovoltaico, conhecido como geração fotovoltaica de eletricidade, apresentou um crescimento considerável na participação da energia solar na matriz energética mundial (PEREIRA et al., 2017).

A disponibilidade do recurso energético solar em cada local da terra está diretamente relacionada com a posição geográfica, hora do dia, estação do ano e condições meteorológicas. A movimentação da terra tem influência direta na quantidade de energia solar incidente em um ponto qualquer da superfície terrestre, pois o movimento de rotação (Leste-Oeste), no qual a terra gira em torno do seu próprio eixo, com duração de 24 horas e o de translação, onde o planeta gira em torno do sol em uma órbita elíptica, com duração de 365 dias faz com haja que uma variação da duração dos dias e das noites em diferentes épocas do ano. Dentre as consequências diretas desses movimentos podem ser citadas as diferentes durações do dia e da noite em diferentes latitudes do globo, e as estações do ano: primavera, verão, outono e inverno (EERE, 2013).

A inclinação de $23,45^\circ$ do eixo axial da Terra resulta em dias mais longos no hemisfério sul, desde o equinócio da primavera até o equinócio de outono e dias mais longos no hemisfério norte durante os outros seis meses. Os dias e as noites têm exatamente 12 horas de duração nos equinócios, que ocorrem a cada ano por volta de 21 de março e 22 de setembro (EERE, 2013).

A Figura 5 demonstra a variação da duração dos dias ao longo do ano em diferentes latitudes, onde fica nítida a maior variabilidade em regiões mais afastadas da linha do Equador. O estado de Santa Catarina está localizado entre as curvas 20°S e 30°S , o que significa haver uma variação na quantidade de energia solar recebida, no decorrer do ano.

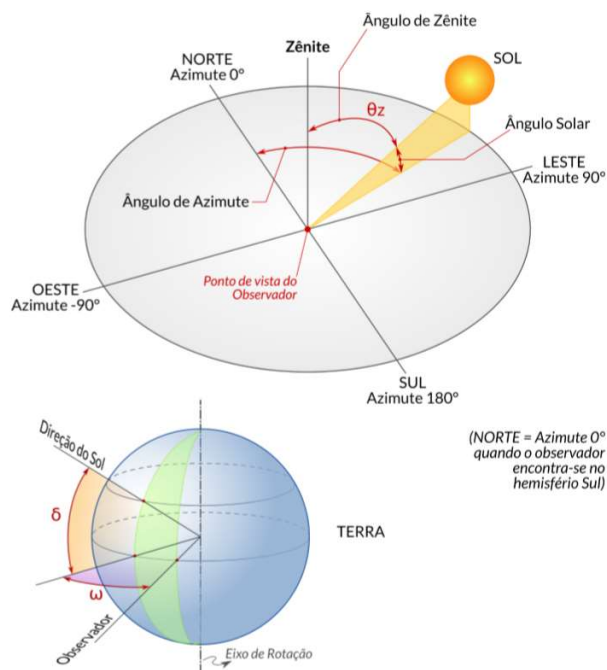
Figura 5 – Variabilidade do fotoperíodo ao longo do ano para diferentes latitudes



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017, Pág. 16)

Para descrever os dois ciclos de variabilidade da radiação solar que chega no topo da nossa atmosfera, faz-se uso de conceitos importantes definidos geometricamente como os ângulos apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Ângulos notáveis em solarimetria

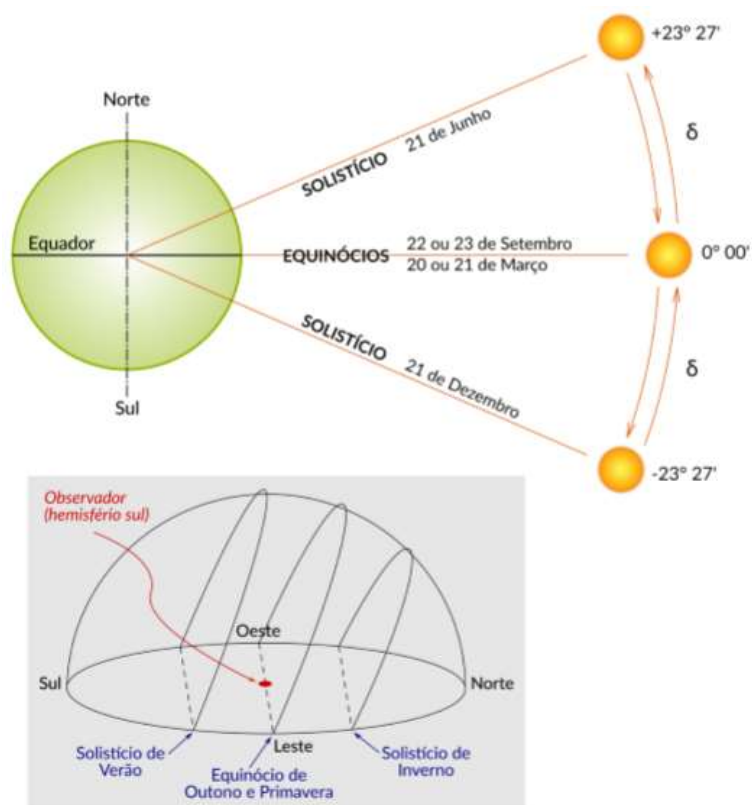


Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017, Pág. 16)

A declinação solar (δ) é o ângulo formado pela inclinação do plano equatorial da Terra e a linha de direção Sol-Terra. Apresenta variação entre $-23^\circ 27'$ e $+23^\circ 27'$ ao longo do período de um ano. Por convenção, as declinações são consideradas negativas quando a linha de direção Sol-Terra cruza a superfície no hemisfério Sul.

A Figura 7 indica a amplitude de valores da declinação ao longo do ano (PEREIRA et al., 2017)

Figura 7 – Amplitude de valores do ângulo de declinação



Fonte: Altas Brasileiro de Energia Solar (2017, Pág. 17)

O ângulo horário solar (ω) corresponde ao deslocamento angular aparente do Sol devido à rotação da terra e varia entre -180° e $+180^\circ$ (Pereira et al., 2017).

O ângulo solar zenital solar (θ_z) corresponde ao ângulo formado entre a vertical no ponto de observação e a direção da linha que liga o mesmo ponto da superfície da Terra ao Sol (PEREIRA et al., 2017).

O ângulo azimutal do Sol é o ângulo formado entre a linha de projeção da direção do Sol no plano horizontal com meridiano do observador, sendo possível variar de -180° a $+180^\circ$, onde o sinal positivo é dado a partir do sentido horário da direção ao norte geográfico (PEREIRA et al., 2017).

2.2.2 Radiação solar

A irradiância solar (W/m^2) em uma superfície é composta por dois tipos: a irradiação direta e a irradiação difusa. Sendo que a primeira representa a parcela da irradiação que não sofreu interferências nos processos radioativos de absorção e espalhamento que ocorrem na atmosfera. Já a irradiação difusa engloba a radiação proveniente de todas as interferências provocadas pelo processo de espalhamento devido aos gases e partículas presentes na atmosfera, (PEREIRA et al., 2017).

Conforme Tolmasquim (2016), a irradiação solar é aquela integrada durante o dia, medida em watt hora por metro quadrado (Wh/m^2), já irradiância solar (G) é o que incide em uma dada superfície, por unidade de área dessa superfície, medida em watt por metro quadrado (W/m^2).

Segundo o mesmo autor, para ter-se maior otimização do aproveitamento solar incidente na superfície terrestre, deve-se a orientar os painéis solares fotovoltaicos, de modo que o efeito da inclinação apresente maior relevância com o aumento da latitude. Logo o ângulo mais usual é igual a latitude local, orientando ao norte, no hemisfério sul, de maneira que a superfície receptora dos raios solares esteja perpendicular aos raios solares na maior parte do ano.

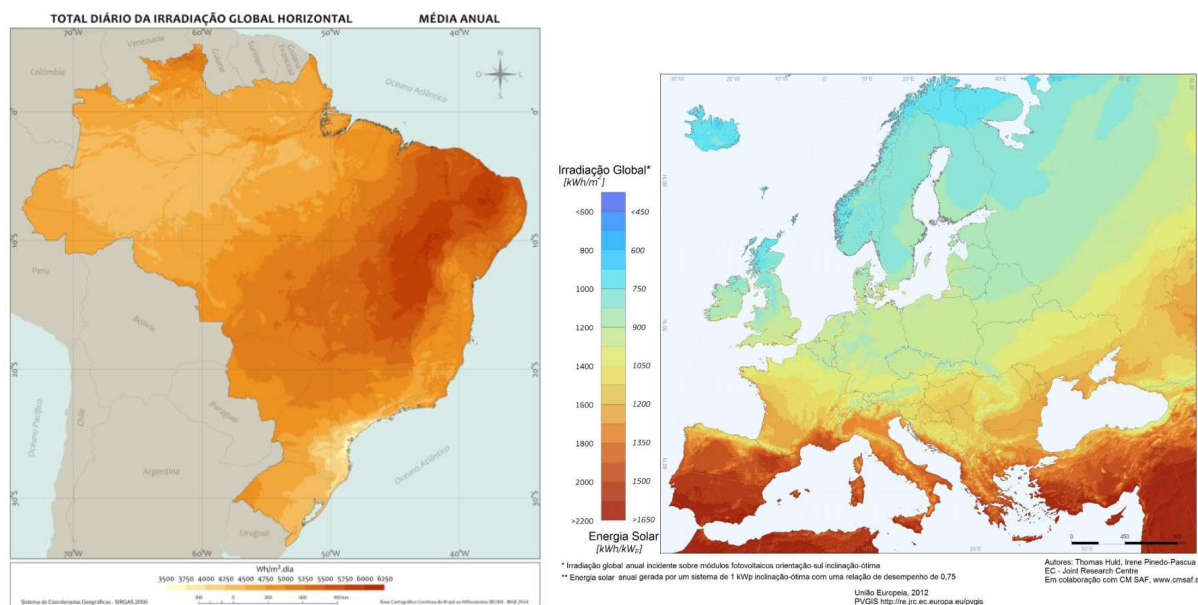
No entanto a inclinação do painel solar igual à latitude do local não deve ser adotada como regra, pois de acordo como Pinho e Galdino (2014), a inclinação mesmo em regiões equatoriais é aconselhável que se empregue um ângulo mínimo de 10° a -10° de maneira a evitar o acúmulo de sujeira sobre os módulos e favorecer a autolimpeza pela ação da água da chuva.

O valor da irradiação solar incidente em um plano inclinado na direção do equador e com uma inclinação igual à latitude local permite calcular a energia elétrica que pode ser convertida por um sistema fotovoltaico instalado nessas condições (PINHO; GALDINO, 2014).

A Figura 8 apresenta mapas da irradiação solar global horizontal do Brasil e do continente Europeu. Observa-se como o potencial disponível no Brasil é maior quando comparado com países Europeus, onde a conversão fotovoltaica já é utilizada largamente. Além do tamanho do país, observa-se que no território brasileiro há disponibilidade de irradiação solar equivalente ou melhor que nos países Sul da

Europa e superando países como, por exemplo, a Alemanha, país com capacidade instalada significativa de sistemas de geração fotovoltaica (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 8 – Mapa Brasileiro e Europeu de irradiação solar no plano inclinado - Média anual



Fonte: Pereira et al., (2017); Huld, Müller e Gambardella (2012)

Pereira et al., (2017) ressalta ainda que o potencial de geração fotovoltaica de energia elétrica no local de menor incidência de irradiação solar no Brasil possui potencial superior ao local maior potencial na Alemanha.

A faixa de variação da irradiação global horizontal média anual do Brasil é de aproximadamente de 1500 a 2200 kWh/m², superior à da maioria dos países referências da União Europeia, como, por exemplo, a Alemanha que possui irradiação entre 900 e 1250 kWh/m², Espanha entre 1200 a 1850KWh/m², França 900 a 1650 KWh/m², onde há forte disseminação de projetos fotovoltaicos por incentivos governamentais. Isto faz com que praticamente todo território brasileiro seja elegível à expansão do aproveitamento da geração de energia solar fotovoltaica (Pereira et al.,2006).

2.3 Sistema de informações geográficas

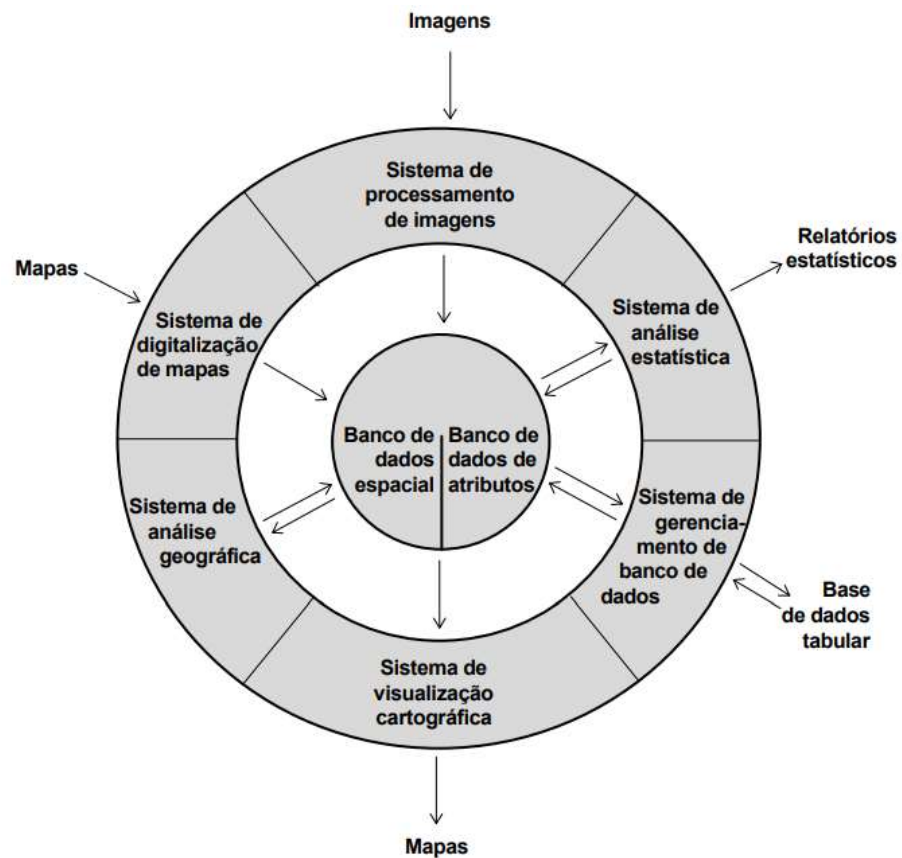
Um SIG é um sistema auxiliado por computador para aquisição, armazenamento, análise e visualização de dados geográficos (EASTMAN, 2006).

Atualmente uma variedade de software está disponível para auxiliar nesta atividade, muitas das quais definem a si próprias como um SIG. Entretanto, elas podem diferir significativamente umas das outras, em parte pela maneira como representam e trabalham os dados geográficos, em parte pela ênfase dada às várias operações, (EASTMAN, 2006).

Pirolí (2010) define os SIGs como sistemas que permitem realizar a manipulação de dados geograficamente referenciados, seus respectivos atributos e integração desses dados com diversas operações de análise geográfica. Sendo normalmente empregados em três aplicações fundamentais na área da geográfica: uma ferramenta para produção de mapas, e ainda para a geração e visualização de dados espaciais; como suporte para análise espacial de fenômenos e para a combinação de informações espaciais; podem ainda ser usados como banco de dados geográficos, que tem a função de armazenamento e recuperação de informações espaciais.

Segundo Eastman (2006), um SIG pode ser imaginado como uma peça de software única composta por uma variedade de elementos distintos. Os quais podem ou não estar todos integrados a um mesmo SIG. Entretanto, para ser um verdadeiro SIG, deve conter um grupo essencial de elementos conforme apresentado na Figura 9.

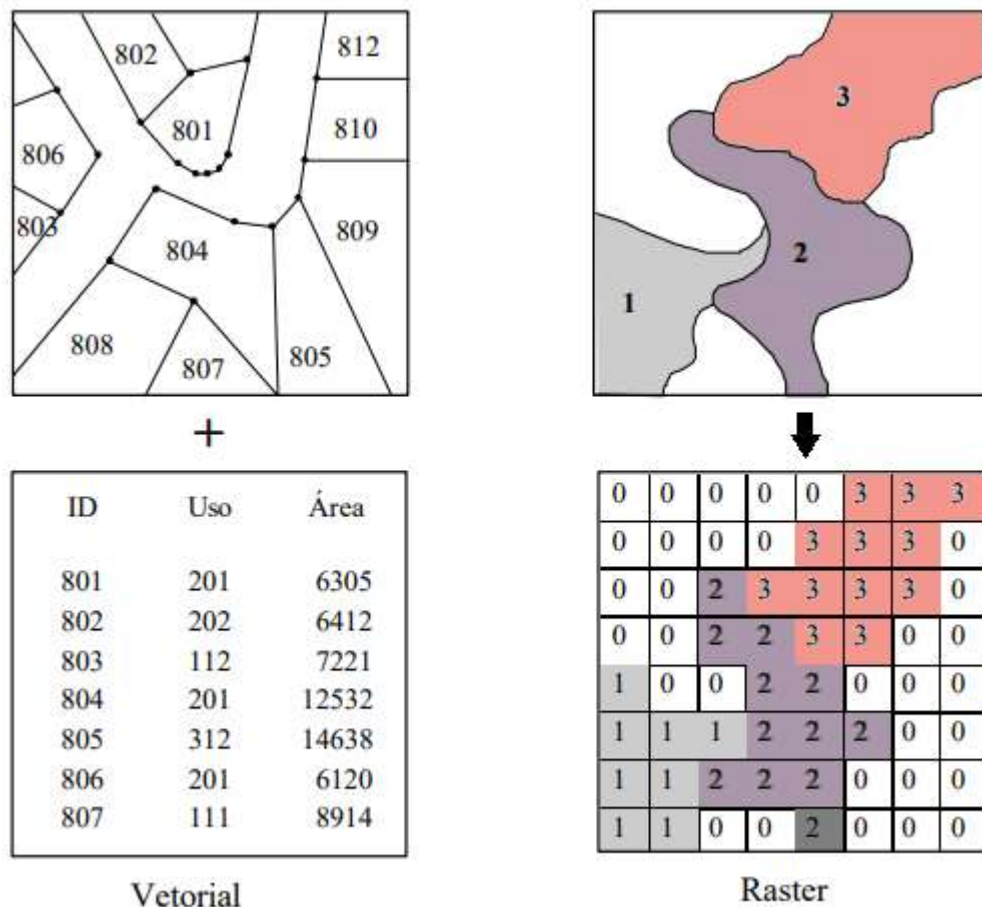
Figura 9 – Componentes de um SIG



Fonte: Eastman 2006, adaptado.

Conforme Eastman (2006), os sistemas de informações geográficas existentes, usam e sua maioria, uma ou duas combinações de dados a partir de técnicas fundamentais de representação de mapas: *Vector* (vetor) e *raster* (matricial). Sendo que a representação vetorial é definida por uma série de pontos, que quando unidos, formam feições geométricas codificadas em sistemas de coordenadas geográficas. No entanto, a estrutura *Raster* apresenta uma representação gráfica dos atributos em malhas de grade, formando células (pixels), nas quais estão registrados a condição ou o atributo da superfície no ponto do espaço analisado. Têm-se então as representações de diferentes formas dos dados espaciais representados na Figura 10.

Figura 10 – Representação de dados em formato vetorial e raster.

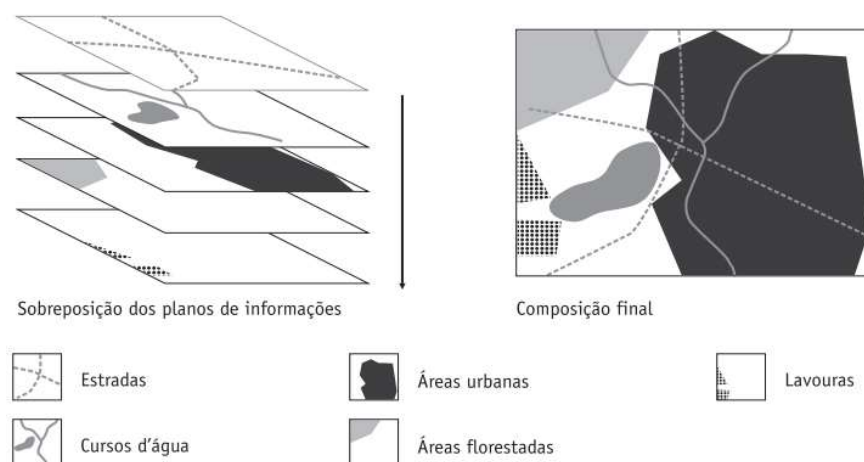


Fonte: Eastman 2006, adaptado.

2.3.1 Sobreposição de planos de informações

Segundo Fitz (2008), o procedimento mais importante diga respeito à capacidade do sistema SIG executar a sobreposição de camadas de dados espaciais, tal procedimento conhecido pela literatura como *overlay*. Em que de maneira geral, os softwares gráficos em SIG's, separam os dados em camadas de informações (*layers*) vinculadas a um banco de dados georreferenciados e podem ser livremente manipulados, gerando informações adicionais as pré-existentes. A Figura 11 representa uma simples sobreposição de planos de informações individuais e seu resultado final.

Figura 11 – Sobreposição dos planos de informações



Fonte: Fitz (2008)

Conforme Fitz (2008), a sobreposição de entidades gráficas pode ser feita tanto em arquivos vetoriais quanto matriciais, sendo que as diferenças entre os usos de uma ou outra estarão relacionadas diretamente com o objetivo do analista em questão. Pode-se assim, distinguir as sobreposições de planos de informações em duas maneiras: Sobreposição lógica (análise booleana) e sobreposição aritmética (adição, subtração, multiplicação etc.).

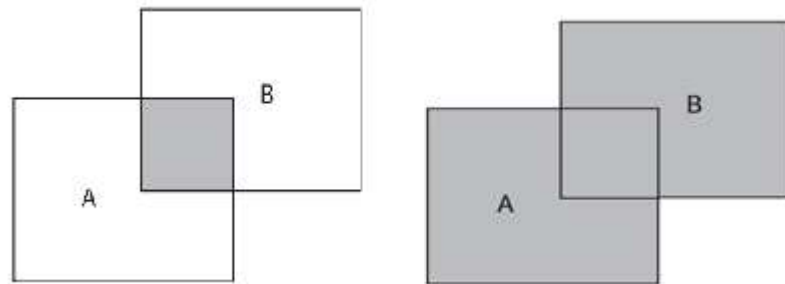
A sobreposição lógica trabalha os arquivos (vetoriais ou matriciais) a partir do empilhamento de diferentes camadas de dados. Em arquivos vetoriais, essa sobreposição traz como vantagem a manutenção dos vínculos dos arquivo-imagem com os dados alfanuméricos, além da possibilidade de articulação de camadas. Em arquivos matriciais, o procedimento de sobreposição de camadas gera um novo arquivo, dissociado dos originais. A Figura 11, anteriormente apresentada, demonstra esta ideia (FITZ, 2008).

Segundo Fitz (2008), os operados lógicos booleanos permitem realizar cruzamentos entre dois ou mais planos de informação. Sendo que as principais operações lógicas:

- Operação A <AND> B (Figura 12) retorna todos os elementos contidos na intersecção entre A e B;
- A <OR> B (Figura 12) retorna todos os elementos contidos tanto em A como em B;
- Operação A <NOT> B (Figura 13) retorna somente os elementos contidos exclusivamente em A;

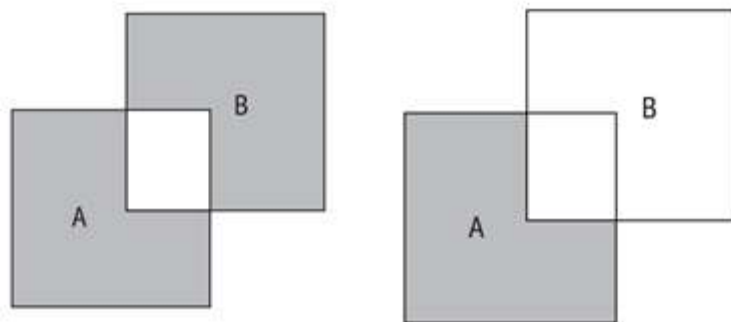
- $A \text{ <XOR> } B$ (Figura 13) retorna todos os elementos contido em A e B não incluídos na intersecção de A e B.

Figura 12 – Operação AND (esquerda) e operação OR (direita)



Fonte: Fitz (2008)

Figura 13 - Operação XOR (esquerda) e operação NOT (direita)



Fonte: Fitz (2008)

No que tange a sobreposição aritmética, Fitz (2008) ressalta em seu livro, que tal procedimento não é utilizado para formatos vetoriais. Assim sendo, a utilização de dados *raster* em sobreposição aritmética resulta uma modificação em cada pixel de acordo com a operação matemática utilizada, resultando um novo produto vinculado a experiência imposta pelo analista.

Segundo Janke (2010), quando se tem a utilização de ferramentas SIG para definições de áreas ideais para instalação de usinas solares e eólicas, a regra de sobreposição Booleana é uma forma simples de combinar diversos dados com a sobreposição espacial, com base em regras AND e OR. A regra AND apresenta resultados mais rígidos, já que todos os critérios estarão, ou não, de acordo com a definição do usuário. Já a regra OR é bastante liberal, pois os resultados serão

incluídos mesmo que apenas uma variável se encontre dentro dos limites estipulados pelo usuário.

2.4 Princípios básicos da análise multicritério

O método de Análise Hierárquica, mais conhecido como método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), é descrito por Oliveira e Belderrain (2008) como um dos métodos mais utilizados para apoio multicritério à decisão, cujos principais aspectos são: a) visa a orientar o processo intuitivo (baseado no conhecimento e experiência) de tomadas de decisão; b) depende dos julgamentos de especialistas ou dos decisores quando não há informações quantitativas sobre o desempenho de uma variável em função de determinado critério; c) resulta numa medida global para cada uma das ações potenciais ou alternativas priorizando-as ou classificando-as.

O método AHP, foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 70, apresentando como principal característica a decomposição hierárquica do problema, criando-se uma hierarquia de critérios e convertendo avaliações subjetivas de importância relativa, em um conjunto de pontuações e pesos gerais. A metodologia AHP compõe-se em três etapas principais: estruturação do problema; julgamentos comparativos e análise das prioridades (ROSSONI, 2011).

No método AHP, criado por Thomas Saaty (1981), o vetor de prioridades gerado pela comparação par a par dos elementos é obtido pelo cálculo do autovetor direto, associado ao autovalor máximo da matriz de decisão (OLIVEIRA e BELDERRAIN, 2008).

Para Eastman (2006) a avaliação de critérios múltiplos (Multi Criteria Evaluation – MCE) apresenta-se como um método muito usado para avaliar e agregar muitos critérios. Existem várias técnicas como, métodos *booleanos* simples, combinação linear ponderada e média ponderada ordenada.

2.4.1 Escala fundamental de Saaty

Saaty (1991) apresenta recomendações na aplicação do método AHP, onde as definições do grau de importância de cada critério, correlacionado a um número que representa a avaliação da relevância adotada desse critério, ocorrem de maneira que as atribuições dos pesos variem de 1 a 9, no qual o valor 1 representa a igualdade de importância entre os critérios e 9 corresponde extrema importância de um critério sobre o outro, como representado na Tabela 3.

Tabela 3 – Escala fundamental de julgamentos AHP pré-definidas por Saaty

Intensidade de importância	Pontuação	Forma de avaliação
1	Igual 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 à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou juízo favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores Intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero		Uma designação razoável.
Racionais	Resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Fonte: Saaty (1991)

2.4.2 Aplicações do método AHP em usinas solares

A análise multicritério é um fator comum na maioria dos estudos realizados para a avaliação da aptidão e/ou viabilidade para instalação de empreendimentos. Isso se deve ao fato de essa metodologia apresentar a capacidade de agregar diferentes critérios sem inter-relação alguma em um resultado prático (MOILOA, 2009). Dentre os métodos para realizar essa combinação dos critérios utilizados, os mais

comumente utilizados são a Sobreposição Booleana e a Combinação Linear Ponderada (MALCZEWSKI, 2004).

Alves (2013), em seu estudo utilizou ferramentas SIG para quantificar a radiação solar em seu ambiente de estudo e, por seguinte, a aplicação da técnica da análise multicritério (AHP) em combinação com os SIGs para definir as áreas mais favoráveis à instalação de usinas solares, onde os conjuntos de critérios adotados foram: disponibilidade de radiação solar, distância a rede de transporte de energia e viária, a declividade do terreno, o uso e ocupação do solo e por fim, a proximidade às linhas de água.

A utilização da técnica de análise multicritério aliada aos SIGs, mostra-se útil e objetiva na medida em que permite tomar a melhor decisão para a realização de qualquer infraestrutura numa determinada área (ALVES, 2013).

Vicari (2012) buscou em seu trabalho, identificar áreas com potencial de instalação de sistemas de geração de energia renováveis como a solar fotovoltaica, heliotérmica e eólica. Tendo sido necessário avaliar alguns fatores como: o potencial de geração de energia elétrica, a distância em relação às linhas de transmissão, estradas e áreas urbanas, declividade do relevo e cobertura do solo e alguns fatores restritivos como áreas de proteção ambiental e corpos de água. Tendo como ferramentas para avaliar a integração dos parâmetros adotados em seu estudo a análise multicritério (AHP) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para o geoprocessamento dos dados e elaboração do mapeamento.

Tal como observado na Figura 14, a primeira etapa é especificamente dedicada à busca por diferentes referenciais bibliográficos quanto a informações dos critérios adotados relativos à avaliação do potencial de instalação de uma usina solar fotovoltaica para geração de energia elétrica, de maneira que possam compreender os principais fatores utilizados para definir as áreas mais favoráveis para instalação das mesmas.

Esta etapa contempla também a pesquisa bibliográfica dos conceitos que são comumente abordados nos estudos de potencial de geração de energia solar fotovoltaica com auxílio de ferramentas SIGs para a análise, quantificação, ordenamento e exploração de geração de energia elétrica proveniente de fontes renováveis, especialmente a solar.

Seguindo o percurso metodológico ilustrado na Figura 14, tem-se a etapa 2, na qual seguiu-se a procura de documentos digitais georreferenciados que contemplem a área do estado de Santa Catarina. São expressos na Tabela 4 os dados recolhidos para construção deste estudo.

Tabela 4 – Relação dos dados base utilizados no estudo e suas respectivas fontes

Dados	Fonte
Irradiação Solar	LABREN/CCST/INPE
Relevo / Hidrografia	EPAGRI/FATMA
Arruamentos	FATMA
Uso e ocupação do solo	FATMA
Linhas de Transmissão	SIGEL ANEEL
Unidades de conservação	FATMA/IBAMA
Limites de Santa Catarina	SIGSC (SEPLAN 2013)

Fonte: Do autor

Todos esses dados são digitais e estão georreferenciados, tendo sido obtidos no formato vetorial ou raster e após a obtenção dos mesmos, foram organizados em um Sistema de Informações Geográficas, o qual irá facilitar a manipulação e conversão dos mesmos.

Na terceira etapa deste trabalho, tem-se a realização do pré-processamento dos dados dentro do software utilizado no estudo, Quantum GIS, o que inclui a criação e organização da Base de Dados Georreferenciados (Criação do SIG). Assim, teve-se início a conversão de sistemas de coordenadas geográficas dos diferentes

formatos digitais para o Datum: SIRGAS 2000 UTM Zona 22S (EPSG: 21982) como padrão.

Por seguinte tem-se o Geoprocessamento dos dados utilizando funções como Rasterizar, Distância Euclidiana para calcular em uma superfície contínua os valores das distâncias em relação ao atributo mais próximo para cada ponto da superfície, Buffer para delimitar espaçamentos, ferramenta Declividade para gerar um *grade* de declividade na área de estudo, entre outros que serão abordados de maneira mais detalhada no decorrer do estudo.

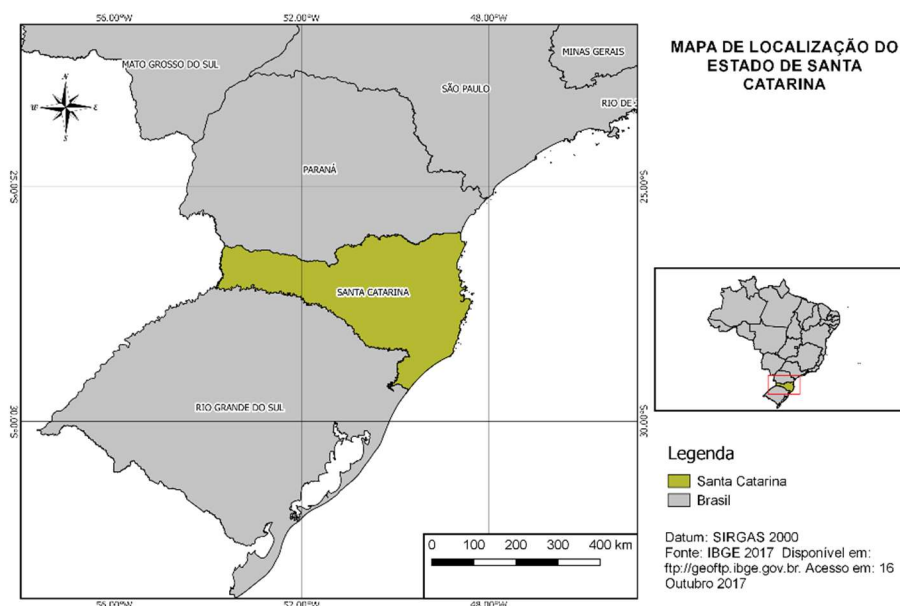
Na última etapa, a partir dos critérios definidos para localização de áreas mais favoráveis para instalação de usinas solares, tem-se a aplicação do método *Analytic Hierachy Process* (AHP) e análise dos resultados por ele gerados.

Nos subitens que seguem encontram-se descritas mais detalhadamente cada uma das etapas.

3.1 Delimitação da área de estudo

O Estado de Santa Catarina é o objeto de estudo desta pesquisa, o qual, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – Brasil (2019), tem uma área aproximada 95.730,921 km², localiza-se na Região Sul do Brasil conforme Figura 15.

Figura 15 – Delimitação de Santa Catarina, área abrangida pelo presente estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor

O estado de Santa Catarina encontra-se na região de latitudes média, faixa subtropical da zona temperada meridional, visto que o mesmo se encontra entre os paralelos de latitude 25°S e 30°S.

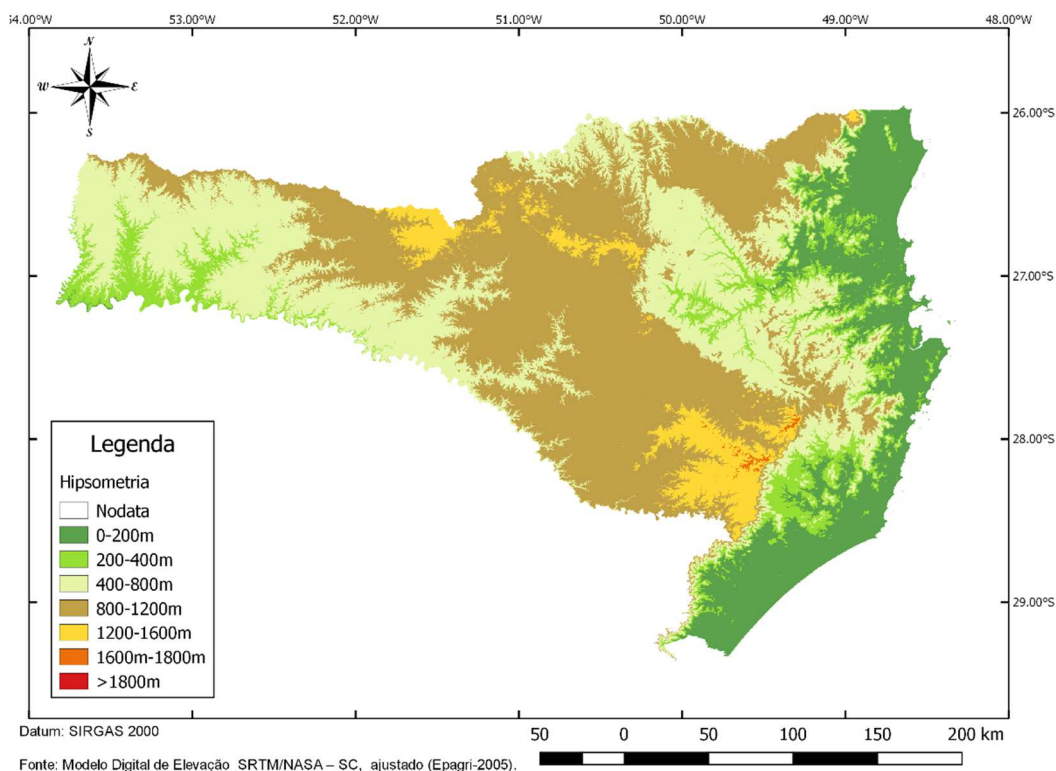
Segundo Oliveira (2016), o comportamento das altitudes no estado de Santa Catarina apresenta uma variação de 0 a 1.827 metros em virtude de soerguimentos epirogenéticos ocorrido no período Terciário (65 a 2,6 milhões de anos atrás), o qual afetou grande parte da região leste do estado criando um conjunto de serras.

O relevo Catarinense apresenta-se, conforme Figura 16, segmentado em diferentes intervalos de altitudes. Onde as altitudes baixas, 0 a 200 m, em geral, localizadas na faixa costeira alcançam o sopé da Serra Geral formando um grande contraste com a escarpa do planalto (Serra Geral). As altitudes de 200 a 400 m apresentam pouca representatividade no território Catarinense, localizadas próximas ao litoral (Serra Leste Catarinense) e em fundos de vales dos rios devido ao processo de forte erosão dos rios sobre os derrames de lavas (OLIVEIRA, 2016).

As altitudes mais comuns no estado de Santa Catarina são de 800 a 1200 m e caracterizam os terrenos da Serra do Mar e alguns outros conjuntos de serras como as Serras do Leste Catarinense, Serra Geral (Escarpa), Patamar de Mafra, Planalto de Lages e Planalto de Campos Gerais. Estes terrenos formam os divisores de águas das principais bacias hidrográficas do estado e compõem também características climáticas com temperaturas mais amenas em virtude destas altitudes serem mais elevadas (OLIVEIRA, 2016).

As altitudes maiores que 1200 m são menos comuns em Santa Catarina, mas ocorrem nas escarpas da Serra Geral onde são encontradas altitudes de até 1822 m (Pico da Igreja). Estes locais devido à elevada altitude, permitem em condições meteorológicas favoráveis, a ocorrência de neve (OLIVEIRA, 2016).

Figura 16 – Mapa hipsométrico de Santa Catarina

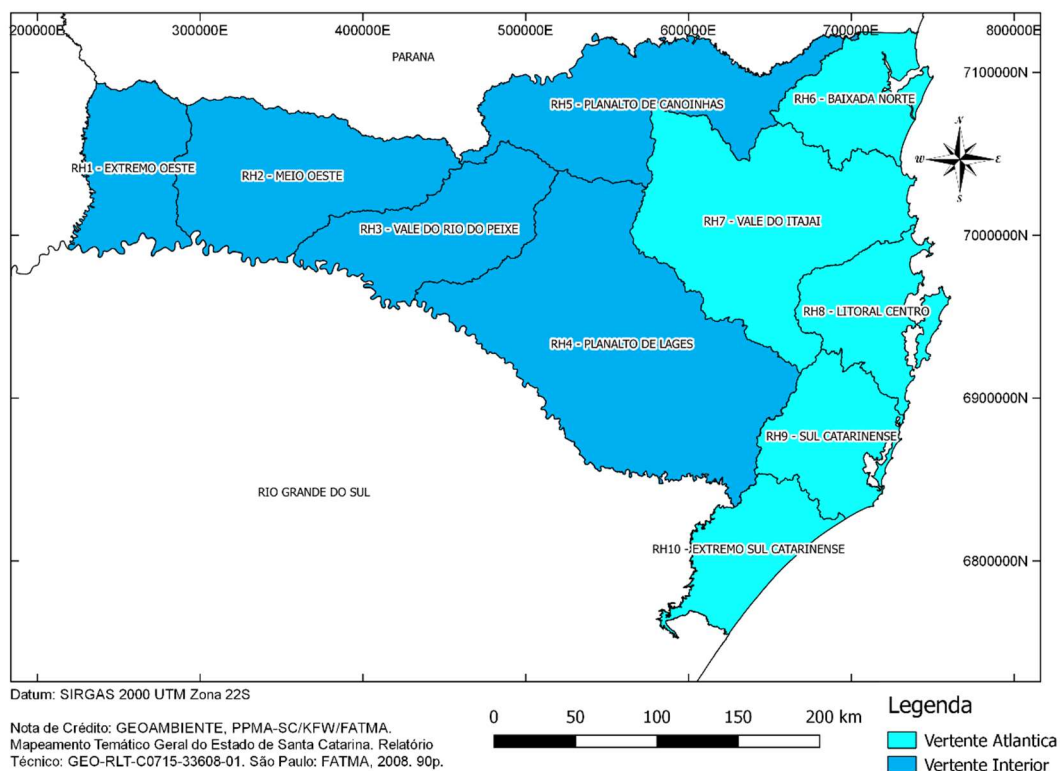


Fonte: Modelo Digital de Elevação SRTM/NASA-SC, ajustado EPAGRI (2005)

A hidrografia Catarinense tem na Serra Geral e Serra do Mar os principais divisores de água que compõem os dois sistemas de drenagem independentes no estado: o sistema integrado de vertente do interior, parte oeste do estado, contendo mais de 450 bacias hidrográficas de rio afluentes diretos do rio Uruguai e rio Iguaçu; e o sistema de vertente atlântica, região leste do estado, composto por mais de 320 bacias isoladas que fluem para o oceano atlântico. Assim, a rede hidrográfica Catarinense possui um total de 23 bacias hidrográficas consideradas de rios principais (OLIVEIRA, 2016).

Tem-se na Figura 17 o território catarinense subdividido em 10 regiões hidrográficas, sendo ela dividida em duas vertentes que determinam os principais divisores de águas das do estado. Vertente Inferior, que integra as regiões hidrográficas 1 á 5 e a vertente Atlântica que compõem as demais regiões.

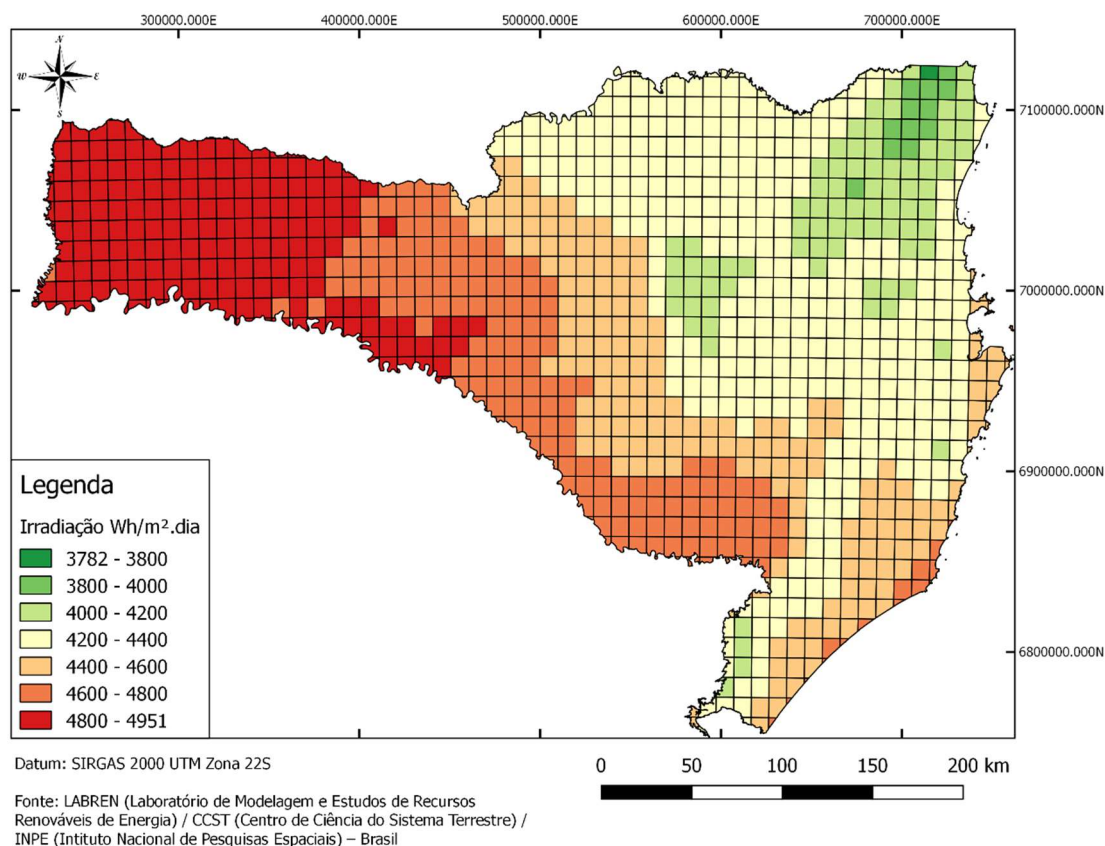
Figura 17 – Regiões hidrográficas de Santa Catarina.



Fonte: FATMA/SC (2008), adaptado.

A partir do mapa apresentado na Figura 18, referente a irradiação solar no plano inclinado na latitude incidente em Santa Catarina, fica evidente que o Oeste do estado (pertencente à Vertente do Interior) apresenta valores mais expressivos de irradiação solar. Em contrapartida, a região pertencente à vertente atlântica do Vale do Itajaí (nordeste do estado) apresenta os menores índices.

Figura 18 – Médias anuais da irradiação solar no plano inclinado na latitude em Wh/m².dia.



Fonte: LABREN/CCST/INPE – Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª edição (2017), adaptado.

3.2 Programa usado

A manipulação de dados espaciais neste estudo será dada a partir do software Quantum Gis (QGIS), o qual é gratuito, licenciado pela GNU (*General Public License*), baseado em um SIG (Sistema de Informação Geográfica).

A interface do software oferta várias ferramentas que possibilitam a criação e organização de Base de Dados Georreferenciados, bem como geoprocessamento de diferentes formatos de dados digitais.

O QGIS usa a biblioteca de código aberto OGR, para ler e gravar formatos de dados vetoriais, incluindo shapefiles ESRI, formatos de arquivo MapInfo e MicroStation, bancos de dados AutoCAD DXF, PostGIS, Spatialite, Oracle Spatial e MSSQL Spatial, e muitos mais. OGR apresenta suporte a 69 formatos vetoriais até o momento do presente estudo.

Portanto, o software apresenta-se como uma potencial ferramenta para viabilizar esta pesquisa

3.3 Etapa 1 – Definição dos critérios

Durante a revisão bibliográfica sobre a aplicação da análise multicritério em conjunto as ferramentas SIG, para determinação das áreas mais favoráveis para implantação de empreendimentos de fontes de energias renováveis, foram avaliados diferentes estudos para definir os principais fatores que influenciam na viabilidade técnica e econômica para instalação de empreendimentos de geração de energia solar fotovoltaica.

Janke (2010) define as variáveis como critérios que influenciam diretamente na aptidão de uma área para instalação de um empreendimento solar/eólico: o uso do solo, linhas de transmissão, radiação solar, terras federais, rede viária, densidade populacional.

Izeiroski et al. (2018) utiliza critérios preliminares, onde inicialmente tem-se a aplicação dos seguintes parâmetros para o geoprocessamento dos dados topológicos:

- Localizações com pequenas inclinações (Menores que 5%)
- Localizações com relação ao aspecto, ou seja, orientação e direção da encosta (sudeste sudoeste)

No que tange a fatores de natureza ecológica de maior influência na escolha dos locais mais propícios a instalação de usinas solares, Izeiroski et al. (2018) acrescentou em seus critérios a infraestrutura rodoviária, rede de drenagem, uso do solo e áreas de assentamento.

Alves (2013) define um conjunto de fatores de maior influência na análise da localização das áreas com maior aptidão a instalação de usinas solares na ilha de São Vicente em Cabo Verde, sendo seus critérios apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Critérios considerados na análise para localização de áreas favoráveis para instalação de parques solar

Critério	Justificativa	Situação Ideal
I. Potencial solar do lugar	A disponibilidade substancial de radiação solar influencia diretamente a aptidão de um lugar para instalação de um parque solar	Quanto maior o potencial ou incidência da radiação solar, mais energia pode ser produzida.
II. Proximidade as linhas de transmissão	À distância as linhas de transmissão de energia influenciam os custos de instalação e de transmissão de energia produzida.	Quanto mais próximo das linhas de transmissão melhor, pois menores serão os custos relacionados com a injeção da energia produzida na rede. Neste caso definiu-se que um parque deve estar localizado, no máximo, a 2000 metros das linhas de transmissão de energia elétrica.
III. Proximidade a rede viária	A distância do local onde se quer instalar o parque solar em relação à rede viária, também influencia os custos de instalação e manutenção do empreendimento.	Semelhante ao ponto anterior, dado que, quanto mais próximo da rede de estradas, menores serão os custos de instalação e manutenção. Por isso, definiu-se que o parque se deve localizar a uma distância máxima de 2500 metros de um troço de estrada.
IV. Uso do solo e ocupação do solo	Neste critério existe um conjunto de restrições ambientais, legais, e de planejamento territorial, que devem ser considerados na análise.	• Os parques devem respeitar uma distância mínima aos núcleos urbanos, pois constituem uma preocupação para a população. Deve também de evitar a poluição visual; • Evitar áreas protegidas que constituem condicionantes legais (servidão aeroportuária, áreas naturais protegidas); • Evitar árvores que produzem sombras (Acácias), de modo a não dificultar incidência da radiação solar;
V. Declive	Terrenos bastante inclinados podem causar problemas técnicos, e aumentar os custos de instalação, além provocar sombras e assim reduzir o potencial solar da área.	Quanto mais plana a área de instalação, menores serão os custos e mais fácil será a implantação técnica do parque.
VI. Hidrologia	Evitar construir nas principais linhas de água (leito das ribeiras), poços, furos.	A instalação de qualquer empreendimento deve respeitar uma distância de 300 metros das principais linhas de água.

Fonte: Alves (2013, p.63)

Garni e Awasthi (2017) apresentam em seu estudo critérios, tais como: irradiação solar, temperatura do ar, declividade do terreno, aspecto do terreno, proximidades de áreas urbanas, proximidade rodovia, proximidades a linhas de transmissão, áreas de proteção ambiental e lugares sagrados. A partir dos dados espaciais dos critérios, o procedimento seguinte utilizado foi à sobreposição de mapas dos critérios restritivos, apresentados na Tabela 6 de modo obter-se um mapa final de áreas de restrição em escala binária (1 e 0), onde “um” indica ausência de restrição e “zero” representa a presença de limitações, indicando que o desenvolvimento do projeto é impossível.

Tabela 6 – Camadas de restrições consideradas para escala de potencial Fotovoltaico na Arábia Saudita.

Restrição	Buffer
<i>Protected lands</i> (Áreas de proteção Ambiental)	<1000 metros
<i>Major roads</i> (Estradas principais)	< 500 metros
<i>Slope</i> (declividade)	≤5°
<i>Urban areas</i> (Áreas urbanas)	<1000 metros

Fonte: Garni e Awasthi (2017)

Por seguinte, Garni e Awasthi (2017) aplicam a técnica AHP para determinar a importância relativa de cada critério e o peso prioritário de cada um, conforme Tabela 7, para depois iniciar a sobreposição de mapas a partir de multiplicação ponderada, com finalidade de obter um mapa de áreas mais viáveis a instalação de usinas solares fotovoltaicas.

Tabela 7 – Tabela de pesos dos critérios propostos por Garni e Awasthi (2017).

Critério	Peso
Irradiação Solar	0,350
Temperatura do ar	0,237
Declividade	0,159
Aspecto do Terreno	0,106
Proximidade a áreas urbanas	0,032
Proximidade a rodovias	0,046
Proximidade a Linhas de transmissão	0,070

Fonte: Garni e Awasthi (2017)

Uyan (2013) abordou em seu estudo dois tipos de critérios na seleção das áreas mais aptas a instalação de usinas solares. Tendo como critérios os fatores ambientais e fatores econômicos, onde nos fatores ambientais têm-se o uso do solo e a distância de áreas residenciais. Cujas regiões com distâncias menores que 500 metros de

centros residenciais apresentam aspecto negativo, pois dificultariam o crescimento urbano da população. No entanto, neste trabalho, serão adotadas as áreas urbanizadas como favoráveis, visando o aproveitamento de zonas industriais próximas a centros urbanos. Quanto ao uso do solo, Uyan (2013) tem a visão como um dos fatores ambientais mais importantes a serem considerados, sendo as áreas de uso para agricultura e solos expostos (áreas estéreis) como as mais adequadas para implantação de uma usina solar.

No que tange os aspectos econômicos, tem-se a topologia do terreno. Onde Uyan (2013) apresenta o critério declividade e aspecto do terreno como um fator único, definindo uma declividade limite de 3% para todas as direções do aspecto do terreno. Outro critério também utilizado foi a distância de rodovias onde se limitou a uma distância de 5 quilômetros. Por último, o critério de proximidade de linhas de transmissão foi apresentado como fator de grande importância econômica, limitando a uma distância de 10 quilômetros.

A partir de tais referenciais apresentados, optou-se por fazer pequenas adaptações para adequar-se ao estudo realizado e à realidade de Santa Catarina. Serão, portanto, adotados como critérios: irradiação solar, declividade, proximidade de linhas de transmissão, proximidade a áreas urbanizadas e arruamentos, unidades de conservação, uso e ocupação do solo e hidrografia. No subitem 3.6 será apresentado de forma mais detalhada o cálculo da matriz adotada no método AHP com os pesos adotados nesta pesquisa.

3.4 Etapa 2 – Obtenção dos dados e pré-processamento

Como já citado, os dados da Tabela 4 serão utilizados e o processamento de cada um deles será apresentado de maneira mais detalhada nos subitens a seguir.

3.4.1 Unidades de conservação

As restrições adotadas foram escolhidas através da revisão de literatura realizada anteriormente, onde optou-se por adaptá-las para a realidade de Santa Catarina.

As unidades de conservação federais e estaduais foram obtidas gratuitamente e estão apresentadas na Tabela 8, as quais estão discretizadas por suas características geodésicas e fontes.

A realização do pré-processamento é iniciada com a sobreposição das camadas e através da ferramenta Mesclar Camadas Vetoriais no software QGIS, tem-se a obtenção de uma única camada de unidades de conservação, com intuito de que posteriormente possam ser geoprocessadas e combinadas com demais critérios.

Tabela 8 – Fonte de dados das unidades de conservação

Camada	Datum	Fonte
Unidades de conservação federal	SIRGAS 2000 - UTM 22S	ICMBio – Atualizada em junho 2018
Unidades de conservação Estadual de proteção integral	SIRGAS 2000 - UTM 22S	IBAMA e FATMA
Unidades de conservação Estadual de uso sustentável	SIRGAS 2000 - UTM 22S	FATMA 2017

Fonte: Do Autor

3.4.2 Declividade do terreno

Os dados para obtenção de informações de declividades do relevo do estado de Santa Catarina são obtidos a partir do Modelo digital de elevação (MDE), realizado a partir de dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), em formato Geotiff, com resolução espacial de 20 metros, georreferenciado no sistema WGS84, fornecido gratuitamente pela EPAGRI-SC.

O pré-processamento tem início com a transformação do sistema de georreferenciamento de WGS84 para SIRGAS 2000 UTM Zona 22S, através da ferramenta Reprojetar no software QGIS para padronizar com demais dados utilizados no presente estudo.

3.4.3 Hidrografia

A rede hidrográfica foi obtida através de mapeamentos disponibilizados pela FATMA, nos quais teve-se a sua elaboração a partir do âmbito de um projeto de

preservação da mata atlântica, resultado de cooperação financeira bilateral entre o Governo do Estado de Santa Catarina/FATMA/SDS e o Governo Federal da Alemanha por intermédio do KfW Entwicklungsbank.

Tais temas de mapeamentos foram processados com base nas características apresentadas no relatório técnico GEO-RLT-C0715-33608-01, sendo apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Meta dado da Hidrografia

Tema	Descrição
Hidrografia	• Hidrografia linha: Arquivo referente à Hidrografia Unifilar da base cartográfica fornecida pela EPAGRI e atualizada com imagens SPOT 4. A atualização da hidrografia foi realizada nos elementos representáveis na escala 1:50.000 sobre as imagens SPOT 4 de 2005 e classificadas de acordo com os atributos existentes nos arquivos vetoriais fornecidos pela EPAGRI. Os dados da base cartográfica foram produzidos a partir das escalas 1:50.000 e 1:100.000, portanto podem ocorrer diferenças de detalhamento. Não é recomendável utilizar o mapa em escalas maiores. • Hidrografia polígono: Arquivo refere-se ao tema de Hidrografia Bifilar retirado do mapeamento do Uso e Ocupação do Solo. As atividades envolvidas para a geração deste mapeamento são reconhecimento dos padrões espectrais, classificação e edição.

Fonte: FATMA (2008), adaptado.

Ressalta-se que na instalação de qualquer empreendimento fotovoltaico de maior porte optou-se por respeitar uma distância de afastamento mínimo de 30 metros dos principais trechos de massa de água, conforme atende aos requisitos legais ambientais dispostos no código florestal, lei nº 12.727/2012, visto que a instalação de usinas solares com interferências de rios ou lagos dificultaria a sua implantação e a tornaria passível de ocorrências de sinistros.

Logo a partir das considerações apresentadas acima, tem-se inicialmente o pré-processamento dos dados fornecidos pela fonte. Sendo iniciado com a ferramenta *Mesclar Camadas Vetoriais* em ambiente QGIS, visto que os dados disponibilizados são fornecidos e dez partes de diferentes regiões hidrográficas de Santa Catarina. Feito isso, tem-se a utilização da ferramenta *Rasterize* no software QGIS de resolução espacial de 10x10 metros de modo a representar a hidrografia do estado de Santa Catarina.

3.4.4 Arruamentos

O banco de dados utilizado neste critério provém de mapeamentos disponibilizados pela FATMA, com base nas características apresentadas no relatório técnico GEO-RLT-C0715-33608-01, sendo expressas na Tabela 10 abaixo.

Tabela 10 – Meta dados dos Arruamentos

Tema	Descrição
Transporte	• Arquivo referente ao Sistema de Transporte contendo outras estradas, arruamento, caminho e trilhas da base cartográfica fornecida pela EPAGRI e atualização das rodovias federais e estaduais com imagens SPOT 4. • O arquivo possui outras estradas, arruamento, caminho, trilhas, rodovias federais e rodovias estaduais. A atualização das rodovias foi realizada nos elementos representáveis na escala 1:50.000 sobre as imagens SPOT 4 de 2005 e classificadas de acordo com os atributos existentes nos arquivos vetoriais fornecidos pela EPAGRI ou com base em mapas rodoviários de apoio (DNIT). Os dados da base cartográfica foram produzidos a partir das escalas 1:50.000 e 1:100.000, portanto podem ocorrer diferenças de detalhamento. Não é recomendável utilizar o mapa em escalas maiores. • A atualização das ferrovias foi realizada nos elementos representáveis na escala 1:50.000 sobre as imagens SPOT 4 de 2005 e classificadas de acordo com os atributos existentes nos arquivos vetoriais fornecidos pela EPAGRI. Os dados da base cartográfica foram produzidos a partir das escalas 1:50.000 e 1:100.000, portanto podem ocorrer diferenças de detalhamento. Não é recomendável utilizar o mapa em escalas maiores.

Fonte: FATMA (2008), adaptado.

A partir dos dados disponibilizados pela FATMA, tem-se a elaboração do pré-processamento dos dados, onde o mesmo será inicialmente aplicado à ferramenta *Mesclar Camadas Vetoriais* em ambiente QGIS, pois os dados também são fornecidos em dez partes. Feito isso, tem-se a conversão dos dados para o sistema de georreferenciamento para SIRGAS 2000 UTM ZONA 22S.

Por seguinte, tem-se utilização da função *Rasterize* no software QGIS, obtendo automaticamente um *raster* de resolução espacial de 10x10 metros que representa os arruamentos.

3.4.5 Linhas de transmissão

A obtenção dos dados de linhas de transmissão foi realizada a partir do Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL), que reúne dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com o objetivo de disponibilizar essas informações a investidores, estudantes, consumidores e público em geral. Visto que o acesso às informações resulta em dados para o planejamento e monitoramento do setor, bem como para pesquisas no âmbito acadêmico.

Ressalta-se a necessidade do pré-processamento dos dados de linhas de transmissão, onde se tem primeiramente a restrição dos dados ao estado de Santa Catarina através da ferramenta *Corte* em software QGIS. Seguido também da necessidade da transformação do sistema de georreferenciamento de SIRGAS 2000 fornecida pela fonte para SIRGAS 2000 UTM ZONA 22S, através da ferramenta *Reprojetar*, de modo a padronizar com demais dados utilizados no presente estudo. Por seguinte deve-se realizar a conversão dos dados digitais de vetor para *Raster* através da ferramenta *Rasteizar* no software QGIS, obtendo um *Raster* com resolução espacial 10x10 metros, para que posteriormente seja aplicada a ferramenta *Proximidade Raster* (Distância Euclidiana) e geoprocessamento com demais critérios.

3.4.6 Uso e ocupação do solo

Os dados de uso e ocupação do solo usados no presente trabalho foram obtidos através do mapeamento realizado pela FATMA na escala de 1:50.000 e 1:100.000, o qual foi obtido a partir de classificação digital e interpretação visual de imagens SPOT-4, com resolução espacial de 10m, datadas de 2005 e fornecidas pela Spot Image S.A., França.

Tais temas de mapeamentos foram processados com base nas características apresentadas no relatório técnico GEO-RLT-C0715-33608-01, sendo apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Meta dado do uso do solo e cobertura vegetal

Tema	Descrição
Uso do Solo e Cobertura Vegeta	Em relação ao Estado, refere-se ao mapeamento do Uso e Ocupação do Solo com onze classes. As atividades envolvidas para a geração deste mapeamento são reconhecimento dos padrões espectrais, classificação e edição. Para a geração do mapeamento foram utilizadas as imagens SPOT 4 ortorretificadas, com resolução de 10 metros. Como material de apoio foram utilizados dados do DNPM, Base Cartográfica e Zoneamento Agroecológico fornecidos pela EPAGRI, DEM SRTM e Mapa de Vegetação do IBGE. Foi realizado trabalho de campo no Estado de Santa Catarina para a identificação dos padrões espectrais das classes do mapeamento do uso e ocupação do solo. As cenas foram submetidas ao processo de segmentação e classificação não-supervisionada. Foram realizadas edições da classificação e interpretação visual, gerando as seguintes classes: Florestas: Estágio Inicial (Pioneiro) e Estágio Médio ou Avançado / Primárias; Vegetação de Várzea e Restinga; Mangues (Formação Pioneira Exclusiva); Reflorestamento; Pastagens e Campos Naturais; Agricultura; Área Urbanizada e Construída; Área de Mineração; Solo Exposto; Corpos D'Água. Para finalizar o mapeamento e eliminar algumas dúvidas foi realizado o trabalho de campo em duas fases.

Fonte: FATMA (2008), adaptado.

Consequente a aquisição dos dados gratuitos disponibilizados pela FATMA, tem-se a iniciação do pré-processamento dos dados, onde primeiramente os mesmos serão sujeitos à aplicação da ferramenta *Mesclar Camadas Vetoriais* em ambiente QGIS, pois os dados são fornecidos também em dez regiões hidrográficas. Terminada esta etapa, tem-se a transformação dos dados vetor para o formato *Raster* através da ferramenta *Rasterizar*, obtendo um *Raster* das classes definidas pela FATMA com resolução espacial de 10x10 metros.

3.4.7 Irradiação solar

Os dados de radiação solares foram originados pelo LABREN (Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia) / CCST (Centro de Ciência do Sistema Terrestre) / INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) – Brasil. Contendo informações das médias anuais e mensais da irradiação solar no plano inclinado na latitude em Wh/m².dia para o Brasil com resolução espacial de 10km georreferenciado no Datum SIRGAS 2000.

Na validação das estimativas produzidas pelo modelo BRASIL-SR, foram utilizados dados observados nas estações solarimétricas da rede SONDA, em

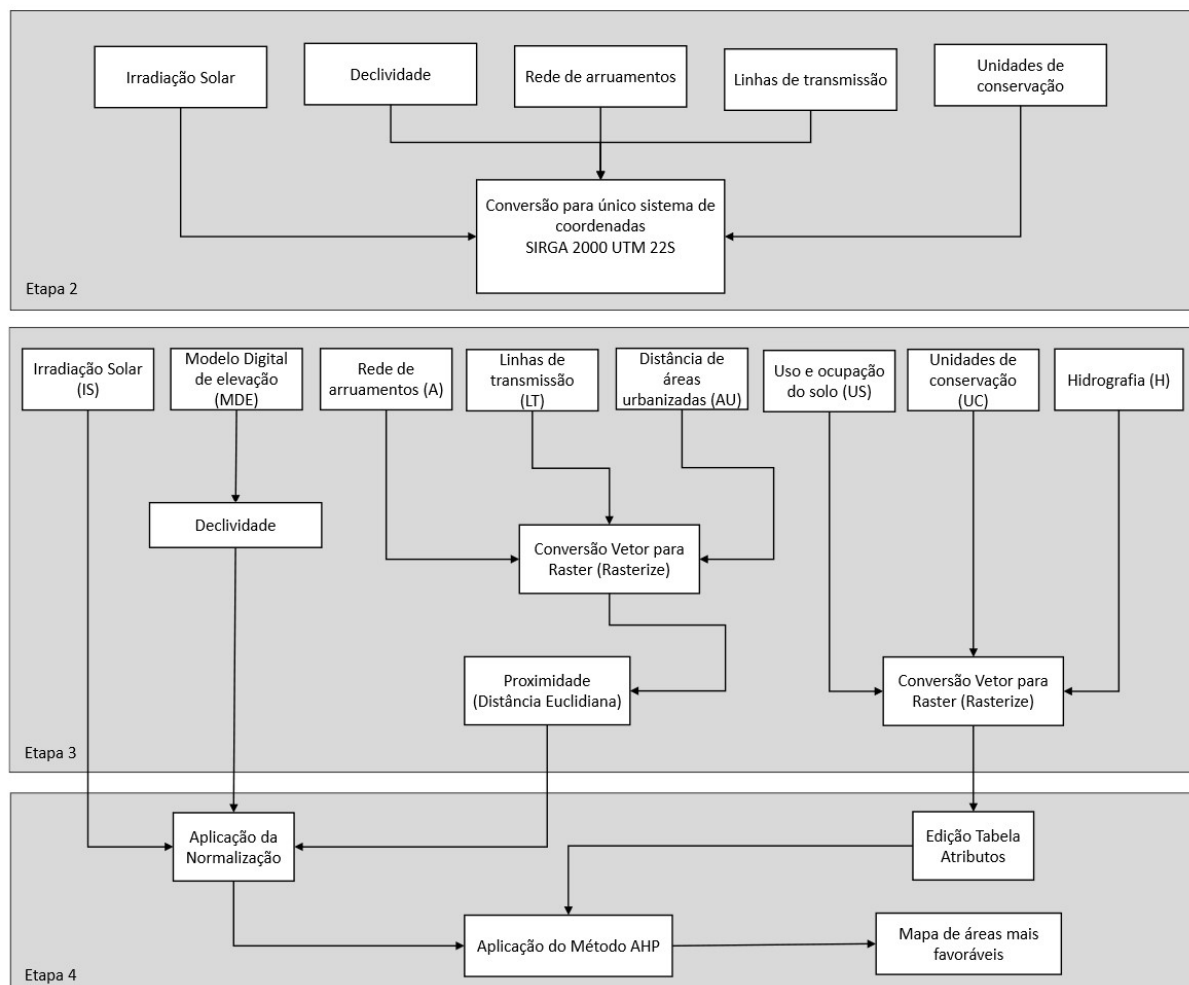
estações privadas e em estações meteorológicas automáticas operadas pelo INMET. A base de dados observados utilizada no procedimento de validação compreende o período de 2005 a 2015, totalizando 503 estações de superfície com qualidade adequada para participar da validação das estimativas fornecidas pelo modelo BRASIL SR. Os testes de qualidade dos dados observados incluíram critérios para identificar valores superiores aos limites físicos e presença de variabilidade temporal, intercomparação de observações com sensores distintos e comparação com modelos numéricos de céu claro (clearsky), para eliminar tanto quanto possível os registros suspeitos. O procedimento de controle de qualidade dos dados medidos nas estações de validação pode ser verificado em Silva et al.2014, (PEREIRA et al., 2017).

O pré-processamento dos dados de irradiação solar no plano inclinado teve início com a utilização da ferramenta *Recorte* no QGIS, onde se restringiu os dados ao estado de Santa Catarina e por seguinte a ferramenta Reprojetar Camada para conversão ao sistema de referência de coordenadas SIRGAS 2000 UTM Zona 22S, a fim de que posteriormente sejam normalizados os atributos e geoprocessados com demais critérios com os mesmos padrões de georreferenciamento.

3.5 Etapa - 3 Processamento dos dados

Depois de realizado o pré-processamento e a definição dos critérios, ainda não se passou para a fase de geoprocessamento dos dados no Software QGIS, com finalidade de obterem-se as áreas mais favoráveis para instalação de sistemas solares fotovoltaicos. Os procedimentos metodológicos das etapas precedentes e futuras estão representados no fluxograma na Figura 19.

Figura 19 – Fluxograma de geoprocessamentos para obtenção do mapa de potencial solar fotovoltaico



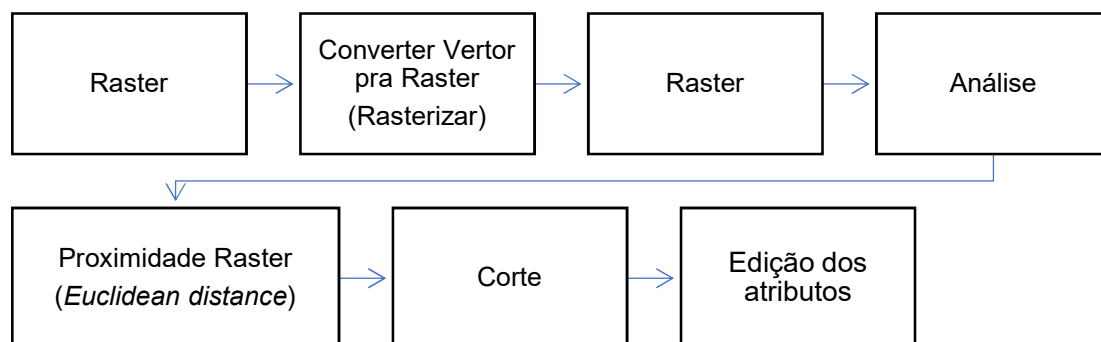
Fonte: Autor

3.5.1 Linhas de transmissão

A proximidade com linhas de transmissão de energia é também, um dos critérios abordados no presente trabalho como visto anteriormente, pois caso não houvesse acesso próximo a uma linha de transmissão seria necessário à construção de uma rede que comporte a geração de um sistema de geração solar fotovoltaica.

Os procedimentos de geoprocessamento de tal critério estão representados na Figura 20.

Figura 20 – Fluxograma de geoprocessamento das Linhas de transmissão



Fonte: Do autor

O parâmetro usado para a aplicação da ferramenta *Proximidade Raster* (Distância Euclidiana) no software QGIS será a distância máxima de 50km, que por sua vez acaba gerando uma imagem do tipo *raster*, em que cada pixel (10x10 metros) corresponde um valor de distância da linha de transmissão. Após realizar este procedimento, foi aplicada a ferramenta *Corte* da imagem a fim de avaliar somente as distâncias dentro da área delimitada no estudo.

Ressalta-se que a distância máxima analisada é dada de acordo com as dimensões da área estudada, Alves (2013) optou por adotar uma distância máxima de 2,50 Km (quilômetros) em uma área de estudo de aproximadamente 220 km² (quilômetros quadrados). Uyan (2013) utilizou uma distância limite de 10 km na região de Konya na Turquia, com área de 6035Km², Machado (2017) e Garni e Awasthi (2017) adotaram o valor limite de 50Km para o estado do Rio Grande do Sul, localizado ao sul do Brasil, e Arábia Saudita respectivamente, o mesmo adotado nesta pesquisa.

No que concerne ao processo de edição de tributos, tem-se a realização da normalização dos mesmos na etapa 4 como informado na Figura 19, de modo a variar os atributos de 0 a 1.

3.5.2 Arruamentos e hidrografia

Nesta etapa, a partir dos dados de arruamentos, fonte apresentada no 3.4.4, os mesmos recebem os procedimentos utilizados no critério distância de linhas de transmissão, diferindo apenas o valor máximo dado a ferramenta *Proximidade Raster*, que neste quesito é adotado ao valor máximo de 2,50 quilômetros conforme Tabela 5

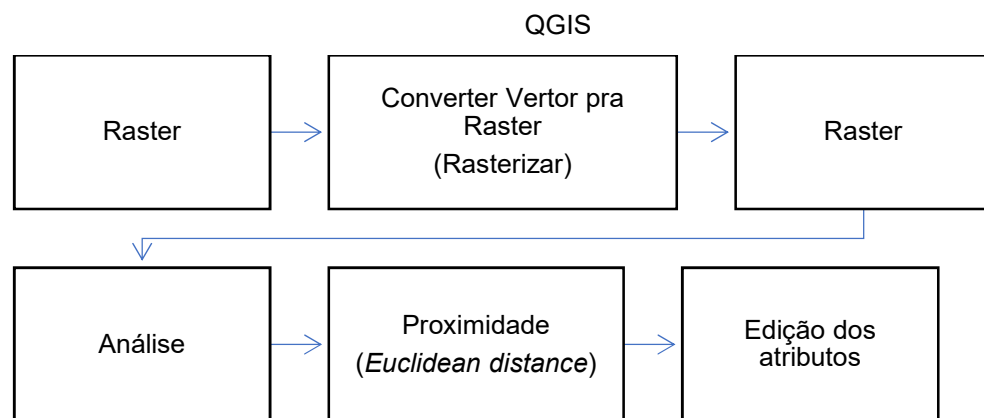
apresentada por Alves (2013), pois como citado pelo mesmo, a distância onde se pretende instalar uma usina solar e a rede viária possui influência direta no custo de instalação e manutenção do empreendimento.

Feito isso, é possível realizar a normalização das distâncias, onde a maior distância de arruamentos representa o valor 0, que corresponde a menor aptidão e a menor distância valor 1, maior aptidão.

No que toca a hidrografia, a fonte de dados apresentada no item 3.4.3, será realizada a aplicação da ferramenta *Buffer*, a fim de delimitar as áreas com distâncias de até 30 metros da rede hidrográfica, que por sua vez terá a sua tabela de atributos alterada de maneira que regiões situadas até 30 metros recebam atributo 0 e demais áreas atributo 1. Feito isso, tem-se a transformação para o formato *Raster* respeitando os valores atribuídos anteriormente.

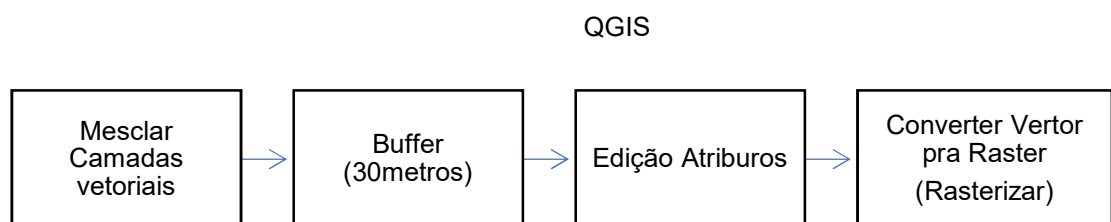
Ressalta-se que o valor de 30 metros adotado atende aos requisitos legais ambientais dispostos no código florestal, lei nº 12.727/2012.

Figura 21 – Fluxograma de geoprocessamento Mapa de Arruamentos em ambiente



Fonte: Do autor

Figura 22 – Fluxograma de geoprocessamentos Mapa de Hidrografia em ambiente

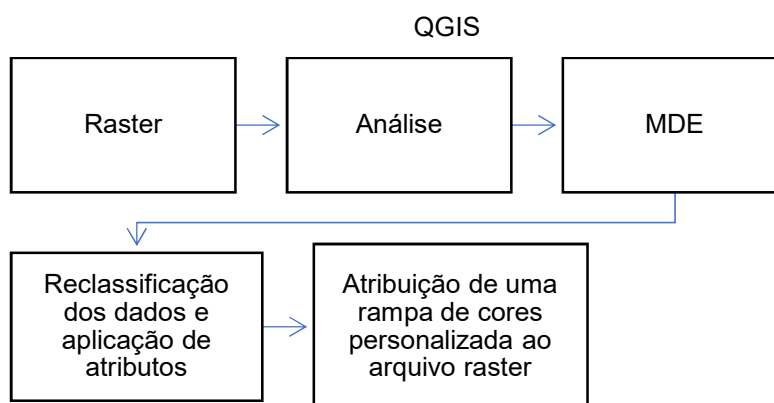


Fonte: Do autor

3.5.3 Declive do terreno

A obtenção das declividades no estado de Santa Catarina teve início no ambiente do QGIS com a importação do arquivo Modelo Digital de Elevação (MDE) e por seguinte a aplicação dos seguintes geoprocessamentos representados na Figura 23 abaixo:

Figura 23 – Fluxograma de geoprocessamento Mapa de Declividade em ambiente



Fonte: Do autor

Como visto na revisão de literatura, as áreas mais favoráveis são aquelas que apresentam declividades pequenas, pois devido aos custos de movimentação de terra e limitação da resistência das estruturas de suporte dos painéis solares.

Logo, definiu-se que as áreas planas e suavemente onduladas ajudarão a evitar o alto custo de construção exigido em áreas mais íngremes, estabeleceu-se por limitar a inclinação para 5% em todas as direções do aspecto do terreno.

Na etapa de geoprocessamento do MDE, tem-se a utilização da ferramenta Declividade no software QGIS, a qual gera como produto uma *grade* (raster) de declividade para toda área contemplada no estudo. O produto gerado é um mapa temático de declividade com representação gráfica em cores expressos em classes com agrupamento de intervalos. Feito isso, a ferramenta de Reclassificação em ambiente QGIS é utilizada para delimitar o intervalo de declividade a ser utilizado no estudo e por seguinte a realização da normalização desse critério de modo a variar de 0 a 1. Também nesta etapa, foi elaborado um *Raster* de declividade contendo valores 1 para declividades até 5% e 0 para demais declividades, com intuito de criar

um *Raster* restritivo, o qual é utilizado para multiplicar a soma ponderada do potencial solar fotovoltaico.

3.5.4 Uso e ocupação solo

Visto que este parâmetro apresenta um dos fatores mais importantes a serem computados no estudo conforme apresentado por Uyan (2013). Em que as áreas mais favoráveis para instalações de usinas solares fotovoltaicas têm-se em áreas agricultáveis e solos expostos bem como a relação com a proximidade de centros urbanos. Porém, diferente de Uyan (2013), as áreas urbanizadas neste estudo serão computadas como critério favorável, com valor 1, com intuito de incluir áreas industriais urbanizadas.

Desta forma, a partir de dados disponibilizados pela FATMA e já pré-processados tem-se a edição das tabelas de atributos e definição das ponderações das classes a serem usadas no presente estudo apresentada na Tabela 12.

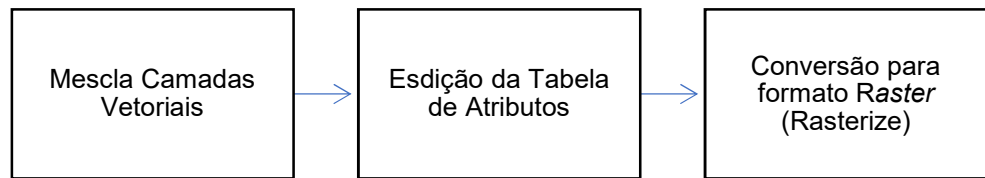
Tabela 12 – Ponderação do uso e ocupação do solo na tabela de atributos.

Classe	Ponderação
Agricultura	1
Área de Mineração	1
Área Urbanizada e/ou construída	1
Corpos d'água	0
Florestas em estágio inicial	0
Florestas em estágio médio ou avançado	0
Mangues	0
Pastagem e campos naturais	1
Reflorestamentos	0
Solo exposto	1
Vegetação de várzea e restinga	0

Fonte: Do autor

Estão apresentados na Figura 24 os processamentos realizados em ambiente QGIS para obtenção em formato *Raster* do mapa de uso e ocupação do solo.

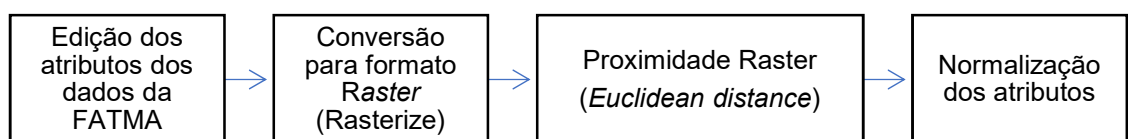
Figura 24 – Fluxograma de geoprocessamento Mapa de Uso e ocupação do solo em ambiente QGIS



Fonte: Do autor

A partir dos dados de uso e ocupação do solo serão extraídas as áreas urbanizadas, através da edição na tabela de atributos, as quais serão sujeitas a ferramenta *Proximidade Raster* para representar as distâncias relativas a centros urbanos, onde as regiões de maior aptidão receberão atributo 1 por estarem situadas mais próximas e as de menor, zero, por estarem mais distantes.

Figura 25 – Fluxograma de geoprocessamento Mapa de distância de áreas urbanizadas em ambiente QGIS



Fonte: Do autor

3.5.5 Unidades de conservação

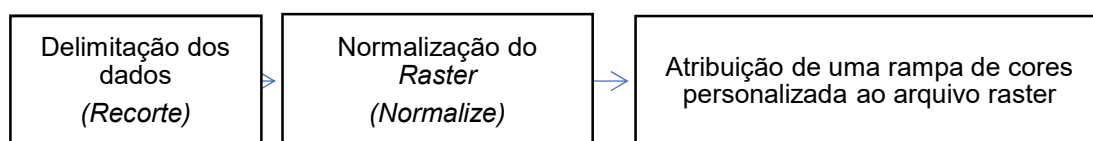
Os dados de unidades de conservação, foram submetidos apenas a conversão dos dados do tipo vetor para raster, através da ferramenta “Rasterize” do QGIS. Por seguinte foi realizado a edição da tabela de atributo do mesmo, onde foi definido valor 0 para áreas contidas nas unidades de conservação e valor 1 para as demais áreas.

3.5.6 Irradiação solar

Os geoprocessamentos necessários para os dados de irradiação solar em ambiente QGIS estão expressos de maneira simplificada na Figura 26.

Ressalta-se que estes dados contém as informações das médias anuais e mensais da irradiação solar no plano inclinado na latitude em Wh/m².dia.

Figura 26 – Fluxograma de geoprocessamento Mapa de Irradiação Solar em ambiente QGIS



Fonte: Do autor

3.6 Etapa 4 – Aplicação do método AHP

A utilização da análise multicritério apresentou-se como um fator comum para avaliação do potencial de instalação de empreendimentos fotovoltaicos durante a revisão bibliográfica, apresentando a capacidade de agrupar diferentes critérios em uma mesma análise.

Conforme apresentado no item 2.4.1, faz-se necessário à elaboração de uma matriz de atribuição de pesos aos critérios para utilização do método AHP proposto por Saaty (1977). Sendo inicialmente decompostos os problemas em níveis hierárquicos e comparados par a par a fim de atribuir seus pesos conforme suas características favoráveis ou desfavoráveis.

Logo, tem-se definição do grau de importância entre os fatores estudados representados na Tabela 13, definidos através da escala fundamenta de pesos proposta por Saaty (1977).

Tabela 13 – Matriz de atribuição do grau de importância par a par dos critérios

Critério			Absoluta	Muito Grande	Grande	Pequena	Igual	Pequena	Grande	Muito Grande	Absoluta	Critério	
1	C1	Irradiação				3						C2	Declividade
2	C1	Irradiação				3						C3	Dist Linhas de transmissão
3	C1	Irradiação				3						C4	Dist de áreas urbanizadas
4	C1	Irradiação				3						C5	Dist de arruamentos
5	C2	Declividade						1/3				C3	Dist Linhas de transmissão
6	C2	Declividade						1/3				C4	Dist de áreas urbanizadas
7	C2	Declividade						1/3				C5	Dist de arruamentos
8	C3	Dist Linhas de transmissão					1					C4	Dist de áreas urbanizadas
9	C3	Dist Linhas de transmissão				3						C5	Dist de arruamentos
10	C4	Dist de áreas urbanizadas				3						C5	Dist de arruamentos

Fonte: Do autor

A interpretação dos dados da matriz de julgamento é realizada comparando os elementos par a par através da escala de grau de importância. Na matriz acima a primeira comparação considera que a irradiação possui uma pequena importância em relação a declividade, na quinta comparação a distância de linhas de transmissão possui pequena importância sobre a declividade e na oitava linha a distâncias a linhas de transmissão e distância de arruamentos possuem mesmo grau de importância.

Segundo (OLIVEIRA e BELDERRAIN, 2008) os valores da escala de importância, citado acima, são dados a serem utilizados para compor a matriz de comparação, a qual se diz:

- A matriz é recíproca e positiva quando $a_{ij} = 1/a_{ji}$ para todo $a_{ij} > 0$; e
- $a_{ii} = 1$ para todo i . O que significa que qualquer critério comparado a ele mesmo possui igual importância na escala fundamenta de Saaty.

A partir das regras apresentadas, é possível construir a matriz de decisão, quadrada, recíproca e positiva. Conforme apresentada na tabela abaixo.

Tabela 14 – Matriz de comparação

	C1	C2	C3	C4	C5
C1 - Irradiação	1	3	3	3	3
C2 - Declividade	1/3	1	1/3	1/3	1/3
C3 - Distância de linhas de transmissão	1/3	3	1	1	3
C4 - Distância áreas urbanizadas	1/3	3	1	1	3
C5 - Distância de arruamentos	1/3	3	1/3	1/3	1

Fonte: Do autor

Por seguinte, para verificar a consistência de uma matriz de decisão é necessário obter o autovalor máximo ($\lambda_{\max}$) da matriz de decisão (A) e seu auto vetor associado (w). Logo, o processo algébrico para determinação de tais valores e vetores será realizado conforme apresentado abaixo:

Equação 1

$$W = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad i = 1, \dots, n$$

Equação 2

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^n \frac{[AW]_i}{W_i}$$

Equação 3

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

Equação 4

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

- IC = índice de consistência;
- RC = razão de consistência;
- IR = índice aleatórios extraído da Tabela 15;
- n = número de fatores em análise na matriz (ordem da matriz);
- [AW]_i = matriz resultante do produto da matriz comparação [AW]_i pelos pesos W_i;
- W = pesos calculados.

Saaty (1991) propôs a Tabela 15 com os índices aleatórios para matrizes de ordem 1 a 10, conforme expressos abaixo:

Tabela 15 – Índice Aleatório

n (Ordem da matriz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (1991)

A matriz apresentada na Tabela 14 resultará nos pesos estatísticos para cada fator, os quais a partir dos cálculos apresentados acima é avaliada a veracidade dos mesmos por meio da razão de consistência (RC), a qual almeja-se um valor abaixo de 0,10, o que significa que pelo menos 90% de veracidade dos julgamentos dos pesos dos fatores estão coerentes.

3.6.1 Combinação linear ponderada

Outra análise necessária para que o mapa final é a combinação linear ponderada. O procedimento mais prevalente para avaliação multicritério é a combinação linear ponderada (Voogd, 1983, p. 120). Com uma combinação linear ponderada, fatores são combinados pela aplicação de um peso para cada critério seguido por uma soma dos resultados para produzir um mapa de adequação.

$$S = \sum W_i \times X_i$$

Equação 5

Onde:

- S: valor final de adequação;
- W_i : peso do critério fator i;
- X_i : valor normalizado do mesmo fator i.

Como no caso do presente estudo, em que o problema da localização de usinas solares fotovoltaicas apresenta critérios do tipo fator e exclusão, tem-se a necessidade de incorporar a Equação 5 as restrições Booleanas com demais fatores, conforme a seguinte expressão:

$$S = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i \times \prod_{j=1}^k C_j$$

Equação 6

Onde:

- S: valor final de adequação (valor final do *score*);
- W : peso do critério fator i (com $i=1, \dots, n$);

- n: número de critérios fator;
- X_i : valor normalizado para o mesmo fator;
- C_j : *score* (0 ou 1) do critério de exclusão (com $j=1,...,k$);
- K: número de critérios de exclusão.

Ressalta-se que os critérios C_j , que compõem a Equação 6, são: as unidades de conservação (UC's), rede hidrográfica, declividade e uso e ocupação do solo.

Seguidos os procedimentos matemáticos abordados nos itens anteriores foi possível obter a equação final que será utilizada para o geoprocessamento do mapa final de potencial solar fotovoltaico de Santa Catarina. Têm-se os seguintes valores:

Tabela 16 – Pesos dos critérios adotados

Critério	Autovetor	Autovetor normalizado
Irradiação	2,41	0,40
Declividade	0,42	0,07
Distância linhas de transmissão	1,25	0,21
Distância de áreas urbanizadas	1,25	0,21
Distância de arruamentos	0,64	0,11

Fonte: Do autor

Logo a equação a ser aplicada na ferramenta Calculadora Raster em ambiente QGIS será:

$$PS = [(0,40 \times IS + 0,21 \times LT + 0,21 \times AU + 0,11 \times A + 0,07 \times D)](UC + H + US + D)$$

Equação 7

Onde:

- PS – Potencial solar fotovoltaico
- IS - Irradiação solar
- D – Declividade
- A - Arruamentos
- LT - Linhas de transmissão
- AU – Distância de áreas urbanizadas
- UC - Unidades de conservação
- H - Hidrografia
- US - Uso e ocupação do solo

Ressalta-se que a razão de consistência (RC) obtida é de 0,075, o que significa que os julgamentos realizados possuem 92,5% de consistência, ou seja, apenas 7,5% de inconsistência.

3.6.2 Normalização dos pesos dos critérios

Segundo Voogd (1982), devido as diferentes escalas sobre as quais os critérios são medidos, torna-se necessário que os fatores sejam padronizados a uma escala comum, tal transformação é conhecida como normalização.

Logo, para tomar vários critérios comparáveis, será realizada a aplicação de procedimentos matemáticos como conforme apresentados por (VOOGD, 1982), páginas 77 a 84. Tais procedimentos, também utilizado por Vicari (2012), vem sendo tipicamente usada pela sua simplicidade, conforme expressão matemática seguir:

$$X_i = \frac{R_i}{R_{max}}$$

Equação 8

Onde:

- X_i : novo valor padronizado do critério i ;
- R_i : é o valor original do critério i ;
- R_{max} : valor máximo observada no conjunto de dados do critério i .

Este tipo de transformação é muito útil para padronizar uma matriz de avaliação que será analisada por uma técnica de soma de peso ou qualquer outra técnica que utilize a magnitude das pontuações individuais (VOOGD, 1982).

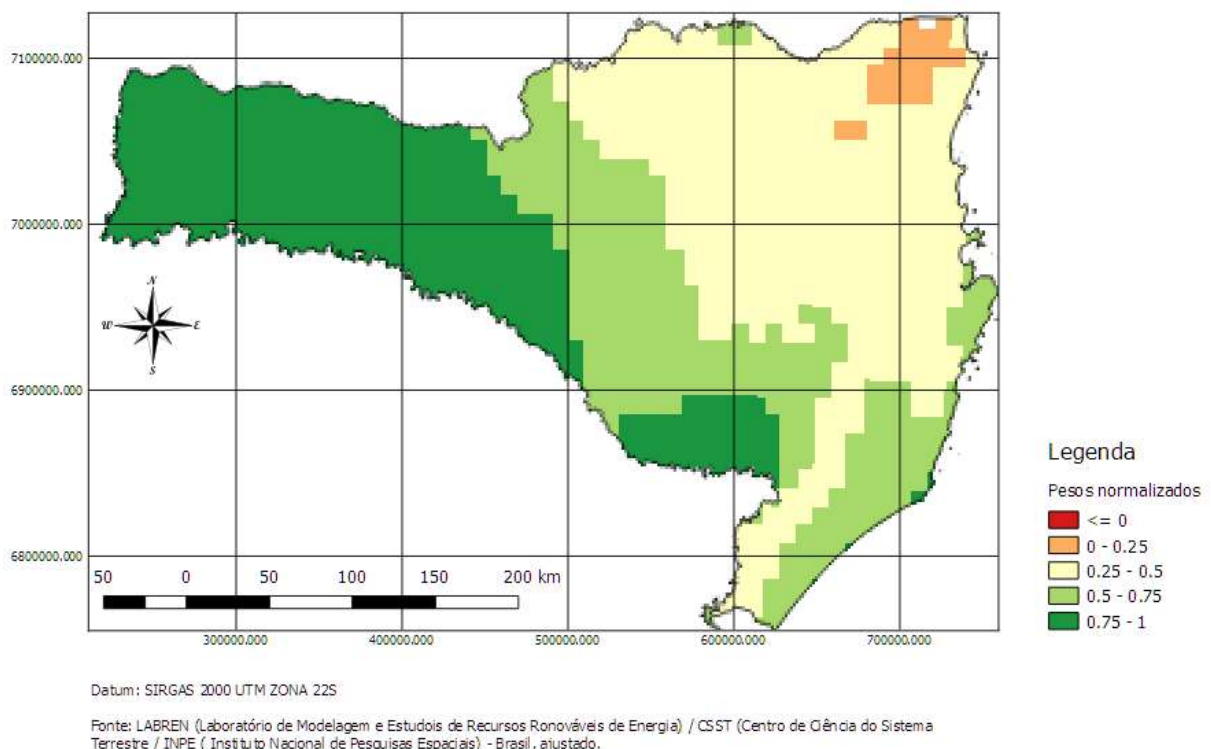
4. Resultados

A partir da metodologia descrita, geraram-se os mapas temáticos, os quais estão apresentados e discutidos por seguinte.

4.1 Irradiação solar

A irradiação solar no estado de Santa Catarina apresenta maiores índices na região oeste do estado, com pode ser verificado no mapa abaixo, o qual contém os dados de médias anuais da irradiação solar no plano inclinado na latitude em $\text{Wh/m}^2\cdot\text{dia}$ normalizados. Por esta razão, os valores mais favoráveis estão em tons de verde e, à medida que a escala de cor passa ao bege e vermelho, significa que, neste quesito, a área não favorece a implantação de usinas solares.

Figura 27 - Mapa de Irradiação Solar Normalizado



O mapa acima representa dos valores de irradiação solar normalizados representado em intervalos. Logo, os valores mais próximos de 1 (verde) indica ser um valor favorável e, quanto mais próximo de zero (vermelho), menos vaporável.

Observa-se na Figura 27, que a região oeste do estado apresenta os maiores pesos quanto a irradiação solar, região esta, que chega a apresentar valores de irradiação solar de 4.951 Wh/m².dia.

Através da ferramenta “*R.Report*” no software QGIS foi possível gerar relatório de áreas para o arquivo *Raster* de irradiação solar. Sendo possível, expressar na tabela abaixo a quantidade de área em hectares dentro dos intervalos de pesos determinados e seus percentuais das áreas comparadas ao do estado de Santa Catarina.

Tabela 17 – Aptidão quanto a irradiação solar

Intervalo	Área (hectares)	Percentual da área (%)
0-0,25	298.633	3,12
0,25-0,50	3.944.523	41,21
0,50-0,75	2.431.577	25,41
0,75-1,00	2.877.387	30,06

Fonte: Do autor, 2019.

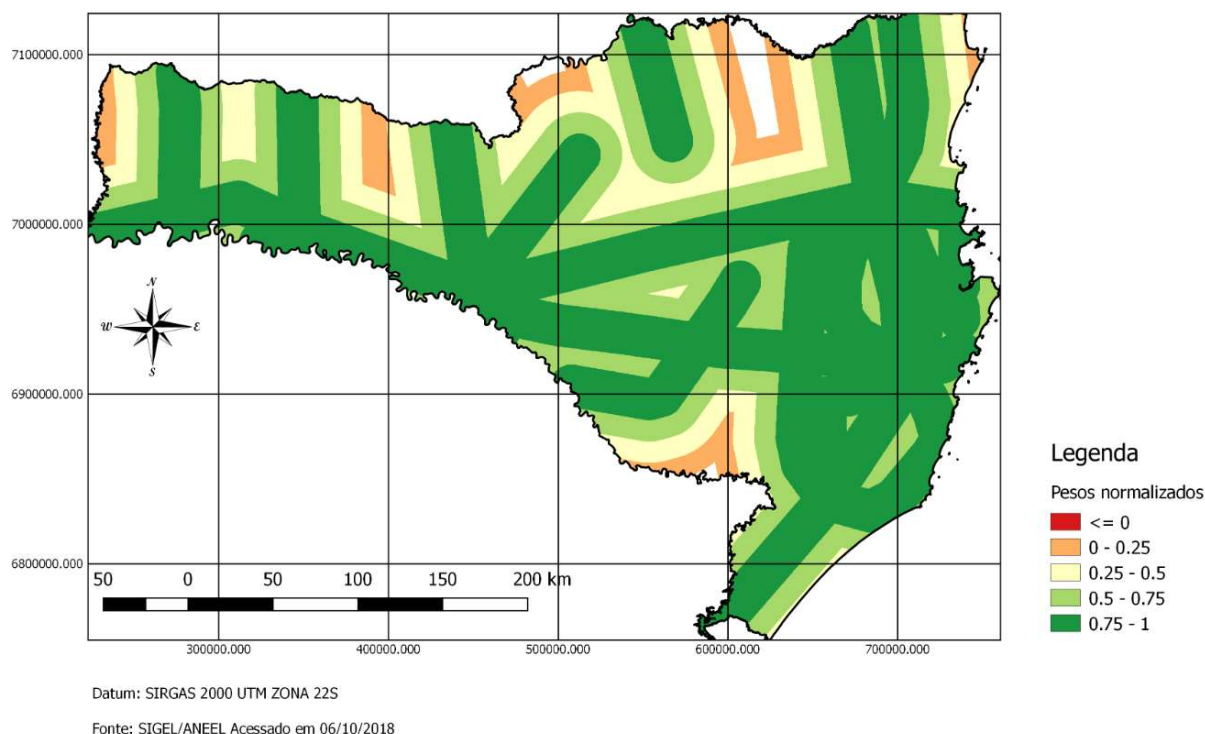
4.2 Distância de linhas de transmissão

O mapa de distância de linhas de transmissão de energia apontou algumas regiões fora do alcance máximo de 50Km definido na metodologia, porém, trata-se de menos de 1,44% de áreas inaptas (Cor branca). Ressalte-se que distâncias superiores a 50Km foram consideradas inadequadas, devido ao alto custo de implantação de linhas de transmissão com conexão às redes básicas através de uma subestação, caso as usinas possuíssem uma potência instalada superior a 5MW.

Destaca-se a necessidade de estudar a possibilidade de conectar as centrais geradoras de energia elétrica de grande porte á subestações existentes, próximas e com compatibilidade de carga com a geração solar proposta. Visto que tal fato interfere diretamente nos custos de instalação quando se tem a indispensabilidade de implantação de uma nova subestação com linhas de transmissão.

No entanto, as centrais geradoras de energia solar fotovoltaica com potência instalada inferiores a 5MW, necessitam apenas a uma ligação a linha de distribuição local, portanto, tal mapa não contempla este tipo de situação.

Figura 28 - Mapa de Distâncias de Linhas de Transmissão Normalizado



A tabela a seguir foi elaborada de mesmo modo que a Tabela 17. Observa-se que o critério de linhas de transmissão contemplou quase toda área do estado de Santa Catarina como apta e apresenta 55,04% da área do estado dentro do intervalo de maior aptidão.

Tabela 18 – Aptidão quanto a distâncias às linhas de transmissão

Intervalo	Área (hectares)	Percentual da área (%)
0-0,25	516.706	5,40
0,25-0,50	119.8541	12,52
0,50-0,75	2.449.963	25,60
0,75-1,00	5.267.601	55,04
Inapta	138.057	1,44

Fonte: Do autor, 2019.

4.3 Distância de áreas urbanizadas

A partir do mapa de distância de áreas urbanizadas, pode-se afirmar que tal critério apresentou como uma grande constância de aptidão, visto que 91,48% da área do estado estiveram dentro do intervalo de maior aptidão e apenas 0,29% no de menor, como pode ser verificado na Tabela 19.

Figura 29 - Mapa de Distância de Áreas Urbanizadas Normalizada

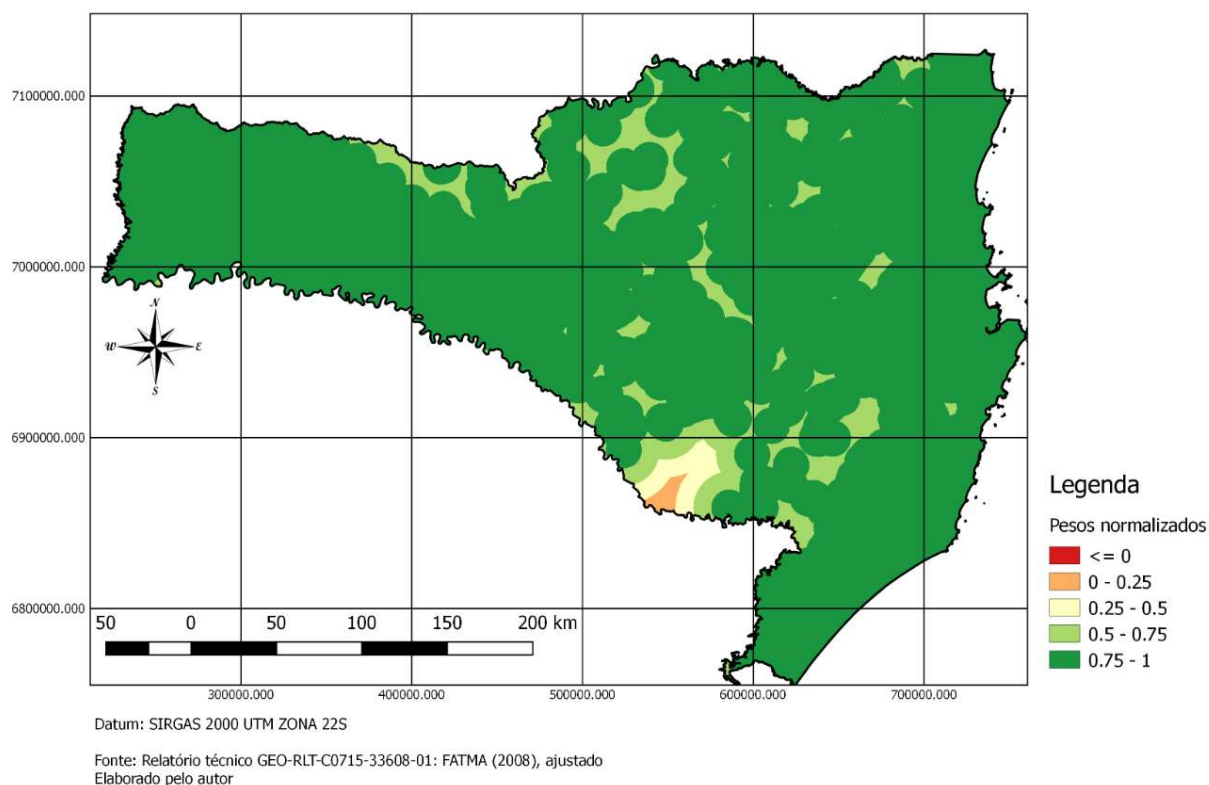


Tabela 19 – Aptidão quanto a distâncias as áreas urbanizadas

Intervalo	Área (hectares)	Percentual da área (%)
0-0,25	27.359	0,29
0,25-0,50	95.246	1,00
0,50-0,75	963.041	7,24
0,75-1,00	8.755.219	91,48

Fonte: Do autor, 2019.

4.4 Distância de arruamentos

O critério de distância de arruamentos apresenta em quase na sua totalidade pesos entre 0,75 e 1,00, conforme relatório obtido através da ferramenta “*R.report*” do QGIS, vide Tabela 20. Isso fez com que o critério apresentasse pouca relevância no grau de aptidão para definição do potencial de geração de energia solar fotovoltaica no estado de Santa Catarina.

Figura 30 - Mapa de Distância de Arruamentos Normalizado

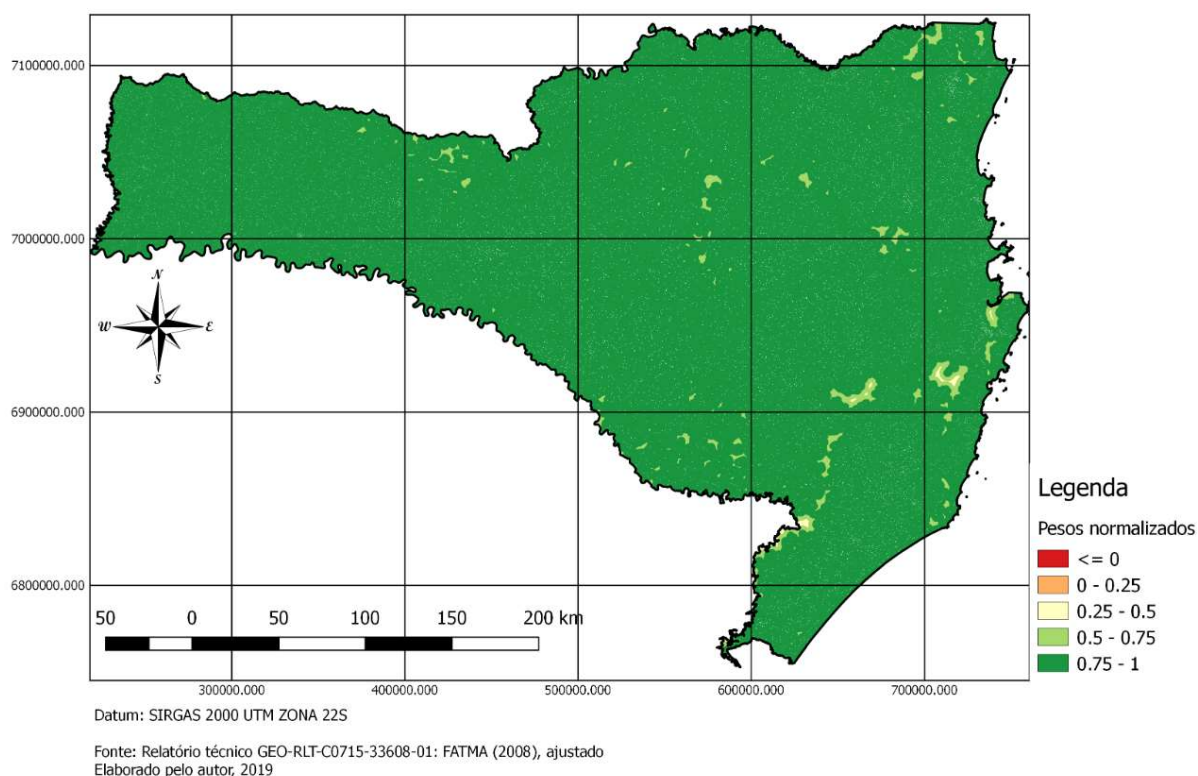


Tabela 20 – Aptidão quanto a distância de arruamentos

Intervalo	Área (hectares)	Percentual da área (%)
0-0,25	51	0,00
0,25-0,50	10.987	0,11
0,50-0,75	161.607	1,69
0,75-1,00	9.271.565	96,87

Fonte: Do autor, 2019.

4.5 Declividade

Através do mapa de declividade do estado de Santa Catarina normalizado, verifica-se que as regiões mais aptas se concentram no litoral Catarinense, considerando o critério de declividade limite para instalações de usinas fotovoltaicas de 5%. Porém salienta-se que existe a possibilidade de aumentar a porcentagem limite adotada desde que haja um estudo mais detalhado quanto ao tipo de solo, direção da elevação do terreno, sistemas de fixação de painéis solares, pois os mesmos podem interferir diretamente nos custos de instalações e maiores perdas de eficiência quanto a captação de energia.

Figura 31 - Mapa de Declividade de Santa Catarina Normalizado

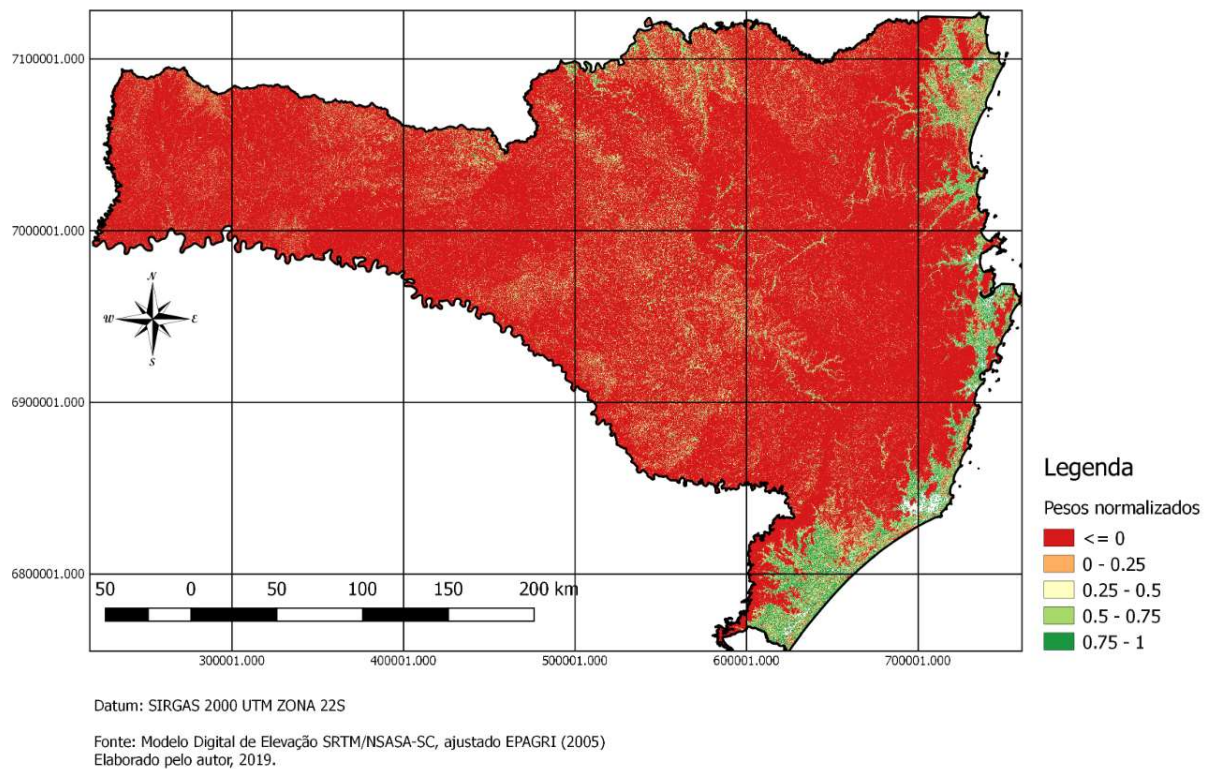


Tabela 21 – Aptidão quanto a declividade

Intervalo	Declividade (%)	Área (hectares)	Percentual da área (%)
0>-0,25	5,00-3,75	472.999	4,94
0,25-0,50	2,50-3,75	498.707	5,21
0,50-0,75	2,50-1,25	496.662	5,19
0,75-1,00	<1,25	463.109	4,84
=0 (Inapta)	> 5,0	7.639.390	79,82

Fonte: Do autor, 2019.

Através da Tabela 21, verifica-se que a declividade estabelece um filtro de restrição de aproximadamente 80% da área de estudo. O que expressa que, apesar do critério possuir apenas 7% do peso na soma ponderada, demonstra grande interferência no mapa final de potencial solar fotovoltaico. Visto que a declividade do terreno é um fator limitante quanto a instalação de sistemas de fixação de painéis solares em usinas, o que exigiria melhoramentos na terraplanagem, nos sistemas de drenagem causando um impacto no custo de implantação e manutenção das usinas.

4.6 Mapa de Potencial de geração de Energia Fotovoltaica

O Mapa abaixo gerou classes de aptidão que variam de 0 a 0,97, ou seja, não foi obtido nenhuma área que apresentasse aptidão de 100%. O mapa gerado (Figura

32) foi também submetido a ferramenta “*R.Report*”, o qual apresentou a quantidade de áreas aptas e seu grau de aptidão conforme apresentado na Tabela 22, sendo que, o intervalo de potencialidade entre 0 e 0,39 não se apresentou em nenhuma região do mapa. Pois como visto nos mapas anteriores, grande parte do estado teve os pesos normalizados os critérios com valores próximos de 1.

Neste estudo, muitas regiões apresentaram potencial, como pode ser visto na Figura 32. Em especial, observa-se a região sul do Estado, no Sopé da Serra Geral, para instalação de usinas solares fotovoltaicas quando se aplica os critérios definidos na metodologia deste estudo.

Verificou-se que apesar da irradiação solar apresentar 40% do peso na definição dos locais aptos, foi o mapa de restrição que fez um maior direcionamento as regiões de maiores potencial a instalação de usinas.

Figura 32 - Mapa de Potencial de Geração de Energia Fotovoltaica

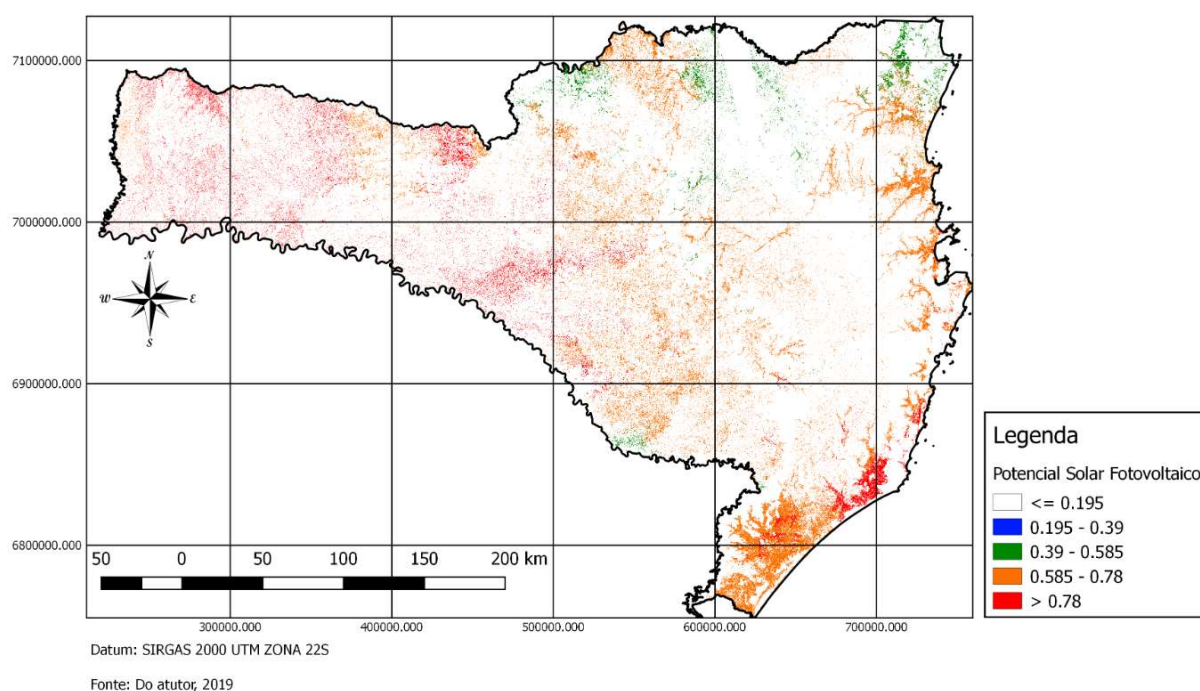


Tabela 22 – Potencial solar fotovoltaico em Santa Catarina

Intervalo	Área (hectares)	Percentual da área (%)
0	8.188.954	88,84
0,19-0,38	0	0
0,38-0,58	83.424	0,91
0,58-0,78	682.761	7,41
0,78-1,00	262.346	2,85

Fonte: Do autor, 2019.

A Figura 32 apresenta as áreas com maior potencial a instalação de sistemas solares fotovoltaicos para geração de energia elétrica, sendo representado na escala de 0 a 1, sendo que quando mais próximo de 1 maior o potencial da região.

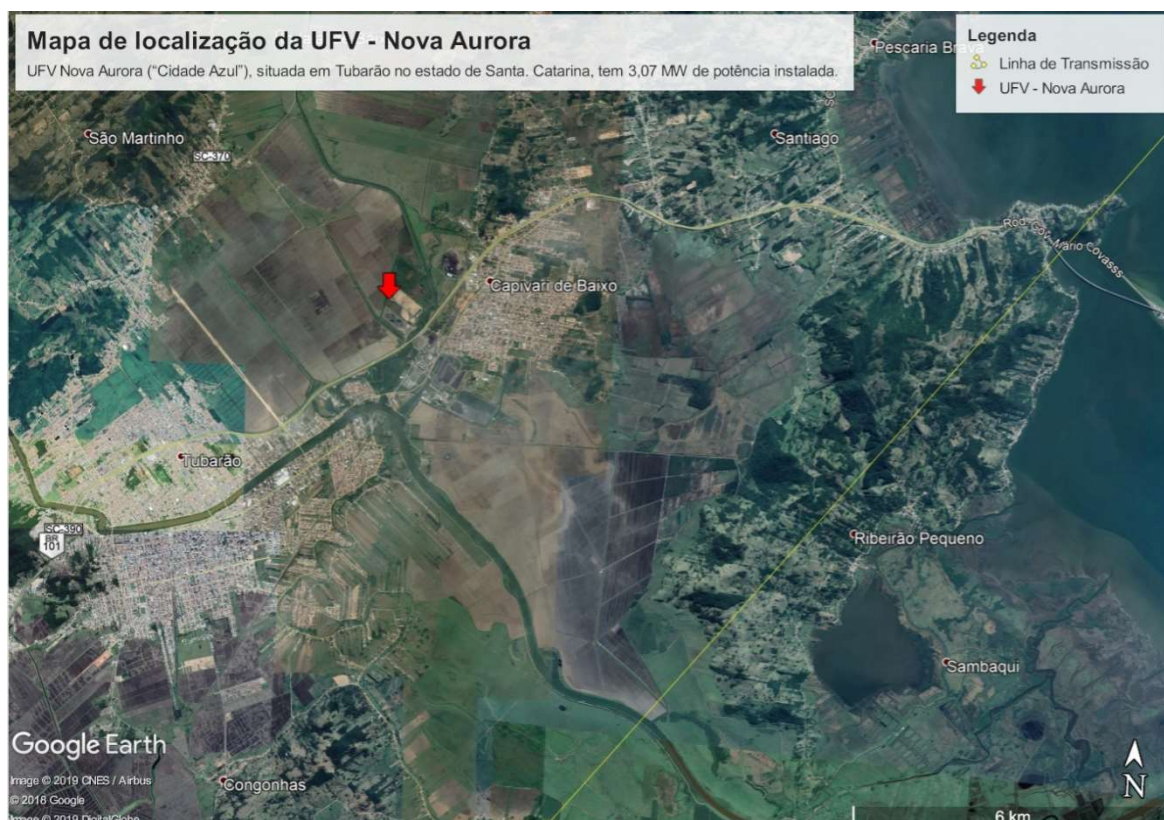
A região do extremo oeste do estado apresenta potencial elevado porem em áreas menores e mais espaçadas. Ao observar a região norte, nota-se que o potencial dessa região está entre os mais baixos do estado, o que pode ser explicado devido a esta região ter os valores de irradiação baixos e o peso adotado para esse critério ser alto.

Na Mesorregião Serrana é possível visualizar um corredor de altos índices de potencial solar, localizados entre os municípios de Campos Novos e Curitibanos, devido ao fato que o Planalto de Lages possui o relevo menos acidentado com forte predominância de áreas agricultáveis e de pastagem.

As planícies litorâneas do estado apresentam grandes áreas com elevada aptidão. Identifica-se que, especialmente a região sul do estado, apresenta os maiores índices de potenciais á instalações de usinas solares fotovoltaicas, região esta, detentora da Usina Fotovoltaica Nova Aurora no município de Tubarão, próxima a rodovia BR-101 e a linha de transmissão “J.LACERDA-B / SIDEROPOL.ESU C 1 SC”, Figura 33.

Verifica-se que a região sul quando comparada a região oeste do estado, obteve a maior parte da diferenciação do peso final de potencialidade quanto a quesito de irradiação solar.

Figura 33 – Imagem área c/ localização da UFV Nova Aurora



Fonte: Linhas de transmissão e UFV Nova Aurora - SIGEL/ANEELL (2019)

Em resumo, o estado de Santa Catarina, dispõe de aproximadamente um milhão de hectares com maior potencial de geração energia proveniente do aproveitamento solar fotovoltaico, o que representa algo próximo de 11% do total da área do estado em regiões com aptidão a instalação de usinas solares, sendo capazes de gerar 1.702.790,21 GWh por ano, fazendo uma estimativa simplificada de produtividade anual de energia elétrica por área através dos resultados das simulações apresentadas por Dolla et al. (2018) na capital Florianópolis, se aplicada ao estado inteiro.

Considerando o consumo anual de energia elétrica em Santa Catarina de 2017 em 24.344 GWh (BRASIL, 2018), a estimativa de geração de energia apresentada anteriormente seria capaz para atender a energia elétrica consumida no estado.

5. Conclusões e recomendações

O presente estudo, com intuito de apresentar as áreas de maior potencial a exploração de energia elétrica a partir da energia solar, através de sistemas de informações geográficas em conjunto a técnica de análise hierárquica de processos, apresenta-se como uma ferramenta capaz de auxiliar a localização de áreas com potencial de instalação de usinas solares.

O estado de Santa Catarina, com base nos dados obtidos neste trabalho, apresentou um potencial considerável a instalação desses sistemas, visto que 11% do território Catarinense está contido na escala de potencialidade.

O critério de declividade utilizado nesta pesquisa (inferior a 5%) levou em consideração os modelos mais utilizados de sistemas de fixação de painéis solares, e este critério acabou por restringir grande área do Oeste do Estado, região de maior índice de irradiação solar, que por sua vez poderia apresentar grande potencial ao menos para pequenas gerações residenciais e industriais. Isto significa dizer que, com a evolução dos sistemas de fixação, aliado a um estudo de viabilidade econômica, este critério pode ser alterado e, conseqüentemente, em se permitindo utilizar terrenos com maior declividade para implantação da usina, o resultado final do Mapa de Aptidão para Implantação de Usinas Solares de Santa Catarina será alterando, aumentando a quantidade de áreas passíveis de serem utilizadas.

O incremento da geração fotovoltaica a matriz elétrica Catarinense é incentivada por órgãos governamentais e tendências mundiais, como forma de diversificação de fontes na exploração de energia elétrica no estado. Tal inserção pode auxiliar na redução no uso de fontes de energias não renováveis.

Os mapas gerados através da utilização da técnica de análise multicritério aliado ao SIGs, mostrou-se útil e objetiva, sendo capaz de permitir melhores tomadas de decisões na instalação de qualquer infraestrutura em uma determinada área. À vista disso, pode-se concluir que a metodologia utilizada, combinando dados em sistemas de informações geográficas cumpriu as expectativas pretendidas bem como conduziu ao cumprimento dos objetivos propostos nesta pesquisa. O mapa final produzido é capaz de auxiliar a tomada de decisão de um empreendedor que queira escolher uma região do Estado para locar sua usina solar.

Recomenda-se que, não deve ser descartada a necessidade de simulações de geração de energia e estudos comparativos entre as áreas em que se vise a instalação das usinas solares, pois este estudo é de suma importância para estimar a capacidade de geração de energia e o custo da mesma. Logo, aconselha-se estudar a variabilidade da radiação solar ao longo dos anos para estimar a variação da energia elétrica produzida.

Além disso, a metodologia aplicada, utilizou dados geográficos e software disponíveis gratuitamente o que a torna facilmente adaptável a ser aplicada a outras regiões de interesse. O quesito gratuidade é de extrema relevância para o caso dos gestores de pequenos municípios em especial, onde o custo de aquisição de imagem e principalmente licença de software causa grande impacto no orçamento.

Contudo, de maneira a avaliar a qualidade e aplicabilidade desta metodologia, propõem-se que seja realizado estudos comparativos com aplicação de metodologias com critérios semelhantes e utilização de ferramentas de software diferentes para mesma área de estudo. Além disso, a utilização de dados com maior resolução em maiores escalas a fim de obter resultados mais precisos.

6. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasília). **Saiba mais sobre o setor elétrico brasileiro**: Como funciona o setor elétrico brasileiro. 2018. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/home>>. Acesso em: 24 nov. 2018.

ALVES, Gilson Jorge. **Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica nas energias renováveis**: o potencial da energia solar na ilha de São Vicente – Cabo Verde. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de [s.l.], Universidade do Porto, [s.l.], 2013.

ANDRADE, Gilmar. **Geração de energia elétrica sustentável e seu estímulo em Santa Catarina**. 2017. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Departamento de Ciências da Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

BARROS, Ricardo; KOLOSZUK, Ronaldo; SAUAIA, Rodrigo. **Geração centralizada solar fotovoltaica como ferramenta estratégica para desonerar a sociedade brasileira**: Para atingir a meta de 30 GW até 2030, entende-se fundamental a inclusão da fonte solar fotovoltaica nos leilões A-6. 2018. Disponível em: <[/geracao-centralizada-solar-fotovoltaica-como-ferramenta-estrategica-para-desonerar-a-sociedade-brasileira](#)>. Acesso em: 21 set. 2018

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica Interativo**: Panorama do Consumo (GWh). 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/Paginas/Anuario-Estatistico.aspx>>. Acesso em: 05 maio 2019.

BRASIL. IBGE. **Área da unidade territorial**: Área territorial brasileira. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/panorama>>. Acesso em: 25 maio 2019.

BRITO, Moacyr A. G. de et al. Research on photovoltaics: Review, trends and perspectives. **Xi Brazilian Power Electronics Conference**, [s.l.], p.531-537, set. 2011. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/cobep.2011.6085198>.

CCEE. CCEE ORG. **Câmara de comercialização de energia**, 2018. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br>>. Acesso em: 27 Outubro 2018.

DIE/MME. **Energia Solar no Brasil e Mundo - Ano de referência - 2016**. Ministério de Minas e Energia. [S.l.], p. 5. 2016.

DOLLA, Ruany et al. Estimativa da Produção Energética e de Desempenho de um Sistema Fotovoltaico Integrado ao Anteprojeto do Aeroporto Internacional de Florianópolis. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Arquitetura e Energia Solar - Aspectos arquitetônicos do uso de instalações fotovoltaicas**. Gramado: Cbens, 2018. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Andes: Guide to GIS and Image Processing**. Clark University. Worcester, MA. 2006.

EERE. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. **Solar radiation basics**. 2013. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>>. Acesso em: 01 Setembro 2018.

Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional: Relatório Síntese ano base 2017**. 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional: Relatório Síntese ano base 2015**. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2016>>. Acesso em: 26 ago. 2018.

EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2026. **Empresa de Pesquisa Energética**, Julho 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2026>>. Acesso em: 28 Setembro 2018.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p. ISSN 978-858-623-882-6.

FREITAS, Marcos Aurélio Vasconcelos de; SOITO, João Leonardo da Silva. Energia e recursos hídricos. **Parcerias Estratégicas**: Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação, Brasília, n. 27, p.177-212, out. 2008. Semestral.

GARNI, Hassan Z. Al; AWASTHI, Anjali. 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, nov. 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, São Paulo, n. 72, p.6-15, 1 fev. 2007. Universidade de São Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP.
<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i72p6-15>.

HULD, Thomas; MÜLLER, Richard; GAMBARDELLA, Attilio. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. **Solar Energy**, [s.l.], v. 86, n. 6, p.1803-1815, jun. 2012. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.03.006>.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2019. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial>>. Acesso em: 28 Setembro 2018.

IGNATIOS, Miguel. **Um governo auto-suficiente**. Gazeta Mercantil, 11 maio 2006, p. A-3.

IZEIROSKI, Subija et al. GIS-BASED MULTI CRITERIA ANALYSIS OF SITE SUITABILITY FOR EXPLOATATION OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES. **7 Icc&gis Proceedings**, Sozopol, Bulgaria, v. 1, p.653-665, 18 ago. 2018. (ISSN 1314-0604).

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

MALCZEWSKI, Jacek. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress In Planning**, [s.l.], v. 62, n. 1, p.3-65, jul. 2004. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>

Ministério de Minas e Energia. **Matrizes Elétricas Estaduais Ano de referência: 2015**. 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/boletins-de-energia>>. Acesso em: 15 set. 2018.

MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **. Geração distribuída mantém crescimento com quase 8mil conexões**. 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/>>-

/asset_publisher/32hLrOzMkWWb/content/geracao-distribuida-mantem-crescimento-com-quase-8mil-conexoes>. Acesso em: 17 ago. 2018.

MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletins de Energia: Plano Decenal de Expansão de Energia PDE 2026**.2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/boletins-de-energia>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

MOILOA, Birgit Helga Editha. **Geographical Information Systems for Strategic Wind Energy Site Selection**. 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Master of science in geographical information systems (unigis) , Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, 2009.

OLIVEIRA, C. A. ; BELDERRAIN, M. C. N. . **Considerações sobre a Obtenção de Vetores de prioridade no AHP**. In: Encontro Nacional de Docentes, 2008, Posadas. Anales do EPIO, 2008. v. 1.

OLIVEIRA, I. D. **Atlas geográfico de Santa Catarina** : diversidade da natureza – fascículo 2. [recurso eletrônico]. / Santa Catarina. Secretaria de Estado do Planejamento. Diretoria de Estatística e Cartografia; 2.ed. – Florianópolis: Ed. da UDESC. p192. 2016.(ISBN 978-85-8302-078-3).

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Sobre o SIN**. 2018. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

PERAZA, Danielle Goulart. **Estudo de viabilidade de instalação de usinas solares fotovoltaicas no estado do Rio Grande do Sul**. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: Inpe, 2017. ISBN 978-85-17-00089-8. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html>. Acesso em: 20 ago. 2018.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: Inpe, 2006. 60 p. (ISBN 85-17-00030-7 ISBN 978-85-17-00030-0). Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

PINHO, João Tavares et al. Ministério de Minas e Energia. **Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ideorama, 2008. 396 p. (3). ISSN 978-85-98341-02-6.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marcos Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-cresesb, 2014. 580 p.

PIROLI, Edson Luís. **INTRODUÇÃO AO GEOPROCESSAMENTO**. Ourinhos - Sp: Unesp - Campus Experimental de Ourinhos, 2010. 46 p. ISBN: 9788561775056.

ROSSONI, Claudio Farias. **Decisão multicritério: Uma pesquisa experimental para a avaliação da percepção dos gestores de MPE acerca do modelo de tomada de decisão multicritério T-ODA quanto à sua aplicabilidade**. 2011. 260 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Faculdade Campo Limpo Paulista - Faccap, São Paulo, 2011.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991.

SAATY, Thomas L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal Of Mathematical Psychology**, [s.l.], v. 15, n. 3, p.234-281, jun. 1977. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](http://dx.doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5).

SILVEIRA, Miguel Francisco da. **Análise do impacto da geração distribuída sobre a rede elétrica de distribuição devido à utilização de geradores fotovoltaicos**. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica / Mauricio Tiomno**. Rio de Janeiro: Epe, 2016. 452 p. (ISBN 978-85-60025-06-0).

UYAN, Mevlut. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 28, p.11-17, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.042>.

VERMA, Deepak; MIDTGÅRD, Ole-morten; SATRE, Tor O.. Review of photovoltaic status in a European (EU) perspective. In: **37th IEEE Photovoltaic Specialists**

Conference, Seattle, p.3292-3297, jun. 2011. IEEE.
<http://dx.doi.org/10.1109/pvsc.2011.6186719>.