



## ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO O MODELO COPPE-COSENZA

Marco Pereira de Souza

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Rio de Janeiro

Junho de 2020

ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NO  
ESTADO DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO O MODELO COPPE-COSENZA

Marco Pereira de Souza

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Orientador: Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza.

Aprovada por: Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza.

Dr. Luis Claudio Bernardo Moura

Prof. Francisco Antônio de Moraes Accioli Dória

Prof. Carlos Navarro Fontanillas Brasil

Prof. Harvey José Santos Ribeiro Cosenza

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2020

Souza, Marco Pereira de

Análise da Localização de uma Usina Solar Fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro Utilizando o modelo COPPE-COSENZA / Marco Pereira de Souza. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2020.

XII, 148 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2020.

Referências Bibliográficas: p. 131-146.

1. Energia Renovável. 2. Usina Solar Fotovoltaica. 3. Fuzzy. I. Cosenza, Carlos Alberto Nunes. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

## ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO O MODELO COPPE-COSENZA

Marco Pereira de Souza

Junho/2020

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Programa: Engenharia de Produção

A energia solar fotovoltaica está se tornando uma alternativa viável e não poluente para a geração de energia elétrica mediante o uso de combustíveis fósseis. Tendo isto em vista, este estudo tem como objetivo descobrir as melhores localizações para a instalação de uma usina solar fotovoltaica no estado do Rio de Janeiro, no Brasil, através de critérios ambientais, técnicos e econômicos. A lógica fuzzy, com suas funções de pertinência, em conjunto com o modelo COPPE-COSENZA, foi utilizada para analisar os fatores de localização que foram aplicados no SIG (Sistema de Informações Geográficas). A revisão de artigos foi a base para a seleção dos fatores de localização utilizados. A disponibilidade de cada um dos critérios combinado com a sua importância relativa gerou o mapa das regiões mais adequadas para a localização da usina solar fotovoltaica. Os resultados mostram que o estado do Rio de Janeiro tem um ótimo potencial para a geração de energia solar fotovoltaica, em especial no litoral norte, próximo à cidade de Campos dos Goytacazes, por outro lado, o interior do Estado apresenta o menor potencial.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ANALYSIS TO DETERMINE THE MOST SUITABLE LOCATION FOR A  
PHOTOVOLTAIC SOLAR PLANT IN THE STATE OF RIO DE JANEIRO USING  
COPPE-COSENZA MODEL

Marco Pereira de Souza

June/2020

Advisor: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Department: Production Engineering

Photovoltaic energy has becoming a viable and non-polluting alternative for generating electricity. In the light of this fact, this study aims to find the most suitable locations for a photovoltaic solar plant in the State of Rio de Janeiro, Brazil, considering environmental, technical and economic criteria. The fuzzy logic, with its membership functions, among with the COPPE-COSENZA model were used to compute the criteria that were applied in the GIS (Geographic Information System). The review of articles using was used to determine selected criteria. The availability of each of the criteria combined with their relative importance generated a map of the most suitable regions for the location of the photovoltaic solar plant. The results show that the state of Rio de Janeiro has a great potential for photovoltaic solar energy generation, especially in the north coast, near the city of Campos dos Goytacazes, with the lowest potential in the countryside of the state.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1.1. OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2. JUSTIFICATIVA DO TEMA</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2.1. CUSTO DA ENERGIA SOLAR</b> .....	<b>7</b>
<b>1.2.2. MEIO AMBIENTE</b> .....	<b>9</b>
<b>1.2.3. DEMANDA ENERGÉTICA BRASILEIRA</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2.4. DADOS POPULACIONAIS, ECONOMICOS, DE GERAÇÃO E PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO</b> ....	<b>15</b>
<b>1.2.5. NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL E ESTADO DO RIO DE JANEIRO</b> .....	<b>18</b>
<b>1.2.6. BENEFÍCIOS SOCIOECONOMICOS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO</b> .....	<b>22</b>
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	<b>23</b>
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1. ENERGIA SOLAR</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1.1. RADIAÇÃO SOLAR</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1.2. EFEITO FOTOVOLTAICO</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.3. O PAINEL FOTOVOLTAICO</b> .....	<b>31</b>
<b>3.1.4. USINA SOLAR FOTOVOLTAICA</b> .....	<b>33</b>
<b>3.2. LÓGICA FUZZY</b> .....	<b>36</b>
<b>3.2.1. UMA VISÃO DA LÓGICA TRADICIONAL</b> .....	<b>36</b>
<b>3.2.2. CONCEITO DE LÓGICA FUZZY</b> .....	<b>36</b>
<b>3.2.2.1. CONJUNTOS FUZZY</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2.2.2. OPERAÇÕES FUZZY</b> .....	<b>41</b>
<b>3.2.2.3. VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS</b> .....	<b>45</b>
<b>3.2.2.4. INFERÊNCIA DIFUSA</b> .....	<b>47</b>
<b>3.3. TECNOLOGIAS DE GEOPROCESSAMENTO DE DADOS</b> .....	<b>48</b>
<b>3.4. MODELO COPPE-COSENZA</b> .....	<b>50</b>
<b>3.4.1. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO MODELO</b> .....	<b>50</b>
<b>3.4.2. DESCRIÇÃO DO MODELO COPPE-COSENZA</b> .....	<b>52</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>60</b>
<b>4.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ARTIGOS CORRELATOS</b> .....	<b>61</b>

4.1.1. A AVALIAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE USINAS SOLARES APLICANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICAS E ANÁLISE DE CRITÉRIOS MULTIDECISÃO: UM CASO DE ESTUDO NO SUL DE MARROCOS .....	63
4.1.2. UM MÉTODO FUZZY-MAH BASEADO EM SIG PARA AVALIAR A LOCALIZAÇÃO DE USINAS SOLARES: CASO DE ESTUDO DA PROVÍNCIA DE CUZISTÃO NO IRÃ.....	66
4.1.3. O POTENCIAL SOLAR DA TANZÂNIA: IDENTIFICANDO AS MELHORES LOCALIZAÇÕES PARA USINAS DE ENERGIA SOLAR CONCENTRADA E FOTOVOLTAICAS ATRAVÉS DO MÉTODO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E DO SIG .....	69
4.1.4. UMA METODOLOGIA SIG PARA A LOCALIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIA RENOVÁVEL: UM CASO DE ESTUDO DA TURQUIA OCIDENTAL ...	70
4.1.5. UM MODELO BASEADO NO SIG E NO MÉTODO ANALÍTICO DE HIERARQUIAS PARA A SELEÇÃO DE USINAS SOLARES NA REGIÃO DE KARAPINAR, TURQUIA.....	72
4.1.6. A SELEÇÃO DE UM LOCAL PARA UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA UTILIZANDO O MAH E O SIG NA ARÁBIA SAUDITA .....	74
4.1.7. ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA UTILIZANDO O SIG, LÓGICA FUZZY E O MÉTODO ANALÍTICO DE HIERARQUIAS .....	76
4.1.8. PESQUISA SOBRE O POTENCIAL DAS USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS UTILIZANDO O MÉTODO ANALÍTICO DE HIERARQUIAS (MAH) NO IRÃ.....	77
4.1.9. OTIMIZAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE USINAS SOLARES UTILIZANDO UM MODELO LINEAR DE SUPORTE À DECISÃO COM LÓGICA FUZZY PARA UMA REGIÃO ÁRIDA E SEMI-ÁRIDA: UM CASO DE ESTUDO DE ISFAHAM NO IRÃ .....	79
4.1.10. UM MODELO DE ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) PARA AVALIAR A LOCALIZAÇÃO DE USINAS SOLARES: UM CASO DE ESTUDO NO SUDESTE DA ESPANHA.....	81
4.1.11. ANÁLISE DOS ARTIGOS .....	83
4.2. FATORES DE LOCALIZAÇÃO .....	89
4.2.1. DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE LOCALIZAÇÃO .....	90
4.2.2. BASE DE DADOS ESPACIAIS.....	90
4.2.3. ZONAS EXCLUÍDAS.....	93
4.2.4. IRRADIAÇÃO SOLAR.....	95
4.2.5. TEMPERATURA.....	96
4.2.6. PRÓXIMIDADE DE LINHAS DE TRANSMISSÃO.....	99
4.2.7. PROXIMIDADE A INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE.....	101
4.2.8. PROXIMIDADE DE CENTROS URBANOS.....	102

4.2.9.	INCLINAÇÃO DO TERRENO E AZIMUTE .....	104
4.2.10.	UTILIZAÇÃO DA TERRA (APTIDÃO AGRÍCOLA) .....	107
4.3.	OS QUESTIONÁRIOS APLICADOS.....	108
4.3.1.	METODOLOGIA PARA QUALIFICAR O INFORMANTE.....	109
4.3.2.	PERFIL DO INFORMANTE E ANÁLISE DAS RESPOSTAS.....	110
4.4.	APLICAÇÃO AO MODELO COPPE-COSENZA FUZZY .....	112
4.4.1.	MATRIZ DE RELACIONAMENTO DE PERTINÊNCIAS.....	113
4.4.2.	IRRADIAÇÃO SOLAR.....	113
4.4.3.	TEMPERATURA MÉDIA.....	115
4.4.4.	PROXIMIDADE DE LINHAS DE TRANSMISSÃO.....	117
4.4.5.	PROXIMIDADE A RODOVIAS.....	118
4.4.6.	PROXIMIDADE DE CENTROS URBANOS.....	120
4.4.7.	INCLINAÇÃO DO TERRENO.....	121
4.4.8.	AZIMUTE.....	123
4.4.9.	UTILIZAÇÃO DA TERRA .....	124
4.5.	RESULTADO DO MODELO COPPE COSENZA.....	126
4.6.	DIFICULDADES ENCONTRADAS E LIMITAÇÕES DO MÉTODO .....	127
5.	CONCLUSÃO .....	129
	BIBLIOGRAFIA.....	131
	APÊNDICE.....	147

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Usina Solar Fotovoltaica</b> .....	27
<b>Figura 2: Usina Solar CSP</b> .....	27
<b>Figura 3: Tipos de Irradiância Solar</b> .....	29
<b>Figura 4: Efeito Fotovoltaico</b> .....	31
<b>Figura 5: Esquema de Usina Solar</b> .....	34
<b>Figura 6: Inferência Fuzzy</b> .....	47
<b>Figura 7: Funcionamento do SIG</b> .....	49
<b>Figura 8: Estrutura do SIG</b> .....	49
<b>Figura 9: Fatores de Localização – Artigo 9</b> .....	79
<b>Figura 10: Inclinação e Azimute</b> .....	105

## LISTA DE MAPAS

<b>Mapa 1: Regiões do Estado do Rio de Janeiro</b> .....	17
<b>Mapa 2: Irradiação Global do Brasil</b> .....	19
<b>Mapa 3: Irradiação Global – Rio de Janeiro</b> .....	20
<b>Mapa 4: Análise da Localização – Artigo 1</b> .....	65
<b>Mapa 5: Análise da Localização – Artigo 2</b> .....	68
<b>Mapa 6: Melhores Regiões – Artigo 5</b> .....	74
<b>Mapa 7: Melhores Localizações – Artigo 6</b> .....	76
<b>Mapa 8: Resultado Final – Artigo 9</b> .....	81
<b>Mapa 9: Resultado – Artigo 10</b> .....	83
<b>Mapa 10: Zonas Excluídas (Vermelho)</b> .....	95
<b>Mapa 11: Irradiação Solar</b> .....	96
<b>Mapa 12: Temperatura</b> .....	99
<b>Mapa 13: Linhas de Transmissão</b> .....	101
<b>Mapa 14: Malha Rodoviária</b> .....	102
<b>Mapa 15: Setores Censitários Urbanos</b> .....	104
<b>Mapa 16: Relevo do Rio de Janeiro</b> .....	105
<b>Mapa 17: Azimute</b> .....	106
<b>Mapa 18: Inclinação do Terreno</b> .....	107
<b>Mapa 19: Fertilidade do Solo</b> .....	108
<b>Mapa 20: Nível de Atendimento da Irradiação Solar</b> .....	115
<b>Mapa 21: Nível de Atendimento da Temperatura Média</b> .....	116
<b>Mapa 22: Nível da Proximidade de Linhas de Transmissão</b> .....	118
<b>Mapa 23: Nível de Atendimento para Distância de Rodovias</b> .....	119
<b>Mapa 24: Nível de Atendimento para Distância de Centros Urbanos</b> .....	121
<b>Mapa 25: Nível de Atendimento da Inclinação</b> .....	122
<b>Mapa 26: Nível de Atendimento do Azimute</b> .....	124
<b>Mapa 27: Nível de Atendimento para Aptidão Agrícola</b> .....	125
<b>Mapa 28: Regiões do Estado do Rio Suscetíveis a Receber a Usina Solar Fotovoltaica</b> ...	127

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução da Demanda de Energia Elétrica do Brasil.....	14
Tabela 2: Percentual de Geração de Energia Elétrica do Rio de Janeiro (GWh).....	18
Tabela 3: Consumo de Energia (GWh) nos estados da Região Sudeste do Brasil.....	18
Tabela 4: Benefícios da Energia Solar.....	21
Tabela 5: Eficiência dos Materiais Solares.....	32
Tabela 6: Comparação das Alturas Crispy.....	39
Tabela 7: Comparação das Alturas Fuzzy –.....	40
Tabela 8: Demanda de Fatores por Projetos $\tilde{A}$ .....	54
Tabela 9: Oferta de Fatores Localizacionais - $B$ .....	54
Tabela 10: Matriz $C$ .....	55
Tabela 11: Variáveis Linguísticas e Modelo COPPE-Cosenza.....	56
Tabela 12: Pesos dos Fatores de Localização – Artigo 1.....	65
Tabela 13: Aplicação do AHP – Artigo 2.....	68
Tabela 14: Aplicação do AHP – Artigo 3.....	70
Tabela 15: Fatores de Localização – Artigo 5.....	73
Tabela 16: Peso dos Fatores de Localização – Artigo 6.....	75
Tabela 17: Peso dos Fatores de Localização – Artigo 8.....	78
Tabela 18: Peso dos Fatores de Localização – Artigo 9.....	80
Tabela 19: Fatores de Localização e Pesos – Artigo 10.....	82
Tabela 20: Grau de Pertinência no Conjunto “Especialista em Energia Solar”.....	109
Tabela 21: Perfil dos Participantes.....	111
Tabela 22: Respostas dos Participantes.....	112
Tabela 23: Matriz de Agregação de Possibilidades.....	113
Tabela 24: Grau de Relevância da Irradiação Solar – Análise dos Especialistas.....	114
Tabela 25: Grau de Relevância da Temperatura Média – Análise dos Especialistas.....	115
Tabela 26: Grau de Relevância da Proximidade à Linhas de Transmissão – Análise dos Especialistas.....	117
Tabela 27: Grau de Relevância da Proximidade a Rodovias – Análise dos Especialistas.....	118
Tabela 28: Grau de Relevância da Proximidade de Centros Urbanos – Análise dos Especialistas.....	120
Tabela 29: Grau de Relevância da Inclinação do Terreno – Análise dos Especialistas....	121
Tabela 30: Grau de Relevância do Azimute – Análise dos Especialistas.....	123
Tabela 31: Grau de Importância da Utilização da Terra – Análise dos Especialistas.....	124

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1: Perdas da Usina Solar Fotovoltaica .....</b>	<b>35</b>
<b>Quadro 2: Propriedades dos Conjuntos Fuzzy.....</b>	<b>43</b>
<b>Quadro 3: Propriedades Aritmética Fuzzy.....</b>	<b>44</b>
<b>Quadro 4: Lista de Revistas .....</b>	<b>62</b>
<b>Quadro 5: Análise dos Fatores de Localização – Artigo 1.....</b>	<b>64</b>
<b>Quadro 6: Fatores de Localização – Artigo 2 .....</b>	<b>67</b>
<b>Quadro 7: Zonas Excluídas – Artigo 4.....</b>	<b>71</b>
<b>Quadro 8: Critérios Econômicos – Artigo 4 .....</b>	<b>71</b>
<b>Quadro 9: Fatores de Localização – Artigo 7.....</b>	<b>77</b>
<b>Quadro 10: Fatores de Localização – Artigo 8.....</b>	<b>78</b>
<b>Quadro 11: Resumo dos Artigos Analisados .....</b>	<b>84</b>
<b>Quadro 12: Fatores de Localização dos Artigos Analisados .....</b>	<b>86</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação de Sugestão: buscou subsidiar a escolha das melhores localizações para a implementação de uma usina para uma usina solar fotovoltaica de grande porte no Estado do Rio de Janeiro. Segundo o Banco Mundial (2011), em seu relatório “*Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants*”, usinas solares fotovoltaicas de grande porte são aquelas com capacidade de geração superior a cinco MW por ano.

As principais ferramentas utilizadas foram a lógica fuzzy aliada ao modelo COPPE/COSENZA de localização industrial. Houve, para a definição da importância dos fatores de localização, a necessidade de aplicação de um questionário com profissionais do ramo em questão e a análise da literatura especializada. A partir dos dados coletados, criou-se um modelo fuzzy que aferiu as melhores localizações de forma precisa, clara, objetiva, permitindo através de índices, selecionar e priorizar a escolha das melhores localizações para as usinas de grande porte no Estado do Rio de Janeiro.

Diante da aplicação do modelo de localização de COPPE/COSENZA, acredita-se que o mesmo possa vir a se tornar parte integrante de uma ferramenta de apoio a decisão para a implantação das usinas solares fotovoltaicas de grande porte, fornecendo um novo sistema de apoio à decisão. Este modelo de competência mostrou-se mais eficiente, causando impacto aos modelos oferecidos atualmente pelo mercado. Portanto esta técnica moderna não pode ser tratada como modismo, mas sim uma ferramenta que personaliza necessidades das indústrias de qualquer ramo no momento de sua implantação.

A energia é fator primordial para o desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida das sociedades atuais (SINGH, 2002) e, segundo Goldemberg (2003), o aumento da demanda e consumo de energia elétrica tem como causas o progresso tecnológico e o avanço do desenvolvimento da humanidade. Consequentemente, obter esse recurso de maneira sustentável e competitiva é crucial (TSOUTSOS *et al.* 2005).

Por desenvolvimento sustentável entende-se aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras (Pereira *et al.* 2017). Somando a isso, há uma tendência de que o consumo de energia dos países em desenvolvimento, como o Brasil, ultrapasse rapidamente os já desenvolvidos em virtude da melhoria dos parâmetros socioeconômicos nesses países (GOLDEMBERG, 2003).

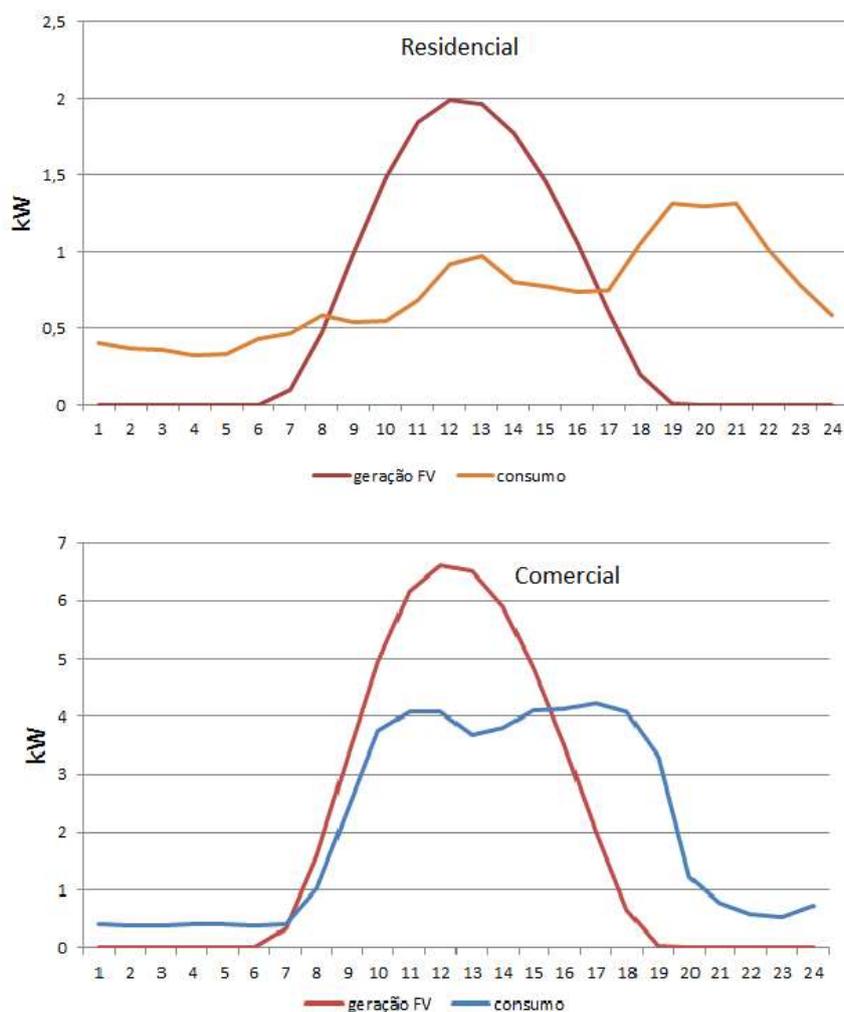
Segundo Pereira *et al.* (2006, p.11),

O aumento da demanda energética em conjunto com a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais e a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente estão impulsionando a comunidade científica a pesquisar e desenvolver fontes alternativas de energia menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental.

Ainda segundo Pereira *et al.* (2017, p.11), “uma das questões fundamentais para o desenvolvimento sustentável está na inovação e desenvolvimento de tecnologias de conversão e aproveitamento de recursos energéticos naturais”.

Há de se ressaltar que, de acordo com Zilles (2012) em seu livro “Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede Elétrica”, e Tiepolo (2015) em seu artigo denominado “Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Paraná”, uma parte significativa da demanda de energia elétrica ocorre durante o horário comercial, ou seja, com incidência de luz solar, resultante das necessidades de climatização de ambientes e da crescente participação dos setores de prestação de serviços e comércio nas atividades econômicas do país.

Conforme exposto, a demanda de eletricidade nesse período do dia coincide com o período de maior disponibilidade do recurso solar, o que torna a escolha desse recurso energético uma opção natural. Vale destacar que os valores máximos de demanda no Brasil são registrados nos meses de verão e no horário entre 12 e 15 horas, o que coincide com a disponibilidade de radiação solar para a geração fotovoltaica (INPE, 2017). O gráfico 1, elaborado pela EPE (Empresa de Planejamento Energético) mostra a estimativa de consumo de energia elétrica por hora para residências e comércios em um dia típico.



**Gráfico 1: Consumo de Energia Elétrica por Hora**

**Fonte: EPE (2017 – B)**

Além do mais, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), a energia solar pode, basicamente, ser obtida em qualquer localidade ensolarada, sendo, portanto, um suprimento de eletricidade que reduz diversos custos e aumenta a segurança energética dos países que a utilizam (IEA, 2010).

Somando a esta discussão, Uyan (2013) em seu artigo “*GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey*” e Razykov *et al.* (2011) em seu artigo “*Solar photovoltaic electricity: current status and future prospects*” afirmam que a energia solar tem algumas vantagens em comparação com outras energias renováveis, que vão desde questões ambientais até a flexibilidade de localização, além da energia solar fotovoltaica ser uma das melhores opções para suprir a demanda energética futura, levando em consideração a sustentabilidade para a geração de energia.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GERAL**

O presente estudo se propõe realizar uma avaliação para determinar as melhores localizações para uma usina solar fotovoltaica de grande porte no Estado do Rio de Janeiro de maneira a gerar os maiores benefícios sociais e econômicos para a região.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar artigos que tratam da localização de usinas solares fotovoltaicas, em especial como eles abordam os fatores de localização e os modelos de localização utilizados;
- Determinar os fatores de localização das usinas solares fotovoltaicas utilizando o modelo Coppe-Cosenza para localização industrial;
- Descrever os principais fatores de localização de uma usina solar fotovoltaica;
- Definir a importância dos fatores de localização;
- Determinar as regiões com maior potencial para a localização de usinas solares fotovoltaicas no Estado do Rio de Janeiro.

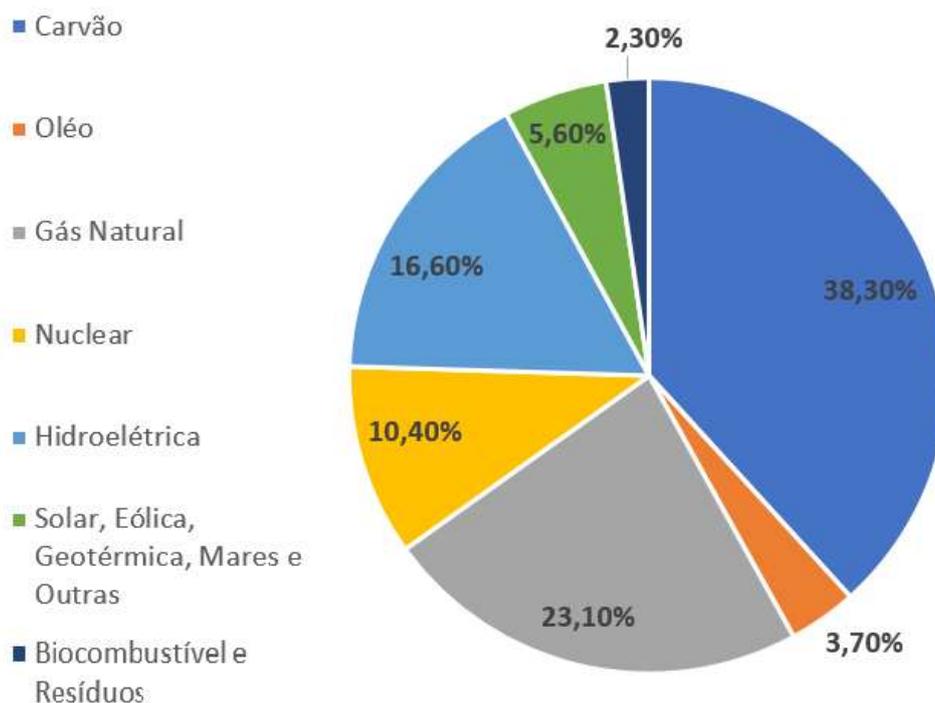
## **1.2. JUSTIFICATIVA DO TEMA**

Neste tópico será abordada a importância da geração de energia através de fontes renováveis, em especial a solar fotovoltaica. Primeiramente será dada uma visão do setor energético mundial, com foco na contribuição da energia solar fotovoltaica e, em seguida, será analisada, de maneira mais profunda, a situação do Brasil e do Estado do Rio de Janeiro, para, por fim, averiguar os impactos ambientais da geração de energia através de fontes tradicionais, o custo da energia solar fotovoltaica e os benefícios socioeconômicos que ela pode trazer.

A energia solar pode ser encontrada em qualquer local da Terra e, ademais, 99,8% de toda a energia que chega na superfície da Terra vem do Sol, tornando-a uma fonte de energia acessível e inexaurível (RAMEDANI *et al.* 2013, AL-SHAMISI *et al.* 2013 E

JAIN R 2009). Thirugnanasambandam *et al.*, em seu artigo “*Are view of solar thermal Technologies*” de 2010, indica que se somente 0,1% dessa energia for convertida em eletricidade a uma taxa de eficiência de 10%, esta quantidade seria suficiente para suprir a demanda do planeta diversas vezes.

De acordo com Burgi (2013), o setor de energia será responsável pela mudança energética para uma matriz menos intensiva em carbono nos anos que se seguirão. Vale destacar que aproximadamente 75% da geração de energia elétrica no mundo ainda é oriunda da queima de combustíveis fósseis e da fissão nuclear (IEA, 2016), conforme mostrado no gráfico 2. As fontes renováveis de geração de energia elétrica contribuem com aproximadamente um quinto da produção mundial, sendo que a hidroeletricidade detém a maior participação. Vale ressaltar que em 2015 o MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) afirmou em seu relatório “*The Future of Solar Energy*”, que naquele ano a energia solar contribuía somente com 0,85% da parcela global.



**Gráfico 2: Produção de energia mundial por fonte geradora (2016)**

Fonte: IEA (2018)

Segundo a IRENA (*International Renewable Energy Agency*), atualmente, o setor elétrico está passando por um período de rápidas mudanças em direção às energias renováveis (IRENA, 2018). A IEA (2018 – B) afirma que a energia renovável terá o maior crescimento em comparação com as outras fontes e proverá aproximadamente 30% da

demanda de energia mundial em 2023. Até o referido ano, 70% da nova demanda de energia elétrica será suprida por fontes renováveis, sendo, majoritariamente, a solar, a eólica, a hidroelétrica e a bioenergia. Nesta data, a energia solar terá um percentual de 4% do total da energia gerada no mundo. A REN21 (*Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century*) reitera que a tendência de crescimento da energia renovável é de tal dimensão que especialistas afirmam que o percentual de energia renovável em 2050 será superior a 50%, podendo chegar até a 80% (REN21, 2017)

O crescimento da energia solar vem sendo comprovado pois, entre 2006 e 2016, segundo a IRENA (2018), a capacidade instalada de usinas fotovoltaicas teve um crescimento médio de 28% ao ano. Isto significa que passou de 6,1 GW para 291 GW.

As usinas fotovoltaicas devem ter a sua localização muito bem planejada, de maneira que provejam a maior geração de energia e, por consequência, crescimento econômico e desenvolvimento socioeconômico, quando possível (ZOGHI *et al.*, 2015).

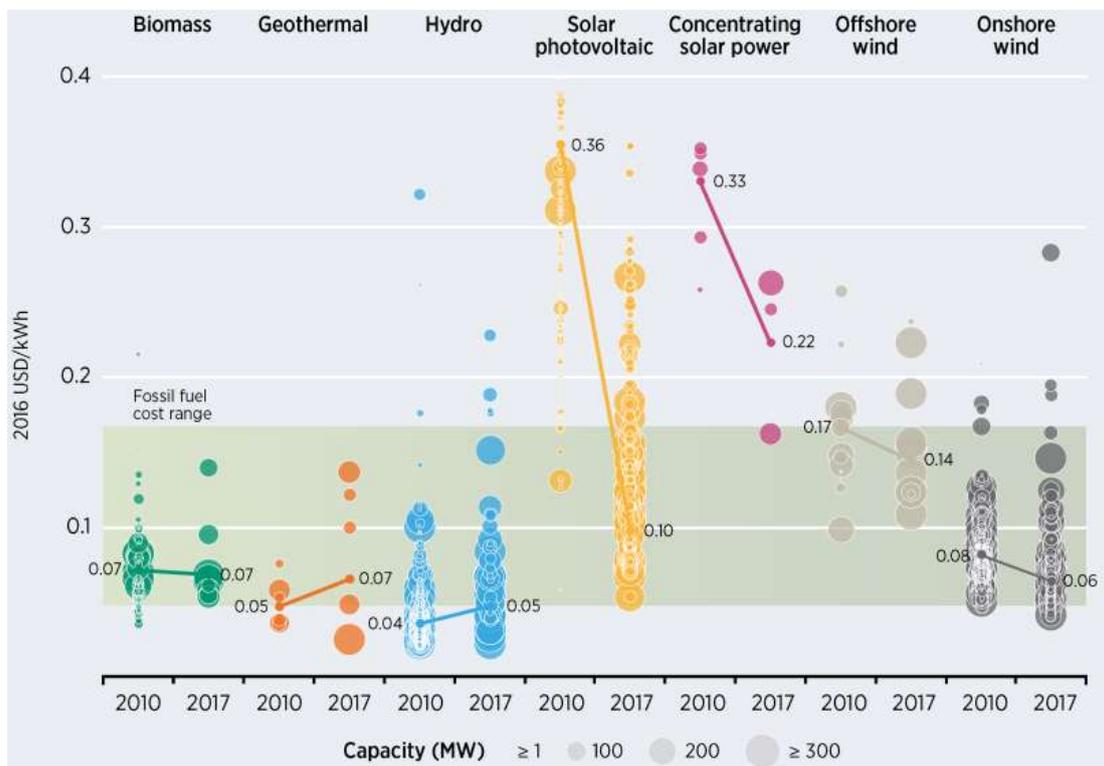
A seguir serão abordados os seguintes tópicos para justificar a importância do estudo da energia solar fotovoltaica:

- O custo da energia solar – como a redução dos custos dos painéis e aumento da eficiência na geração de energia estão tornando as usinas solares fotovoltaicas cada vez mais viáveis economicamente;
- A questão do meio ambiente – como a queima de combustíveis fósseis para a geração de energia afeta o clima mundial;
- A evolução da demanda energética brasileira – qual é a matriz energética brasileira atual e o quanto a demanda brasileira por energia elétrica vai crescer nos próximos anos;
- Dados sobre a população, economia, produção e demanda energética do Estado do Rio de Janeiro;
- Níveis de irradiação solar do Brasil e do Rio de Janeiro;
- Os benefícios socioeconômicos que a utilização da energia solar pode oferecer.

### 1.2.1. CUSTO DA ENERGIA SOLAR

Segundo a IRENA (2018), a energia solar vem se tornando cada vez mais competitiva devido à redução do seu preço. Pesquisas afirmam que os custos dos sistemas fotovoltaicos caíram mais de 100 vezes desde 1950, sendo que entre 1980 e 2013 a redução foi de aproximadamente 21,5% (NEMET, 2006 e EPE 2018 – E).

Mundialmente, o custo médio da geração de eletricidade foi de 0,05 dólar por kwh, já os novos projetos de usinas fotovoltaicas apresentaram um custo de 0,10 dólar por kwh, isto é, 0,05 dólar por kwh mais caro que a média mundial. Porém, conforme o gráfico 3 demonstra, o custo KWH da usina solar fotovoltaica teve uma queda significativa nos últimos anos, aproximadamente 73% (IRENA, 2018)



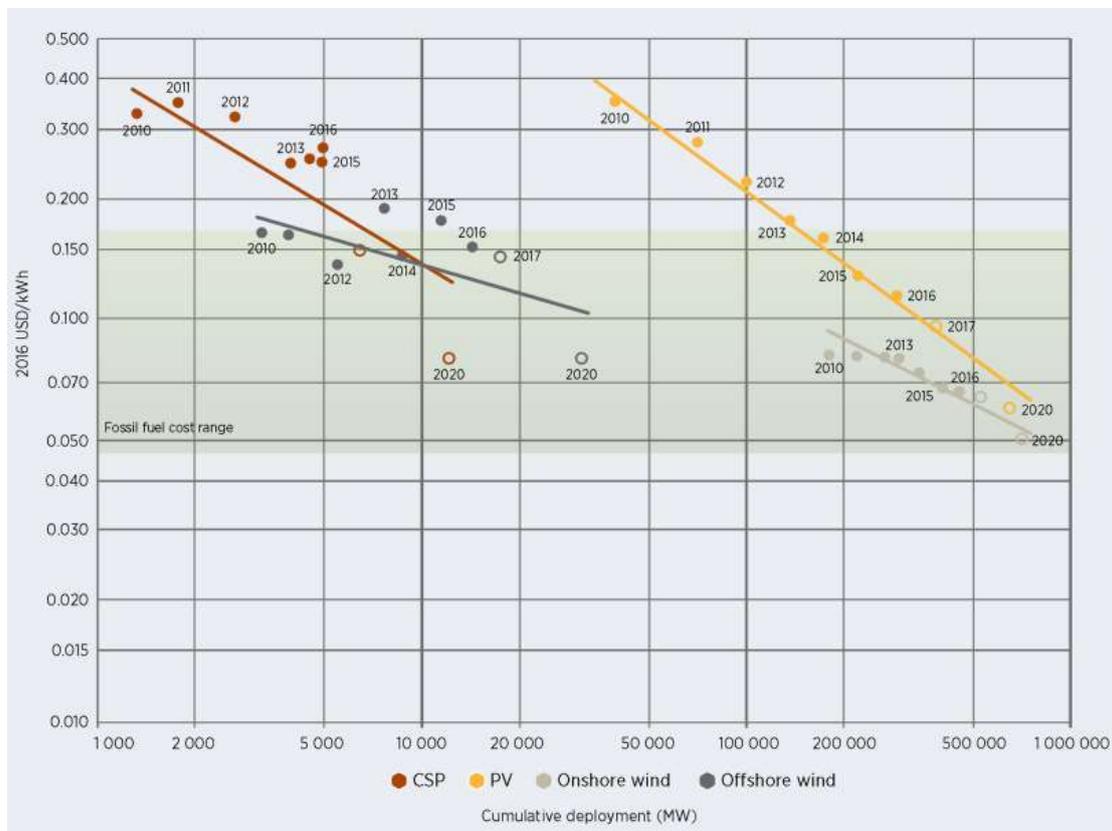
**Gráfico 3: Comparação dos Custos por fonte geradora**  
Fonte: IRENA (2018)

No gráfico 3 pode-se perceber que a queda do preço, em kWh, da energia solar foi bem acentuada entre 2010 e 2017, saindo de uma média de 0,36 Dólar para 0,10 Dólar, se aproximando cada vez mais das fontes mais tradicionais de geração de energia. Vale ressaltar que as usinas solares fotovoltaicas mais eficientes já geram energia a um custo similar aos destas fontes.

IRENA (2018) e Nemet (2006) afirmam que os avanços tecnológicos, economias de escala provenientes do aumento da produção e a curva de aprendizagem referente aos processos produtivos e a construção das usinas foram os principais responsáveis pela redução dos custos das usinas solares fotovoltaicas.

Nemet (2006) em seu artigo “*Beyond the learning curve: factors influencing cost reductions in photovoltaics*” e Vaan (2007) em seu trabalho “*The learning potential of photovoltaics: implications for energy policy*” destacam a curva de aprendizagem referente ao custo de produção dos painéis solares que para cada vez que a produção acumulada dobra o custo de produzi-los é reduzido em aproximadamente 20%.

Segundo a EPE (2018 – E), os custos de investimento em sistemas fotovoltaicos devem reduzir 30% entre 2020 e 2050 e, de acordo com a IRENA (2018), em 2020 espera-se que as grandes usinas fotovoltaicas gerem energia a um custo de aproximadamente 0,06 dólar por kwh, conforme demonstrado no gráfico 4. Além disso, o aprimoramento do armazenamento de energia elétrica em grande escala, que é uma alternativa cara nos dias atuais, porém, deve tornar as usinas cada vez mais viáveis.



**Gráfico 4: Curva de Aprendizagem na Geração de Energia Solar**  
**Fonte: IRENA (2018 - Renewable Power Generation Costs in 2017)**

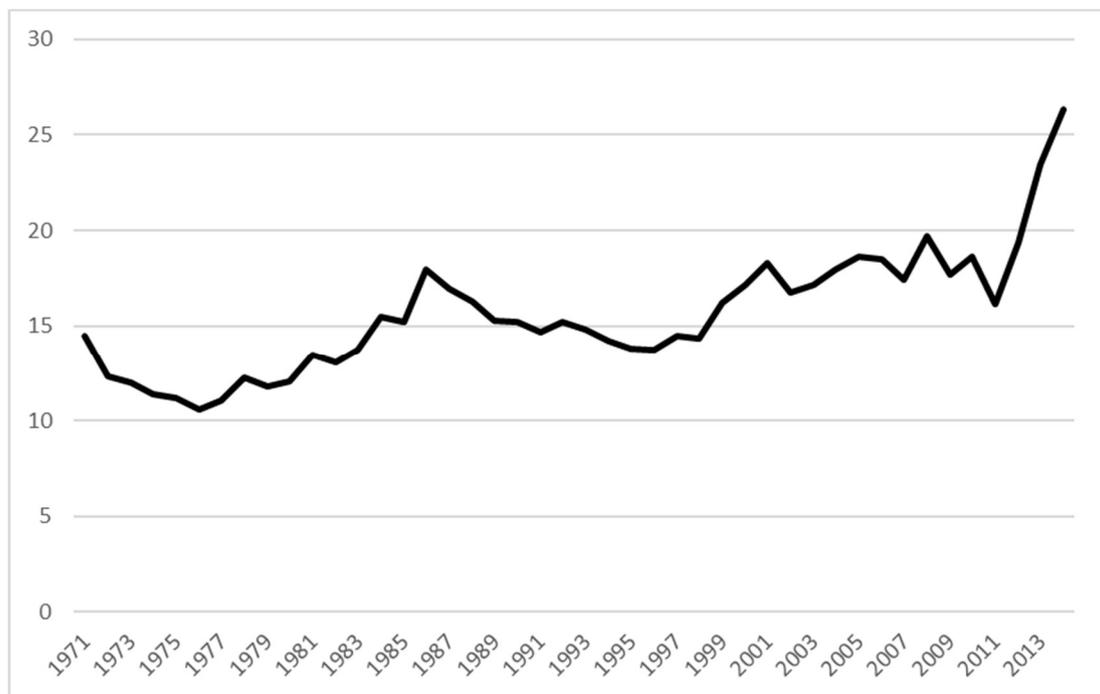
Com base nos dados expostos, torna-se evidente que o custo de implantação de uma usina solar fotovoltaica, em especial as de grande porte, está se tornando cada vez mais competitivo quando comparado com os meios tradicionais de geração de energia. Dentre os motivos para essa redução pode-se citar a produção em massa, curvas de aprendizado e materiais mais eficientes das células solares.

### **1.2.2. MEIO AMBIENTE**

A atenção mundial em direção ao desenvolvimento sustentável tem promovido debates acerca dos impactos ambientais causados pelos combustíveis fósseis. Neste contexto, percebe-se uma tendência global de utilização de fontes energéticas limpas e renováveis (TOLMASQUIM, 2016).

A *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, 2018) afirma que desde 1880 a temperatura média da terra subiu aproximadamente 0,8°C e as geleiras nos polos do planeta Terra reduziram 12,8% em área ocupada na última década. A instituição também sustenta que essas mudanças foram ocasionadas pela atividade humana, muito particularmente pela queima de combustíveis fósseis, que emitem os gases causadores do efeito estufa, sendo o de maior participação o CO<sub>2</sub>.

O Banco Mundial (2018) atesta que, em 2014, aproximadamente 49% de toda a emissão de CO<sub>2</sub> ocorreu por conta da geração de eletricidade e aquecimento. Para o Brasil temos o valor de 26,31%. No balanço mundial, o Brasil é responsável por emitir cerca de 1,5% dos gases causadores do efeito estufa produzidos globalmente. O gráfico 5 mostra a evolução da emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil ao longo dos anos.



**Gráfico 5: Evolução do Consumo % de CO2 do setor de energia elétrica do Brasil**  
**Fonte: Banco Mundial (2018)**

A Organização das Nações Unidas (ONU) reforça os dados apresentados, uma vez que ela demonstra que a Terra vem sofrendo com as mudanças climáticas provenientes do aquecimento global e que investir em energias renováveis para diminuir a utilização dos combustíveis fósseis é a melhor maneira de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa, mantendo a elevação da temperatura global abaixo de 1,5°C, nos níveis anteriores à revolução industrial. Essa meta existe com o propósito de minimizar os impactos negativos da mudança climática, tais como: fome, migrações em massa e acentuação das diferenças sociais (UN, 2015).

Corroborando com esta discussão, Mekhilef, Saidur e Safari (2011) afirmam que os impactos da mudança climática serão responsáveis, direta ou indiretamente, por mais de 160 mil mortes anualmente, com expectativas de aumentar de maneira significativa em um futuro próximo, caso nenhuma providência seja tomada e, além disso, o aumento de desastres naturais, como enchentes e secas também serão consequências do aquecimento global (SINDHU *et al.*, 2016).

Vale ressaltar que, segundo o MIT (2015), em seu relatório “*The Future of Solar Energy*”, relativo a emissão do gás CO<sub>2</sub>, há o agravante que ele permanece na atmosfera terrestre por séculos, o que estende significativamente o horizonte de danos provocado por este gás.

Pesquisas afirmam que algumas externalidades negativas não são levadas em consideração quanto a utilização de combustíveis fósseis. A exemplo de um estudo que comprova que os gastos com problemas de saúde provenientes de usinas de carvão nos Estados Unidos correspondem a 39% do custo em KWh das usinas em si e estes gastos não são contabilizados de forma alguma. Isto significa que cerca de 40% do custo de uma usina de carvão é oculto, portanto não contabilizado (COHON *et al.*, 2010). Já a energia solar fotovoltaica, na contramão das fontes provenientes de combustíveis fósseis, não emite poluentes durante sua operação (EPE, 2018 - E).

Segundo a EPE (2018 - E), as preocupações para a expansão da oferta de energia no Brasil devem levar em consideração a segurança energética e as mudanças climáticas. Portanto, as políticas públicas devem responder a essas preocupações promovendo o desenvolvimento e uso de tecnologias mais eficientes e aumentando a participação de fontes renováveis. Além disso as fontes provenientes de combustíveis fósseis e nuclear são finitas, ou seja, encontram-se na natureza em quantidades limitadas. Portanto, extinguem-se conforme utilizadas.

Somado a isso, no Brasil, a questão ambiental e das energias renováveis têm estado cada vez mais em voga. É possível citar, por exemplo, a Lei 9478/1997, que disserta sobre a política energética nacional definindo que:

- O Brasil deve utilizar fontes alternativas de energia, mediante o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis;
- Deve-se fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável;
- São objetivos nacionais proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia;

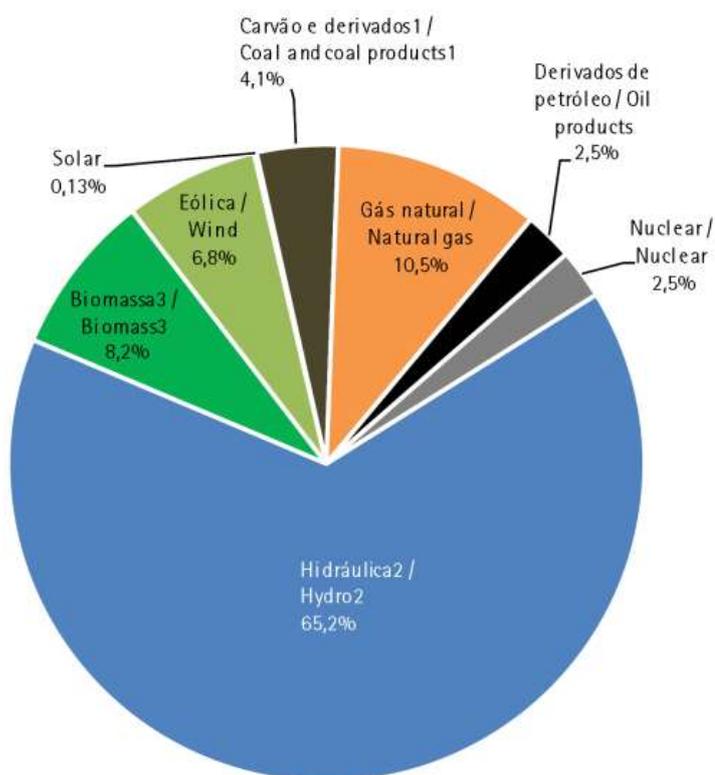
### **1.2.3. DEMANDA ENERGÉTICA BRASILEIRA**

Prever a demanda energética não é uma tarefa simples. Segundo o EPE (2018 - F) há dois indicadores principais que podem ser utilizados para tal análise: a população e o quantitativo de domicílios.

Com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019 - A), o Brasil possui 209,5 milhões de habitantes, com projeção de atingir 224,8 milhões em 2030 e 232,9 milhões de habitantes em 2050, sendo o país de maior população da América Latina.

No que se refere ao quantitativo de domicílios brasileiros, a EPE (2018 - F) afirma que o Brasil passará de 65 milhões de domicílios em 2019 para 82 milhões em 2030 e 98 milhões em 2050, correspondendo a um crescimento maior do que a taxa de crescimento populacional demonstrada através dos dados do IBGE.

De acordo com Burgi (2013), a matriz energética brasileira é diferente da observada no restante do mundo, pois a hidroeletricidade possui o maior percentual de geração. Segundo a EPE (2018 - A), em seu relatório do Balanço Energético Nacional de 2018, foram gerados 580 TWh de energia em 2017. Desse percentual 19,6% foram provenientes de fontes não renováveis. Dos 80,4% da matriz renovável, 65,2% provém da hidroeletricidade e apenas 0,13% da energia solar, conforme mostra o gráfico 6.

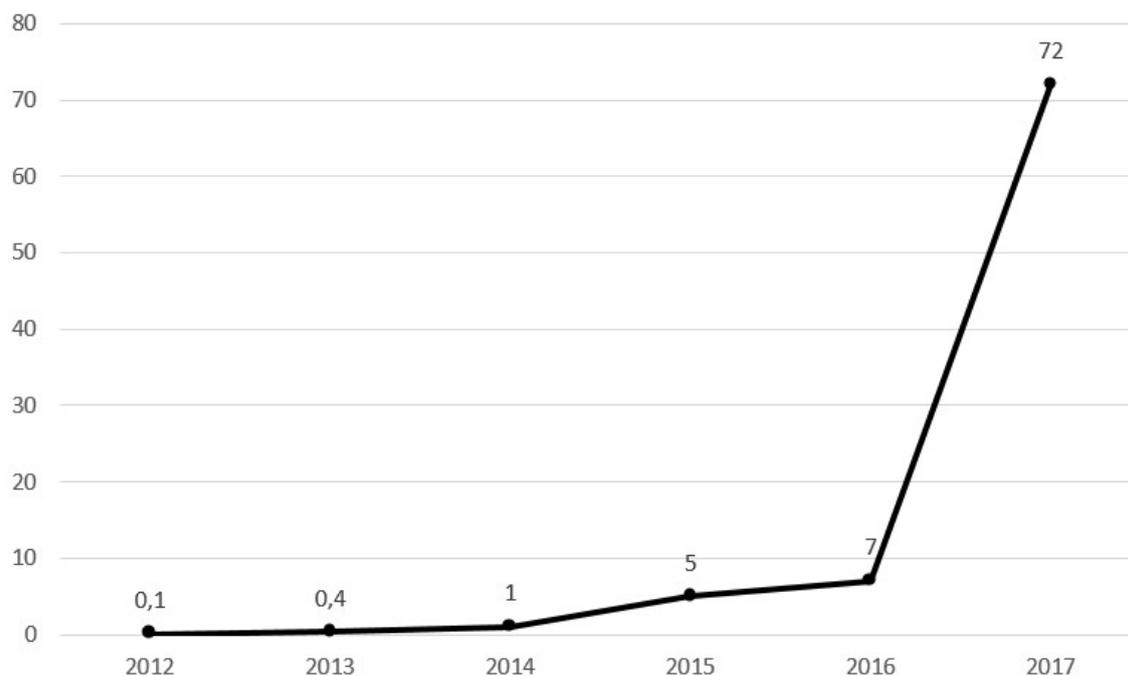


Notas / Notes:

1. Inclui gás de coqueria / Includes coke oven gas
2. Inclui importação de eletricidade / Includes electricity imports
3. Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações / Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

**Gráfico 6: Oferta interna de Energia Por Fonte**  
**Fonte: EPE (2018 - A)**

Pesquisas afirmam que a expansão recente da capacidade instalada de geração de energia elétrica por fontes renováveis foi majoritariamente hidroelétrica 3.350 MW (49,5%), eólica 2.159 MW (31,9%) e fotovoltaica 935 MW (14,4%). Vale destacar que o aumento da capacidade instalada de energia solar no Brasil (em TEP – tonelada equivalente de petróleo) foi expressiva desde 2012, conforme demonstrado no gráfico 7 (EPE, 2018 - A).



**Gráfico 7: Evolução da Capacidade Instalada de Geração de Energia Solar (em TEP)**

**Fonte: EPE (2018 – A)**

Segundo a EPE (2018 - B) no seu relatório de Plano Decenal de Expansão da Energia 2027, é esperado que a oferta de energia elétrica seja 86% provida através de fontes renováveis no Brasil. Por este motivo são esperados investimentos de 1,8 trilhão de reais no setor energético brasileiro na década que se seguirá.

No Brasil a elasticidade-renda para a eletricidade é de 1,28 e é esperado um aumento de 3,6% do consumo anual em média até 2027. Na tabela 1 é possível verificar a evolução da demanda de energia elétrica do Brasil até 2027 (EPE, 2018 – B)

**Tabela 1: Evolução da Demanda de Energia Elétrica do Brasil**

<b>Discriminação</b>	<b>2018</b>	<b>2022</b>	<b>2027</b>
População (Milhões de habitantes)	208	215	221
Consumo Total (TWh)	526	632	753

**Fonte: EPE (2018 – B)**

Segundo a EPE (2018 – B), para suprir o crescimento da demanda energética será necessário explorar o potencial energético do Brasil, em especial das fontes renováveis (hidroelétrica, biomassa, eólico e solar).

Uma questão é que, segundo a abordado pela EPE (2018 - B), no relatório de Plano Decenal de Expansão da Energia 2027, a maior parte do potencial hidroelétrico a ser aproveitado se encontra na Região Norte do Brasil, o que traz diversos desafios, em especial no que tange às questões ambientais. Fato esse que, segundo a própria EPE (2018 - C) em seu relatório Plano Nacional de Energia – 2050, gera resistência à expansão do parque hidroelétrico brasileiro. Além disso, de acordo com o relatório de Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica (EPE, 2018 - E) – usinas hidrelétricas na Amazônia geram custos adicionais com longas linhas de transmissão, tornando a energia hidroelétrica nessa região menos competitiva quando comparada com outras fontes de geração.

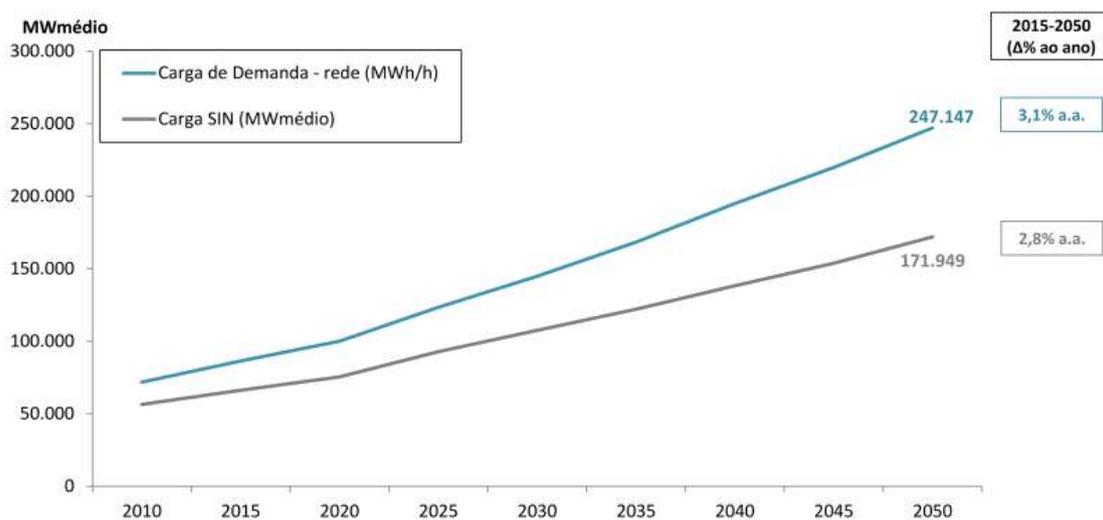
Nesta direção, ressalta-se o fato que as usinas hidroelétricas produzem um impacto que ainda não foi totalmente estudado. A exemplo de impactos ambientais gerados tem-se o alagamento de grandes áreas cultiváveis e a emissão de gases causadores de efeito estufa (majoritariamente CH<sub>4</sub>) na atmosfera, resultante de processos de degradação anaeróbica da matéria orgânica que ocorrem em áreas alagadas (STIVARI *et al.*, 2005 e FEARNSSIDE *et al.*, 2005).

A energia nuclear é mencionada como uma fonte “limpa” de energia elétrica por não provocar a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. Contudo, ela não tem sido bem aceita pela sociedade civil em razão do questionamento sobre os riscos associados (vazamento e por consequência a contaminação de material radioativo) e ao problema do armazenamento dos rejeitos radioativos gerados (PEREIRA *et al.*, 2006).

Em um horizonte de longo prazo, a EPE (2018 - C) em seu relatório Plano Nacional de Energia - 2050 - Cenários Econômicos, a economia brasileira deve crescer entre 1,6% e 3,1% ao ano até 2050, variando entre cenários otimistas ou pessimistas, o

que gera uma incerteza considerável em qual será a demanda energética nesse período, de tão longo prazo.

Tendo em vista esses cenários, a EPE (2018 - E) em seu relatório Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no Horizonte 2050, projetou uma demanda de energia elétrica até o ano de 2050, mostrada no gráfico 8:



**Gráfico 8: Evolução da Demanda de Energia Elétrica**  
Fonte: EPE (2018 - E)

A carga de demanda ilustrada no gráfico 8 corresponde à demanda máxima de cada ano, integralizada em uma hora. É possível perceber que a demanda de energia elétrica brasileira (carga SIN – MW médio) terá um aumento de cerca de 200% nos próximos 30 anos atingindo aproximadamente 172 MWh/h em 2050.

#### **1.2.4.DADOS POPULACIONAIS, ECONOMICOS, DE GERAÇÃO E PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

A Fundação CEPERJ (Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro) afirma que o Rio de Janeiro tem área de 43.752,8 km<sup>2</sup>, sendo o vigésimo quarto estado brasileiro em extensão territorial. Faz parte da Região Sudeste, que é considerada a mais desenvolvida do país e possui limites territoriais com todos os estados que a compõem. Ao Norte, limita-se com Minas Gerais; ao sul, leste, sudeste e sudoeste com o Oceano Atlântico; a oeste, com São Paulo e, a nordeste, com o Espírito Santo. A maior parte destes limites são elementos naturais: Rio Paraíba

do Sul, Rio Preto e pontos altos do Planalto de Itatiaia, entre o Rio de Janeiro e Minas Gerais; Rio Itabapoana, entre o Rio de Janeiro e o Espírito Santo; pontos altos da Serra do Mar e vários córregos entre o Rio de Janeiro e São Paulo (CEPERJ, 2019).

Segundo o IBGE (2019 – A) o Rio de Janeiro possui 17,2 milhões de habitantes, com estimativa de atingir 18,1 milhões de habitantes em 2030 e 18,2 milhões de habitantes em 2050.

O PIB fluminense totalizou cerca de R\$ 659 bilhões, sendo o segundo maior do Brasil. O setor de serviços possui a maior participação, 47% (R\$ 312 bilhões), seguido pela Indústria (R\$ 131 bilhões), responsável por 20% do total produzido. Cada uma das atividades contribuiu com 11% do total produzido no país nos respectivos setores, o que evidencia a importância econômica do Estado Rio de Janeiro (FIRJAN, 2018). Com relação a renda domiciliar, o Estado do Rio de Janeiro, possui uma renda domiciliar per capita 25% maior que a média nacional e 5% superior à média do Sudeste Brasileiro. (Sebrae-RJ, 2017).

O Estado é dividido em 92 municípios, que são agrupados em oito regiões (CEPERJ, 2019), conforme mostrado no mapa 1:

- Região das Baixadas Litorâneas;
- Região Centro-Sul Fluminense;
- Região Costa Verde;
- Região do Médio Paraíba;
- Região Metropolitana;
- Região Noroeste Fluminense;
- Região Norte Fluminense;
- Região Serrana.



**Mapa 1: Regiões do Estado do Rio de Janeiro**  
**Fonte: CEPERJ (2019)**

A Região Metropolitana concentra cerca de 2/3 do PIB e do total de empregados: a cidade do Rio de Janeiro, capital do Estado, concentra grande parte desse percentual. Além dos limites da Capital, a indústria também possui papel fundamental para o desenvolvimento do interior do estado do Rio. No Sul fluminense, as atividades de outros equipamentos de transporte, veículos automotores e metalurgia concentram na região o maior número de empregados do estado nessas atividades. No Norte, destaque para a atividade Extrativa de Petróleo e para Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos; no centro-norte, vestuário e acessórios, que também possui presença no noroeste fluminense; no centro-sul, produtos alimentícios; e na região serrana, a indústria de aeronáutica (FIRJAN, 2018).

De acordo com a EPE (2018 - A) – Balanço Energético Anual de 2018, o Rio de Janeiro gerou as seguintes quantidades de energia em GWh no ano de 2017.

**Tabela 2: Percentual de Geração de Energia Elétrica do Rio de Janeiro (GWh)**

<b>Total</b>	<b>Hidro</b>	<b>Eólica</b>	<b>Solar</b>	<b>Nuclear</b>	<b>Termo</b>	<b>Bagaço da Cana</b>	<b>Lenha</b>
57.965	5.310	78	11	15.739	36.827	517	106

Fonte: EPE (2018 - A)

Isto é, segundo a EPE (2018 - A), o estado é responsável por gerar aproximadamente 10% da energia brasileira (587 GWh). Na tabela 2 observa-se que o maior percentual da geração de energia elétrica vem das fontes nuclear e termoeletrica, com um percentual bem inferior à média nacional, proveniente de fontes renováveis.

Segundo a EPE (2017 - A), na região Sudeste do Brasil os seguintes consumos de energia elétrica foram registrados:

**Tabela 3: Consumo de Energia (GWh) nos estados da Região Sudeste do Brasil**

<b>Estado</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
São Paulo	133.742	136.223	136.482	60.815	127.171
Minas Gerais	53.407	53.899	54.173	51.810	53.076
Espírito Santo	10.060	10.492	10.925	11.015	9.836
Rio de Janeiro	38.050	39.469	40.934	41.073	39.886
<b>Região Sudeste</b>	<b>235.259</b>	<b>240.083</b>	<b>242.514</b>	<b>164.713</b>	<b>229.969</b>

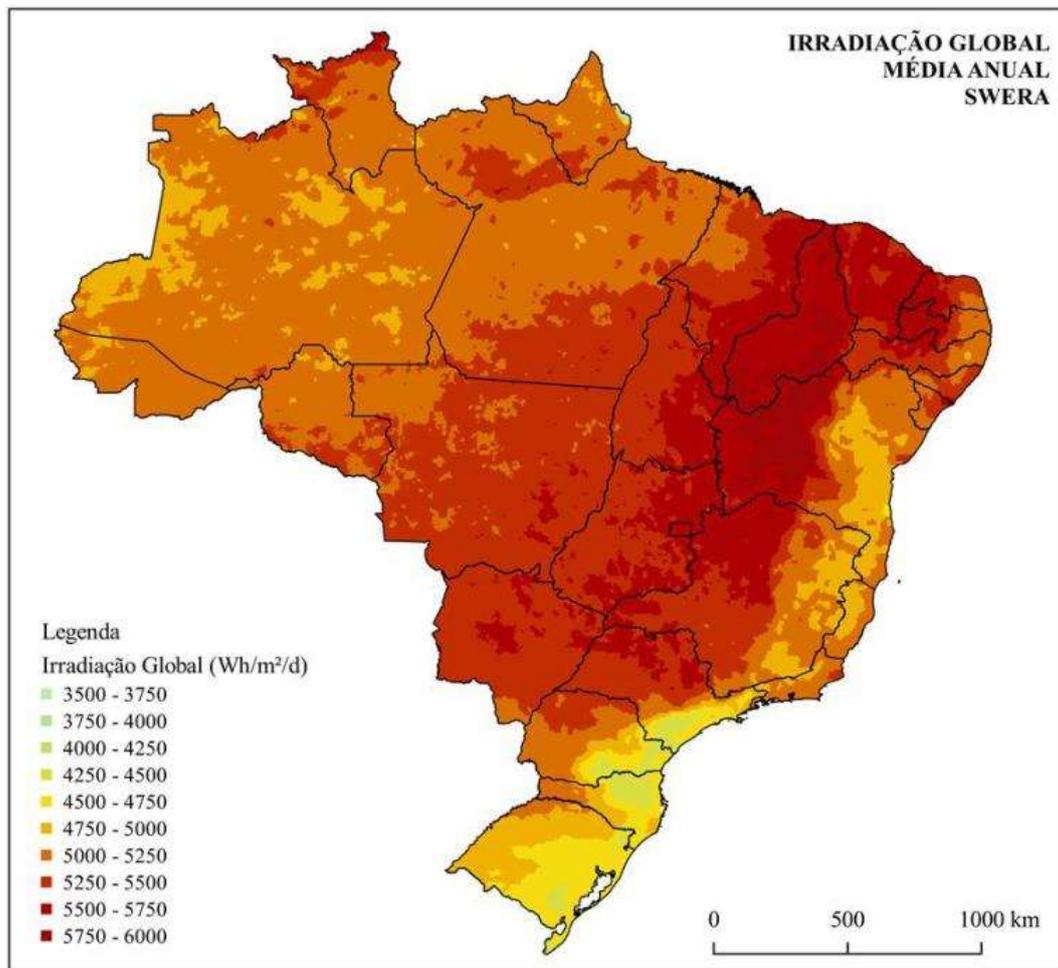
Fonte: EPE (2017 -A)

Analisando a tabela 3 percebe-se que o Rio de Janeiro tem um superávit de cerca de 17 mil GWh na sua geração de energia elétrica, majoritariamente pela produção de energia através das fontes não renováveis, a termoeletrica e a nuclear.

### **1.2.5. NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL E ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

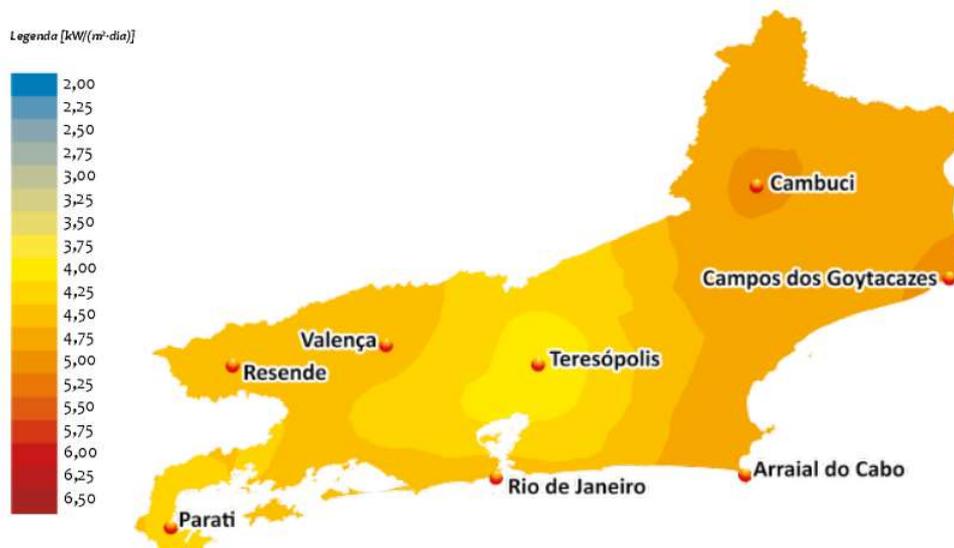
O potencial solar brasileiro é consideravelmente superior ao observado em países do hemisfério norte da Terra, quando comparados em níveis de irradiação (MARTINS *et al.*, 2007).

O Mapa 2 apresenta o mapa de irradiação solar global anual para o território brasileiro. Neste, pode-se observar que a média anual de irradiação global ao longo do território brasileiro possui pequena variabilidade entre as regiões, mesmo com as grandes diferenças meteorológicas observadas (PEREIRA *et al.*, 2017).



**Mapa 2: Irradiação Global do Brasil**  
Fonte: Simioni (2017)

Martins (2012) afirma que a menor irradiação solar global no território brasileiro ocorre na região Sul, onde a precipitação é bem distribuída no decorrer do ano. Já as maiores irradiações ocorrem na região Nordeste, no semiárido, devido à falta de chuvas e dias nublados. Ele ainda ressalta que a quantidade de luz solar que o Brasil recebe é bem superior a maior parte dos países da Europa, onde os projetos de energia solar são muito mais disseminados.



**Mapa 3: Irradiação Global – Rio de Janeiro**  
**Fonte: Atlas Rio Solar (2017)**

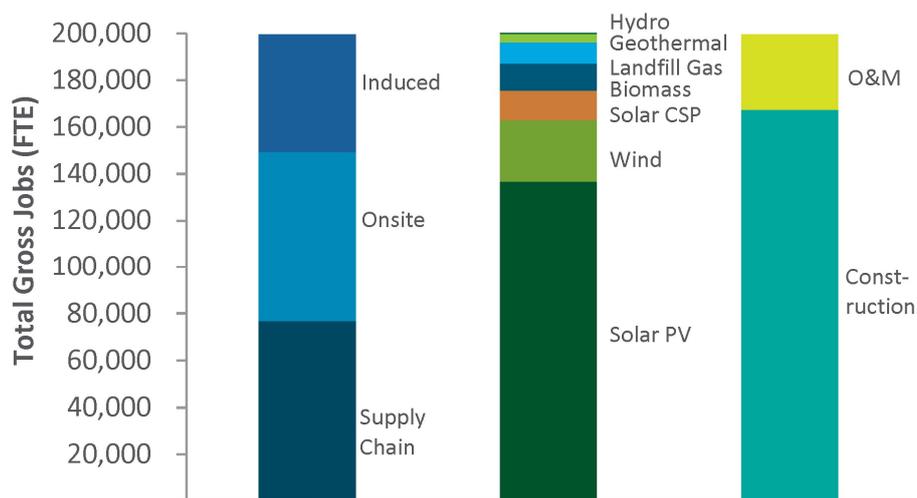
O mapa 3 mostra a irradiação global média anual para o Estado do Rio de Janeiro. Percebe-se os níveis de insolação variando de 4000 a 5500 Wh/m<sup>2</sup>.dia ao longo do ano. A região do Norte Fluminense, parte da Região dos Lagos e o litoral Sul do estado são as áreas com o maior potencial para produção de energia solar fotovoltaica, analisando-se somente a irradiação global média. A Região Serrana é a área do estado com a menor capacidade de geração solar.

### **1.2.6. BENEFÍCIOS SOCIOECONOMICOS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Charabi (2011) afirma que a instalação de usinas de energia solar fotovoltaica gera impactos econômicos significativos na região onde esta é instalada no que tange a produção e, em especial, a geração de empregos. O NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) afirma que a instalação e, posteriormente, a operação desse tipo de usina requer trabalhadores tanto para construí-las quanto para mantê-las, além de mobilizar toda uma cadeia de suprimentos (NREL, 2016).

Vergara (2013) diz que o investimento em energia renovável produz mais trabalhos por dólares investidos do que os meios tradicionais. A título de exemplificar essa relação, tem-se nos Estados Unidos uma relação de três para um, isto é, para cada dólar gasto com energia renovável produz-se três vezes mais emprego quando comparado com a geração de energia através dos combustíveis fósseis.

Estima-se que a utilização de energia foi responsável por aproximadamente 200 mil empregos em 2013 e por 20 Bilhões do PIB dos Estados Unidos naquele ano. Destes empregos, 170 mil foram relacionados a construção e a energia solar fotovoltaica foi responsável pela maior parte deste montante (NREL,2016). O gráfico 9 demonstra esses números.



**Gráfico 9: Empregos nos EUA**  
**Fonte: NREL (2016)**

Pesquisas afirmam que as usinas solares fotovoltaicas podem ser construídas perto de linhas de transmissão já existentes, evitando, portanto, os custos de construção deste tipo de infraestrutura. Elas também podem ser construídas mais próximas aos centros urbanos, possibilitando uma perda da energia elétrica menor (ZAHEDI, 2011).

A tabela 4 sumariza os custos e os benefícios sociais de uma usina solar fotovoltaica conectada à rede de eletricidade nos Estados Unidos.

**Tabela 4: Benefícios da Energia Solar**

Value	Range (\$/MWh)
Value of avoided GHG emissions	3.3 – 19.3
Value of avoided criteria pollutant emissions	0.1 – 18.8
Avoided generation capacity cost (relevant if peak demand occurs in daytime)	29.2 – 230.6
Avoided cost of additional transmission infrastructure	0.4 – 100.0
Avoided distribution cost	1.9 – 29.5
Avoided cost of fuel (natural gas)	32.4 – 97.1
Avoided generation and T&D losses (system losses)	1.5 – 43.0
Value of grid Support (ancillary services)	0.5 – 2.8
Value of fossil fuel price hedge (risk premium)	4.1 – 9.5
<b>TOTAL</b>	<b>77.5 – 513.1</b>

**Fonte: Vergara (2013)**

Além da geração de empregos, é necessário mencionar o fato de que a energia solar pode, basicamente, ser obtida em qualquer localidade ensolarada. Portanto, por ser um suprimento descentralizado de eletricidade, reduzindo diversos custos e aumentando a segurança energética (IEA, 2010).

Inglesi-Lotz (2015) afirma que investir em energia renovável contribui significativamente para o crescimento econômico. Como exemplo, países da Europa têm um crescimento de 4,4% no PIB para cada 1% de acréscimo no percentual de energia renovável na matriz energética.

### **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

A presente dissertação de mestrado será dividida da seguinte maneira:

O capítulo dois abordará a metodologia que será aplicada na dissertação de mestrado.

No capítulo três consta a revisão da literatura, isto é, a descrição do que é a energia solar, mais especificamente o que é a radiação solar. Além disso é explicado, de maneira sucinta, o efeito fotoelétrico e como uma usina solar fotovoltaica funciona. Também é explicado o que é o SIG (Sistema de Informações Geográficas), o que é a lógica fuzzy e o modelo COPPE-Cosenza. Além do mais, serão apresentados alguns exemplos de aplicação do modelo referido.

O capítulo quatro é o método aplicado. Ele é iniciado com a análise de dez artigos, conceito Capes superiores a B2, que tratam da localização de usinas solares fotovoltaicas em diferentes países. O foco principal é avaliar os fatores de localização escolhidos e suas respectivas importâncias. Em seguida, os fatores de localização serão escolhidos com base no referencial teórico. Serão elencados os resultados alcançados a partir da realização de entrevistas com especialistas para determinar o grau de importância de cada um desses fatores e o modelo COPPE-Cosenza será aplicado comparando o que a usina solar fotovoltaica demanda com o que cada região tem para oferecer. O capítulo cinco será a conclusão desta dissertação.

## 2. METODOLOGIA

Segundo Minayo (1993, p. 23), pesquisa é

atividade básica das ciências na sua indagação e descoberta da realidade. É uma atitude e uma prática teórica de constante busca que define um processo intrinsecamente inacabado e permanente. É uma atividade de aproximação sucessiva da realidade que nunca se esgota, fazendo uma combinação particular entre teoria e dados.

Portanto, pesquisar significa, de forma bem simples, procurar respostas para as indagações propostas, isto é, um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico.

A hipótese central admitida nesta dissertação de mestrado é que o problema da determinação da localização de uma usina solar fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro pode ser estimada apenas a partir das condições atuais das características econômicas, de infraestrutura, políticas e ambientais e que tais características, tanto qualitativas, quanto quantitativas poderão ser quantificadas com o auxílio do modelo COPPE-Cosenza e da lógica fuzzy.

Desta maneira, o objetivo deste trabalho é realizar uma pesquisa aplicada, isto é, gerar conhecimentos para uma aplicação prática com o intuito de solucionar um problema específico. Isto será feito através do modelo Coppe-Cosenza para a localização de usinas solares fotovoltaicas no Estado do Rio de Janeiro.

Os dados para discutir as características das usinas solares fotovoltaicas e a determinação dos fatores de localização serão coletados de fontes confiáveis como:

- Artigos científicos;
- Livros especializados;
- Sites de órgãos governamentais;
- Notas de aulas;
- Entrevistas com especialistas.

Os fatores de localização serão escolhidos através da pesquisa de artigos mencionados na revisão bibliográfica e livros que tratam de assuntos correlatos.

Foi possível aplicar 15 questionários – embora o quantitativo inicial estipulado tenha sido cinco – para especialistas a fim de determinar a importância dos fatores de

localização previamente escolhidos. Entendeu-se como especialista a pessoa que tenha ao menos um ano de experiência prática com energia fotovoltaica ou possua título de mestre ou doutor na área. Os professores da UFRJ foram o foco inicial para a busca destes especialistas. A partir deles será utilizada a técnica “bola de neve” para a busca de novos participantes da pesquisa. Segundo Vinuto (2014, p. 45),

O tipo de amostragem nomeado como bola de neve é uma forma de amostra não probabilística, que utiliza cadeias de referência. Ou seja, a partir desse tipo específico de amostragem não é possível determinar a probabilidade de seleção de cada participante na pesquisa, mas torna-se útil para estudar determinados grupos difíceis de serem acessados.

A utilização do método da Bola de Neve justifica-se pela especificidade do tema e pela dificuldade em se encontrar especialistas na área em questão. Pelo mesmo motivo, o questionário (Apêndice) foi auto aplicado e o seu envio será feito por e-mail, através da ferramenta “Google Forms”, visto que os especialistas podem se encontrar em outra cidade ou até mesmo outro estado.

Segundo Amaro *et al.* (2005), um questionário tem por objetivo colher informações através da inquirição de um grupo representativo do público-alvo que se deseja pesquisar, sem que haja interação direta entre os sujeitos da pesquisa e os pesquisadores. Trata-se de uma: “[...] técnica de investigação composta por um conjunto de questões que são submetidas a pessoas com o propósito de obter informações sobre conhecimentos, crenças, sentimentos, valores, interesses, expectativas, aspirações [...]” (GIL, 2010, P.121).

Os questionários foram elaborados com base nos artigos e livros consultados para a elaboração deste projeto de pesquisa e no modelo COPPE/COSENZA, conforme exposto, ele servirá para determinar a importância de cada um dos fatores de localização que foram escolhidos previamente. Estes podem ser encontrados no apêndice I.

A pesquisa foi quantitativa, isto é, caracterizada pelo uso da quantificação, tanto na coleta quanto na abordagem dos dados, utilizando-se de processos estatísticos. Ela é frequentemente aplicada nos estudos descritivos, que procuram descobrir e classificar a relação entre variáveis, os quais propõem descobrir as características de um fenômeno. Nesse tipo de pesquisa, identificam-se primeiramente as variáveis específicas que possam ser importantes, para posteriormente explicar as complexas características de um problema (RICHARDSON, 1999).

Há de se ressaltar que existem algumas limitações a este respeito, em especial referente à coleta e tratamento dos dados. De acordo com Gil (2010) tem-se:

- A impossibilidade de oferecer flexibilidade, posto que não há como esclarecer o significado das perguntas ou adaptar-se mais facilmente às pessoas e às circunstâncias;
- A impossibilidade de captar a expressão corporal do entrevistado, bem como a tonalidade de voz e ênfase nas respostas;
- O fornecimento de respostas falsas, determinadas por razões conscientes ou inconscientes;
- A inadequada compreensão do significado das perguntas.

Quanto ao tratamento dos dados que foram coletados, uma limitação poderá ser a respeito da própria experiência profissional do autor, que influenciou em suas interpretações e a última data de atualização dos mesmos, que não necessariamente reflete fielmente a realidade.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

Neste tópico toda a literatura pertinente a este trabalho será revisada, em especial o que define a energia solar e a geração fotovoltaica, a lógica fuzzy, o SIG e o Modelo COPPE-Cosenza.

#### 3.1. ENERGIA SOLAR

Segundo Panwar (2011), as fontes de energia são divididas em três tipos: as provenientes de combustíveis fósseis, as renováveis e a nuclear. A energia renovável é normalmente definida como a energia que é obtida de recursos que podem ser “repostos” facilmente pela natureza em um curto espaço de tempo (MIRHOSSEINI *et al.*, 2011).

De acordo com Pereira *et al.* (2017), a energia irradiada pelo sol cobre uma grande faixa do espectro eletromagnético e aproximadamente 81% da energia que chega na Terra está em uma faixa de comprimentos de onda que vai do visível ao infravermelho. Essa energia alimenta todos os processos térmicos, dinâmicos e químicos, sejam eles naturais ou artificialmente desenvolvidos. Dentre os processos naturais, a fotossíntese é um exemplo. A geração de eletricidade e a climatização de ambientes são exemplos de processos artificialmente desenvolvidos.

Segundo o departamento de energia americano (2019) há dois tipos principais de geração de energia solar:

- A fotovoltaica, que utiliza painéis solares para converter a energia solar diretamente em energia elétrica (PEREIRA *et al.*, 2017);



**Figura 1: Usina Solar Fotovoltaica**  
**Fonte: Portal G1 da Globo (2019)**

- A *concentrating solar power* (CSP), ou energia solar térmica concentrada, que é utilizada majoritariamente em grandes usinas. Ela utiliza espelhos para refletir e concentrar a luz solar em um determinado ponto. Desta maneira produz calor e este poderá ser utilizado para gerar energia (PEREIRA *et al.*, 2017). Pesquisas indicam que para a utilização da energia via CSP ser efetiva são necessários locais com uma disponibilidade de irradiação solar anual acima de  $2000 \text{ kWh/m}^2$  e baixa nebulosidade (SCHLECHT e MEYER, 2012). Tais condições, segundo Martins (2012), só ocorrem no semiárido nordestino.



**Figura 2: Usina Solar CSP**  
**Fonte: Union of Concerned Scientists (2019)**

### 3.1.1. RADIAÇÃO SOLAR

Segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos (2019), a radiação solar é, em termos gerais, a radiação eletromagnética emitida pelo Sol. Essa radiação é aproveitada na Terra para gerar calor e eletricidade, por exemplo.

Todos os locais da Terra recebem luz solar pelo menos em algum período do ano. Porém, a quantidade de energia que cada localidade recebe depende de uma série de fatores, tais como (Departamento de Energia dos Estados Unidos, 2019):

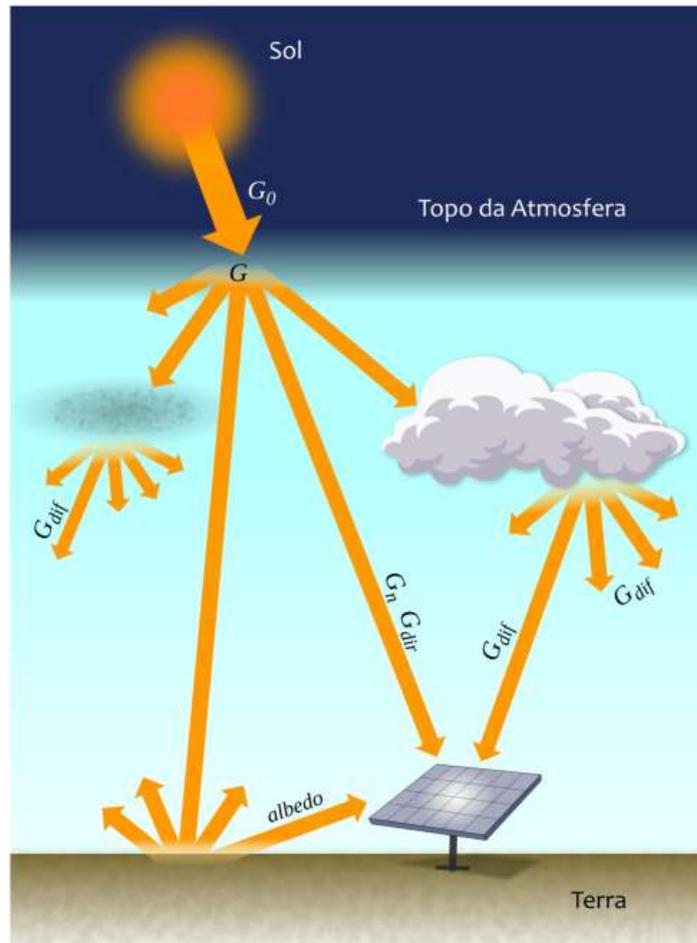
- Localização geográfica;
- Aspecto da paisagem;
- Hora do dia;
- Estação do ano;
- Clima local.

Quando a luz solar passa pela atmosfera terrestre, uma parte dela é absorvida, dispersa e refletida. Este fenômeno é chamado de radiação solar difusa. A radiação que atinge a superfície da Terra sem ser difusa é chamada de radiação solar direta. A soma da radiação solar difusa com a direta é denominada radiação solar global (Departamento de Energia dos Estados Unidos, 2019).

Segundo Pereira *et al.* (2017, p. 19) no Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª tem-se:

A irradiância solar ( $W/m^2$ ) que incide em uma superfície é composta por suas componentes direta e difusa. A irradiância solar direta apresenta direção de incidência na linha imaginária entre a superfície e o Sol e representa a parcela que não sofreu os processos radiativos de absorção e espalhamento que ocorrem na atmosfera. A componente difusa engloba a radiação proveniente de todas as demais direções que são decorrentes dos processos de espalhamento pelos gases e particulados presentes na atmosfera.

A figura 3 ilustra os conceitos em maior detalhe:



**Figura 3: Tipos de Irradiância Solar**  
 Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição (2018)

Onde:

- Irradiância extraterrestre ( $G_0$ ): é a taxa de energia incidente por unidade de área em um plano horizontal;
- Irradiância direta normal ( $G_n$ ): também conhecida como DNI, é a taxa de energia por unidade de área proveniente diretamente do Sol que incide perpendicularmente à superfície;
- Irradiância difusa horizontal ( $G_{dif}$ ): é a taxa de energia incidente sobre uma superfície horizontal por unidade de área, decorrente do espalhamento do feixe solar direto pelos constituintes atmosféricos (moléculas, material particulado, nuvens, etc.);
- Irradiância direta horizontal ( $G_{dir}$ ): é a taxa de energia por unidade de área do feixe solar direto numa superfície horizontal. Pode ser determinada como o produto entre a irradiância direta normal (DNI) e o cosseno do ângulo zenital solar;

- Irradiância global horizontal (G): é a taxa de energia total por unidade de área incidente numa superfície horizontal. A irradiância global é dada pela soma  $G = G_{dif} + G_{dir}$  ou  $G = G_{dif} + G_n \cdot \cos(\theta_z)$  onde  $\theta_z$  é o ângulo zenital;
- Irradiância no plano inclinado ( $G_i$ ): é a taxa de energia total por unidade de área incidente sobre um plano inclinado na latitude do local em relação à superfície da Terra.

Segundo Pereira *et al.* (2017), a integral da irradiância no tempo é definida como irradiação solar (Wh/m<sup>2</sup>) ou energia radiante incidente acumulada em um intervalo de tempo. Pesquisas afirmam que a Radiação Global Horizontal é o parâmetro relativo a luz solar utilizado para os projetos de usinas solares fotovoltaicas (Banco Mundial, 2011).

### 3.1.2. EFEITO FOTOVOLTAICO

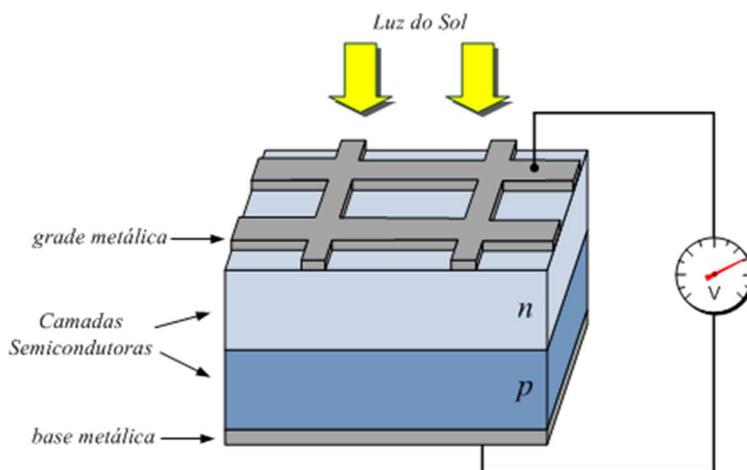
Segundo Beiser (1968), o princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica se dá por meio do efeito fotoelétrico, conhecido também como efeito fotovoltaico, no qual a luz é absorvida por elétrons do material semicondutor fotossensível. O fenômeno foi descrito pela primeira vez em 1839, pelo físico francês Edmund Becquerel. Este observou que uma pequena corrente elétrica era gerada quando certos materiais eram expostos à luz trabalhando com células eletrolíticas. Já em 1905 Albert Einstein descreveu a natureza da luz e do efeito fotoelétrico. Ele percebeu que o efeito fotoelétrico era somente possível porque a energia da onda eletromagnética está contida em pequenos pacotes de energia chamados, posteriormente, em 1926, por Gilbert Lewis, de fótons.

Rampinelli (2007) afirma que na natureza há alguns materiais que são classificados como semicondutores e têm como características a presença de duas bandas de energia. Em uma delas há a presença de elétrons e em outra não, isto é, se caracterizam por possuir uma banda de valência preenchida totalmente por elétrons e uma banda de condução com ausência de elétrons em baixas temperaturas. A separação entre as bandas de energia, conhecida como *gap* de energia é muito pequena quando comparada com materiais isolantes, em que esse valor é diversas vezes maior.

Logo, quando a célula solar, composta por esses materiais semicondutores, é exposta a luz solar permite que os elétrons passem de uma camada para outra, gerando, deste modo, eletricidade com corrente contínua. A energia gerada por cada célula solar é diretamente proporcional a intensidade da luz solar que a atinge (EPE, 2018 - D, TYAGI

*et al.* 2012, MIT, 2015 e Sampaio, 2017). Vale ressaltar que o material semiconductor mais comumente utilizado é o silício (ZILLES *et al.*, 2012).

A figura 4 ilustra o efeito fotovoltaico em uma célula fotovoltaica simplificada.



**Figura 4: Efeito Fotovoltaico**  
Fonte: Cruz (2012)

### 3.1.3. O PAINEL FOTOVOLTAICO

Um painel solar fotovoltaico é o dispositivo que converte a luz solar diretamente em energia elétrica (VILLALVA *et al.* 2009). Um conjunto de células fotovoltaicas conectadas compõe um painel fotovoltaico e quando estes são atingidos pela luz solar geram corrente direta (DC) (Banco Mundial, 2011). Devido as suas propriedades semicondutoras, as células solares são majoritariamente feitas de Silício, porém há uma diversificação cada vez maior nestes materiais (Banco Mundial, 2011).

Cada material tem características que impactam na performance e nos custos de manutenção da célula (MIT, 2015). A tabela 5 mostra as diferentes eficiências de diversos módulos comerciais.

**Tabela 5: Eficiência dos Materiais Solares**

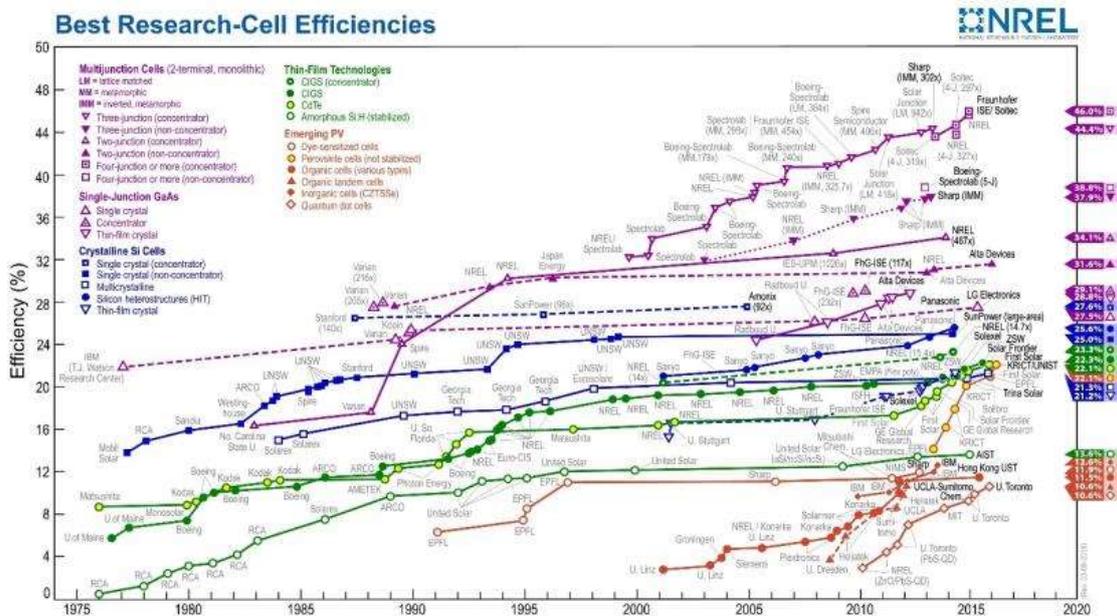
<b>Tecnologia</b>	<b>Eficiência típica de módulos comerciais</b>
<b>Silício cristalino</b>	
Monocristalino	17 a 21,5%
Policristalino	14 a 17%
<b>Filmes finos</b>	
Silício amorfo (a-Si)	4 a 8%
Telureto de Cádmiio (CdTe)	10 a 16,3%
Disseleneto de cobre-índio-gálio (CIGS)	12 a 14,7%
Concentrador fotovoltaico (CPV)	27 a 33%

Fonte: EPE (2018 -E)

O desempenho das células e módulos fotovoltaicos é quantificado pela sua eficiência elétrica. A potência elétrica gerada é sempre menor que a irradiação incidente, pois a maior parte da energia que atinge as células na forma de luz é perdida antes de ser convertida em eletricidade. A eficiência do processo de conversão de energia proveniente da luz solar em eletricidade por uma célula fotovoltaica é determinada pela razão entre a potência elétrica produzida por esta célula e a irradiância incidente, ambas em unidades de potência por unidade de área (SIMIONI, 2017).

Na última década, a eficiência dos módulos de Silício, que compõe cerca de 83% das células fotovoltaicas fabricadas atualmente, subiu cerca de 12% para 17%, aproximadamente, e em 2024 espera-se que a eficiência desses módulos atinja, em média, 25%, na melhor das hipóteses. (IRENA 2018 - Renewable Power Generation Costs in 2017 e TYAGI *et al.* (2012).

O gráfico 10 mostra a eficiência dos módulos testados em laboratório desde 1975 até o presente. Nota-se que, segundo o MIT (2015), os módulos testados em laboratório apresentam eficiências superiores àqueles utilizados em campo.



**Gráfico 10: Eficiência dos Módulos Testados em Laboratório –**  
**Fonte: NREL (2018)**

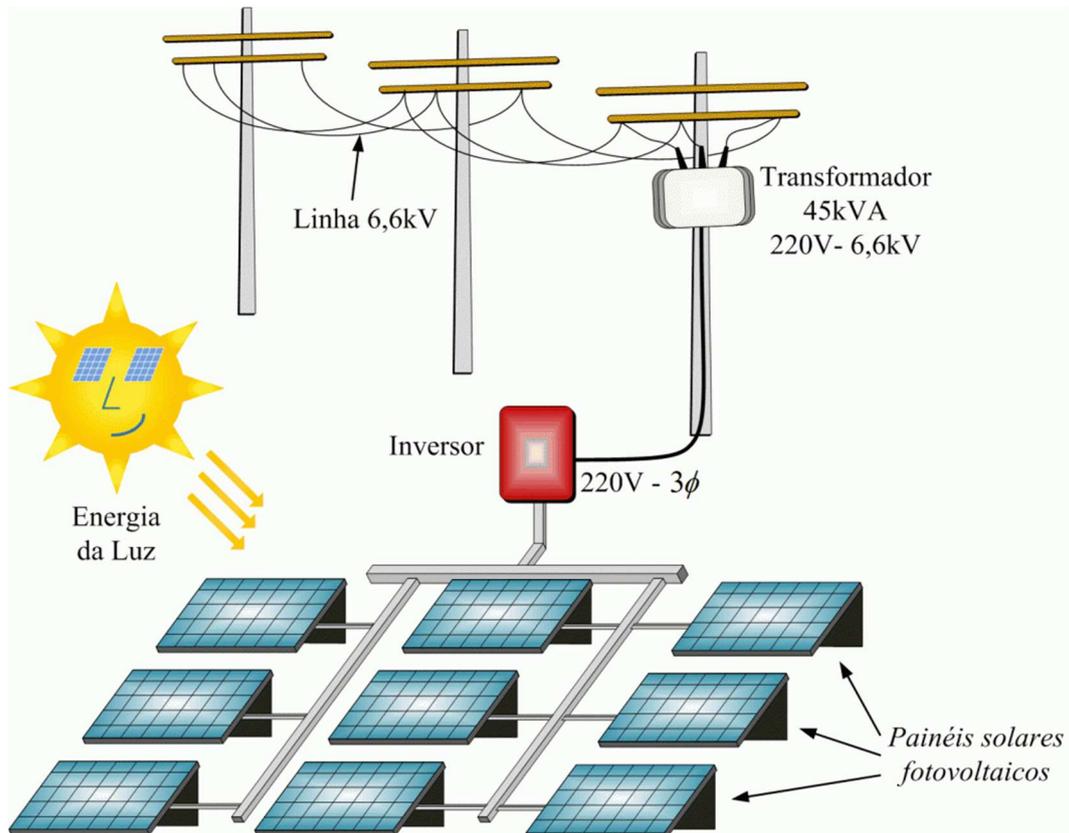
A eficiência das células solares é um fator essencial para a competitividade desse método de geração de energia (TYAGI *et al.*, 2012), pois quanto maior a eficiência mais eletricidade é gerada para a mesma área ocupada (ESCRIBANO *et al.* 2016).

Ainda há de se ressaltar que a vida útil dos módulos solares é, atualmente, de 25 anos, chegando, ao final desse período, com 80% de sua capacidade original. A perda da vida útil dos módulos chama-se, segundo o Banco Mundial (2011), degradação e depende de questões ambientais e da tecnologia do módulo.

### 3.1.4. USINA SOLAR FOTOVOLTAICA

Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição (2017), uma usina solar de grande porte típica é composta por um conjunto de painéis solares instalados no solo sobre estruturas metálicas inclinadas fixas, voltadas para o Norte, ou em estruturas que acompanham a trajetória do Sol (de maior custo). Pesquisas afirmam que o sistema que segue a trajetória do Sol pode aumentar a produção dos módulos em até 45% (Banco Mundial, 2011). Inversores são necessários para converter a corrente direta (DC) gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (AC). Desta maneira é possível fazer a conexão dos módulos fotovoltaicos com a rede de energia (Banco Mundial, 2011).

A figura 5 mostra, de maneira simplificada, o esquema de uma usina solar fotovoltaica.



**Figura 5: Esquema de Usina Solar**  
**Fonte: Pereira (2016)**

Apesar dos benefícios do sistema que acompanha a trajetória do sol, pesquisas mostram que, devido ao seu elevado custo de implantação e operação, em conjunto com a redução dos custos dos painéis, há a preferência de, nos novos projetos, não os instalar (Banco Mundial, 2011).

O Banco Mundial (2011) afirma que para estimar a produção de uma usina solar fotovoltaica é necessário saber as condições de temperatura ambiente, a irradiação solar, além das especificações técnicas dos equipamentos que serão utilizados.

Concomitantemente, o potencial anual de geração de energia solar fotovoltaica em uma região é dado pela irradiação solar, a área da usina e a eficiência de conversão do sistema (CHARABI, 2011). A fórmula a seguir mostra o potencial de geração de energia de um sistema fotovoltaico.

$$GP = SR \times CA \times AF \times \eta_{Tot}$$

**Equação 1: Formula para a Produção de Energia Fotovoltaica**

Nesta fórmula, o GP é o potencial de geração de energia fotovoltaica (kWh/ano), SR é a irradiação solar média (kWh/m<sup>2</sup>/dia), CA é a área ocupada pela usina, AF é o fator da área e  $\eta$  é a eficiência da conversão do sistema. AF é baseada no máximo de terreno que pode ser coberto pelos painéis solares com o mínimo de efeito sombra. Reporta-se que o valor gira em torno de 70 – 70% (ASAKEREH *et al.*, 2017).

A eficiência do Sistema ( $\eta_{tot}$ ) é influenciada pela eficiência do módulo, perdas devido a poeira ou sujeira nos painéis, temperatura, ângulo de instalação dos painéis e eficiência do inverter, etc. Considerando os fatores mostrados, podemos calcular a  $\eta_{tot}$  (eficiência total) do sistema (BERGAMASCO & ASINARI, 2011).

$$\eta_{Tot} = \eta_{Mod} \times \eta_T \times \eta_{AZ} \times \eta_{Inst}$$

**Equação 2: Eficiência da Usina Solar Fotovoltaica**

Onde  $\eta_{mod}$  é a eficiência do módulo,  $\eta_t$  é a variação eficiência devido a temperatura,  $\eta_{az}$  é a eficiência devido ao ângulo de instalação,  $\eta_{inst}$  é a eficiência da instalação em si (poeira, painel elétrico e inversores) (ASAKEREH *et al.*, 2017).

O Banco Mundial (2011) elaborou uma lista com as principais perdas de energia que uma usina solar fotovoltaica pode ter, conforme mostrado no quadro 1:

**Quadro 1: Perdas da Usina Solar Fotovoltaica**

<b>Perda</b>	<b>Descrição</b>
Poluição do ar	A poluição do ar pode reduzir significativamente a quantidade de luz solar recebida pelos painéis.
Sujeira	Perdas referentes a poeira
Efeito sombra	Perdas devido à sombra das montanhas, prédios ou a própria sombra de um painel sobre o outro.
Temperatura do módulo	As características dos módulos fotovoltaicos são determinadas na temperatura padrão de 25 graus celsius. A eficiência destes módulos é reduzida conforme a temperatura fica maior. Estima-se a perda de 0,5 % de eficiência por grau a mais.

**Fonte: Banco Mundial (2011)**

## **3.2. LÓGICA FUZZY**

### **3.2.1. UMA VISÃO DA LÓGICA TRADICIONAL**

A lógica estuda a relação de consequência dedutiva. Portanto, trata, entre outros aspectos, das inferências válidas, isto é, das inferências cujas conclusões têm que ser verdadeiras quando as premissas o são (D’OTTAVIAN *et al.*, 2009). Sua história tem a origem entrelaçada com o desenvolvimento em muitas tradições e culturas no mundo inteiro, dentre estas a China, a Grécia, a Índia, a filosofia islâmica e a filosofia medieval europeia. Uma das mais reconhecidas, se não a mais, é a lógica aristotélica que sobreviveu para influenciar outras culturas (NIÑO, 2011).

O estudo da lógica necessita que se explicita sua linguagem: seus símbolos e as regras de combinação às quais estão sujeitos estes símbolos para a construção dos termos e fórmulas. Através dos axiomas e regras de dedução são demonstrados os teoremas da teoria (D’OTTAVIAN *et al.*, 2009).

A lógica contemporânea tem se convertido em disciplina matemática, a lógica matemática, com características próprias. Para tal, linguagens artificiais são construídas e adequadas para lidar com a relação de consequência, linguagens essas que possuem duas dimensões relevantes: a sintática e a semântica (D’OTTAVIAN *et al.*, 2009).

### **3.2.2. CONCEITO DE LÓGICA FUZZY**

A lógica binária admite apenas os opostos (verdadeiro e falso). Portanto, não admite intervalos de verdade entre esses dois extremos. Desse modo, a lógica clássica não admite a imprecisão da verdade. Na contramão da lógica clássica tem-se que quanto mais complexo é um sistema mais impreciso e inexato é a informação que está disponível para caracterizá-lo (ROSS, 2010). Essa limitação em descrever esses sistemas é chamada de “Princípio da Incompatibilidade” (TANAKA, 1997).

A lógica fuzzy é uma extensão da lógica booleana de Zadeh que desenvolveu, em 1965, o conceito de conjunto nebuloso, introduzindo o conceito de graus de pertencimento de uma condição ou parâmetro. Isto tornou possível que um parâmetro tenha estados diferentes de verdadeiro ou falso, permitindo levar em consideração imprecisões e incertezas que ocorrem no mundo real (DERNONCOURT, 2013).

Dessa maneira, a lógica fuzzy é uma extensão da probabilidade, a incerteza relativa ao pensamento humano e a maneira de se expressar. Há de se ressaltar que é uma incerteza diferente da probabilidade, que julga objetivamente as alternativas, como por exemplo o rolar de dados (TANAKA, 1997).

Uma vantagem da lógica fuzzy é formalizar o pensamento humano, de maneira a transcrever a linguagem cotidiana (DERNONCOURT, 2013). No cotidiano é comum utilizar conceitos subjetivos para classificar ou considerar certas situações, tais como (AGUIAR, 1999) as palavras “bonito” e “novo”, que dependem do julgamento do indivíduo. Por exemplo, uma pessoa de 30 anos pode ser considerada jovem em um cruzeiro, mas não em uma discoteca (TANAKA, 1997).

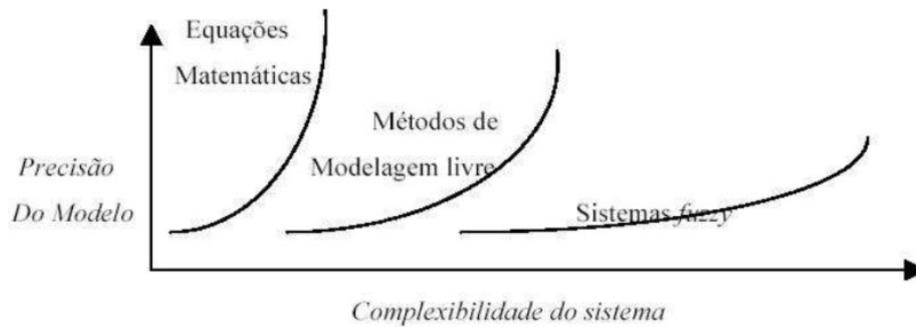
De maneira oposta à lógica tradicional (*crispy*), a lógica fuzzy não estabelece limites tão bruscos, proporcionando graus de pertinência de elementos a um determinado grupo. Por conseguinte, é possível capturar informações vagas, em geral descritas em linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação (NIÑO, 2011).

Toda multifuncionalidade proporcionada pela utilização da lógica fuzzy vem da possibilidade de modelar e manipular matematicamente informações vagas e imprecisas, que são naturais da linguagem humana, como aquelas fornecidas pelos diversos especialistas quando caracterizam o objeto a ser estudado. Então é possível realizar, a partir da composição de variáveis escolhidas para elaborar o modelo matemático do objeto em questão, quando a implicação das variáveis independentes mas dependentes é estabelecida por um conjunto de regras linguísticas (BARROS et.al, 2005).

Segundo Weber e Klein (2003, p.23),

À medida que a complexidade de um sistema aumenta, nossa habilidade para fazer afirmações precisas e que sejam significativas acerca deste sistema diminui até que um limiar é atingido além do qual precisão e significância (ou relevância) tornam-se quase que características mutuamente exclusivas.

O gráfico 11 compara a complexidade de um sistema com a precisão do modelo. Repare que os sistemas fuzzy são capazes de lidar com modelos muito mais complexos quando comparados com as outras abordagens tradicionais.



**Gráfico 11: Comparação Entre a Complexidade dos Sistemas**

**Fonte: Chamovitz (2010)**

Segundo Jang *et al.* (1997), a utilização da lógica fuzzy, em detrimento da clássica, se justifica pelos seguintes motivos:

- A naturalidade de sua abordagem torna seus conceitos fáceis de entender;
- Sua flexibilidade;
- Tolerância com dados imprecisos;
- Modelar as funções não-lineares da arbitrariedade da complexidade;
- Poder ser construída com base na experiência de especialistas;
- Integração às técnicas convencionais de controle;
- Em muitos casos, simplifica ou amplia as possibilidades e recursos dos métodos convencionais de controle;
- Baseia-se na linguagem natural, base da comunicação humana.

Sendo assim, a lógica fuzzy pode ser amplamente aplicada, através da percepção de especialistas nas mais diversas áreas: ciências humanas, tecnológicas, biológicas, econômicas, dentre outras (CORREIA, 2016).

### **3.2.2.1. CONJUNTOS FUZZY**

Na teoria de conjuntos clássica, um elemento deve pertencer ou não a um dado conjunto (MORAGA, 2005). Porém, segundo Zadeh (1965), alguns elementos são mais membros de um conjunto do que outros. O grau de pertinência, portanto, pode assumir qualquer valor entre zero e um, sendo que zero indica o não pertencimento e o um a completa pertinência a um determinado conjunto (GOMIDE, 2019).

Um conjunto fuzzy A em um universo U é definido por uma função de pertinência  $\mu_A$  que assume valores em um intervalo [0,1], que determina o grau em que um determinado elemento pertence a um conjunto (GOMIDE, 2019).

$$\mu_A: U \rightarrow [0,1]$$

É importante ressaltar que um conjunto fuzzy deve ser bem definido, de modo a representar de maneira adequada uma situação. Tomando por exemplo a altura de um indivíduo, o gráfico 12 mostra as funções de pertinência para estaturas “baixas”, “médias” e “altas” (TANAKA, 1997).

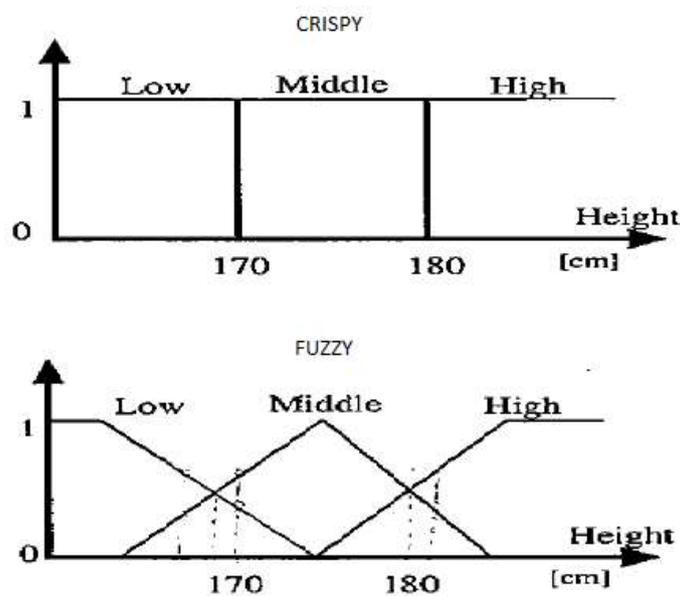


Gráfico 12: Comparação entre Conjuntos Fuzzy e Crispy  
Tanaka (1997)

Com base em Tanaka (1997), supondo 3 indivíduos A, B e C com 178, 169 e 181 cm de altura, respectivamente. Se esses valores forem comparados através do gráfico “crispy” 12 tem-se a tabela 6.

Tabela 6: Comparação das Alturas Crispy

	Estatura	Baixa	Média	Alta
A	178	0	1	0
B	169	1	0	0
C	181	0	0	1

Fonte: O Autor

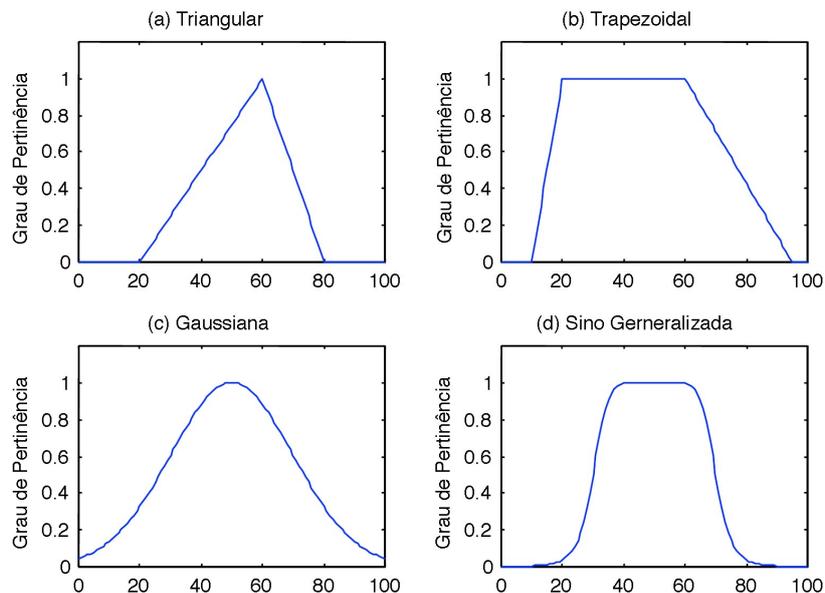
Note que A com 178 cm foi classificado como estatura mediana e C com 181 cm, apenas 3 cm a mais do que A foi considerado alto. Já o indivíduo B está por um centímetro no grupo das pessoas baixas. Se esses dados forem comparados utilizando a lógica fuzzy do gráfico 12 o resultado é diferente, conforme demonstra a tabela 7.

**Tabela 7: Comparação das Alturas Fuzzy –**

	Estatura	Baixa	Média	Alta
A	178	0	0,6	0,4
B	169	0,6	0,4	0
C	181	0	0,4	0,6

Fonte: O Autor

Logo, as funções de pertinência podem assumir as mais diferentes formas, para atingir a medida subjetiva que estão mensurando (CORREIA, 2016) e, segundo Tanscheit (2004), estas podem ser definidas a partir da experiência e da perspectiva das pessoas. O gráfico 13 ilustra as maneiras mais comuns de se expressar as pertinências.



**Gráfico 13: Comparação entre Conjuntos Fuzzy e Crispy**

Fonte: Prati (2018)

Os conjuntos fuzzy podem ser representados da seguinte maneira (GOMIDE, 2019 e FUJIMOTO, 2005):

$$A = \{(x, \mu_A(x) \mid x \in X\}$$

Onde:  $A$  = conjunto fuzzy,  $\mu_A$  = função de pertinência,  $X$  = universo de discurso,  $x$  = um componente do conjunto fuzzy em questão. O universo de discurso equivale ao domínio no qual o modelamento do sistema fuzzy é válido.

### 3.2.2.2. OPERAÇÕES FUZZY

Assim como na lógica *crispy*, há uma série de definições e operações envolvendo conjuntos fuzzy. Supondo um conjunto fuzzy  $A$  em  $X$ , ele é vazio se sua função de pertinência é igual a zero para todo  $X$  (TANSCHKEIT, 2004).

$$A = \emptyset, \text{ se e somente se, } \mu_A(x) = 0 \quad \forall x \in X$$

O complemento ( $A'$ ) de um conjunto fuzzy  $A$  é, segundo Tanscheit (2004), dado por:

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in X$$

Conforme mostrado no gráfico 14:

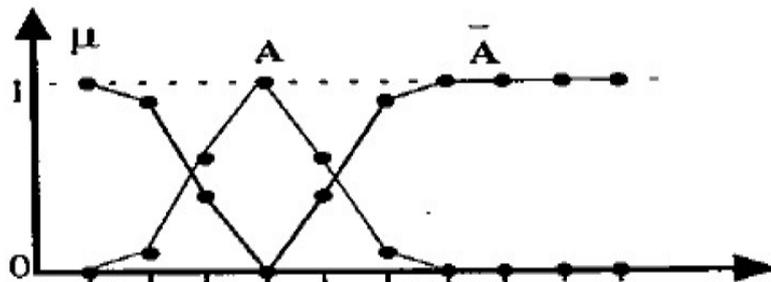


Gráfico 14: Complemento do conjunto fuzzy A  
Fonte: Tanaka (1997)

Os conjuntos fuzzy  $A$  e  $B$  em  $X$  são iguais se suas funções de pertinência forem iguais para todo  $X$  (TANSCHKEIT, 2004):

$$A = B, \text{ se e somente se, } \mu_A(x) = \mu_B(x) \quad \forall x \in X$$

Um conjunto fuzzy A é um subconjunto de B se sua função de pertinência for menor ou igual à de B sobre todo X (TANSCHKEIT, 2004), conforme mostrado no gráfico 15:

$$A \subset B \text{ se } \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad \forall x \in X$$

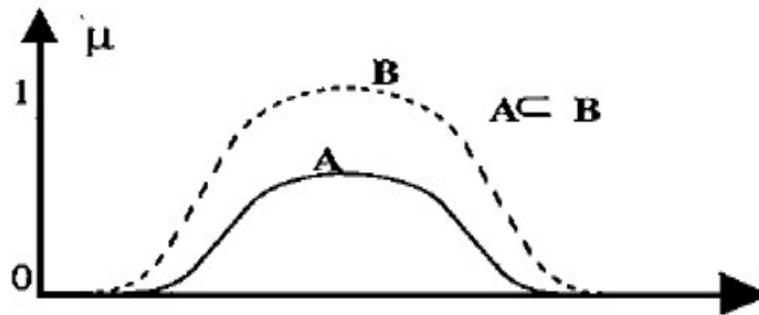


Gráfico 15: Inclusão Fuzzy  
Fonte: Tanaka (1997)

Da mesma maneira que é possível realizar operações de união, interseção e complemento na lógica clássica ou “E”, “OU” e “NEGAÇÃO” na lógica booleana, pode-se realizar essas operações na lógica fuzzy (FUJIMOTO, 2005).

Na lógica *crispy* a interseção entre dois conjuntos A e B é denotada por  $A \square B$ , ou seja, contém somente os elementos que pertencem a A e B. A união dos mesmos conjuntos, denotada por  $A \cup B$ , contém todos os elementos que pertencem a A ou a B. Na lógica fuzzy pode-se fazer uso dos operadores de mínimo ( $\wedge$ ) e máximo ( $\vee$ ) e as funções características dos conjuntos resultantes (interseção e união) podem ser representadas da seguinte forma (TANSCHKEIT, 2004):

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \forall x \in X$$

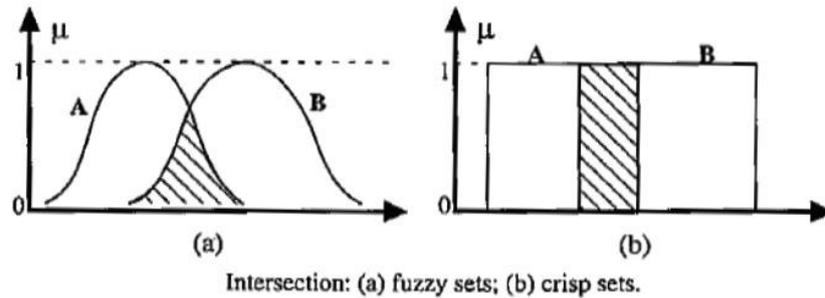
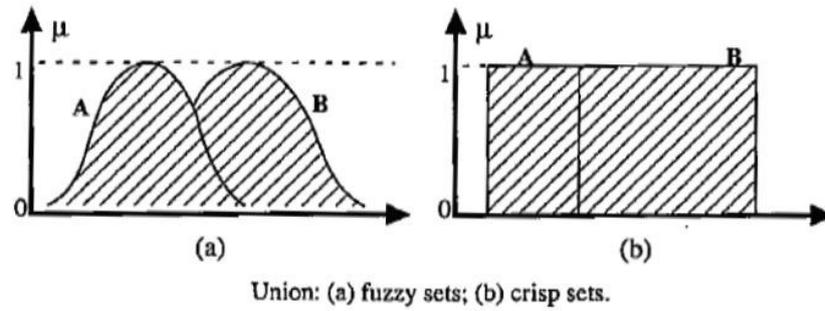
$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \forall x \in X$$

ou

$$\mu_{A \square B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad \forall x \in X$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad \forall x \in X$$

O gráfico 16 mostra a comparação entre a união e interseção entre conjuntos *crispy* e fuzzy.



**Gráfico 16: União e Interseção de Conjuntos Fuzzy e Crispys**  
**Fonte: Tanaka (1997)**

Segundo Tanaka (1997), os conjuntos fuzzy possuem as propriedades específicas mostradas no quadro 2:

**Quadro 2: Propriedades dos Conjuntos Fuzzy**

<b>Lei da idempotência</b>	$A \cup A = A, A \cap A = A$
<b>Lei comutativa</b>	$A \cup B = B \cup A, A \cap B = B \cap A$
<b>Lei associativa</b>	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C$ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C$
<b>Lei distributiva</b>	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
<b>Lei da dupla negação</b>	$A = \overline{\overline{A}}$
<b>Lei da metade excluída</b>	$A \cup \overline{A} = X$
<b>Lei da contradição</b>	$A \cap \overline{A} = \phi$
<b>Lei do Morgan</b>	$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$ $\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$

**Fonte: Tanaka (1997)**

A aritmética dos conjuntos fuzzy é feita segundo as regras mostradas na no quadro

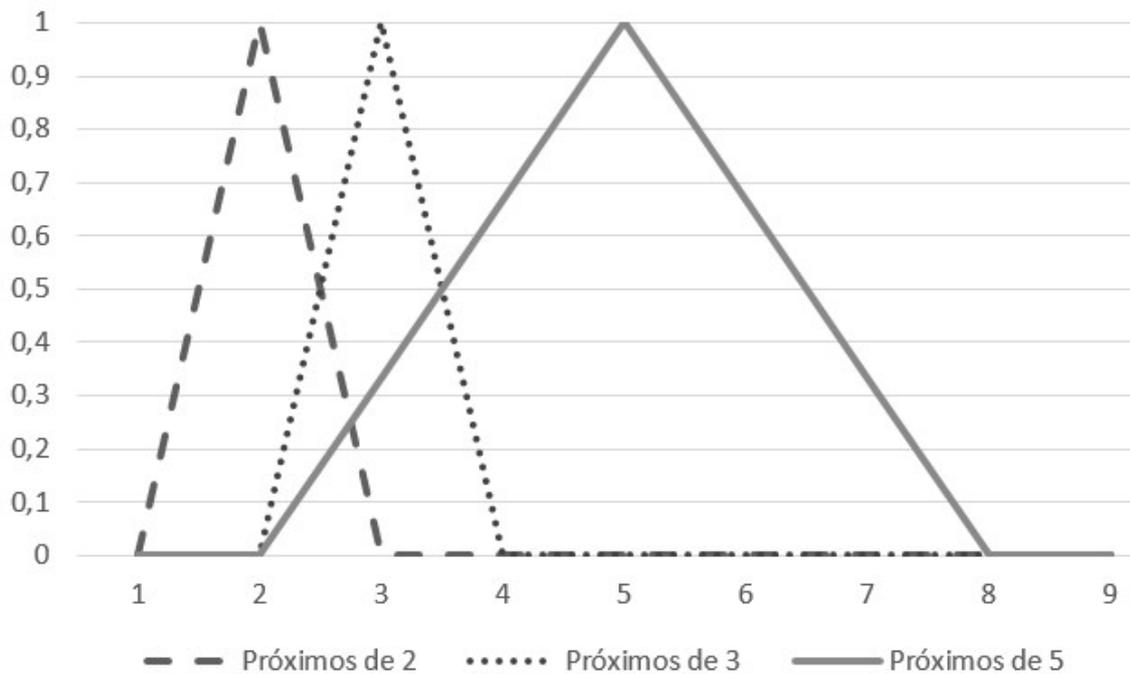
3:

**Quadro 3: Propriedades Aritmética Fuzzy**

<b>Adição</b>	$\mu_{A \otimes B}(z) = \sup_{x+y} [\mu_A(x) \wedge \mu_A(y)]$ $[a, b] + [c, d] = [a + c, b + d]$
<b>Subtração</b>	$\mu_{A \otimes B}(z) = \sup_{x-y} [\mu_A(x) \wedge \mu_A(y)]$ $[a, b] - [c, d] = [a - d, b - c]$
<b>Multiplicação</b>	$\mu_{A \otimes B}(z) = \sup_{x \times y} [\mu_A(x) \wedge \mu_A(y)]$ $[a, b] * [c, d] = [a * c, b * d]$
<b>Divisão</b>	$\mu_{A \otimes B}(z) = \sup_{x \div y} [\mu_A(x) \wedge \mu_A(y)]$ $[a, b] / [c, d] = [a / d, b / c]$

Fonte: Tanaka (1997)

O gráfico 17 exemplifica uma soma:

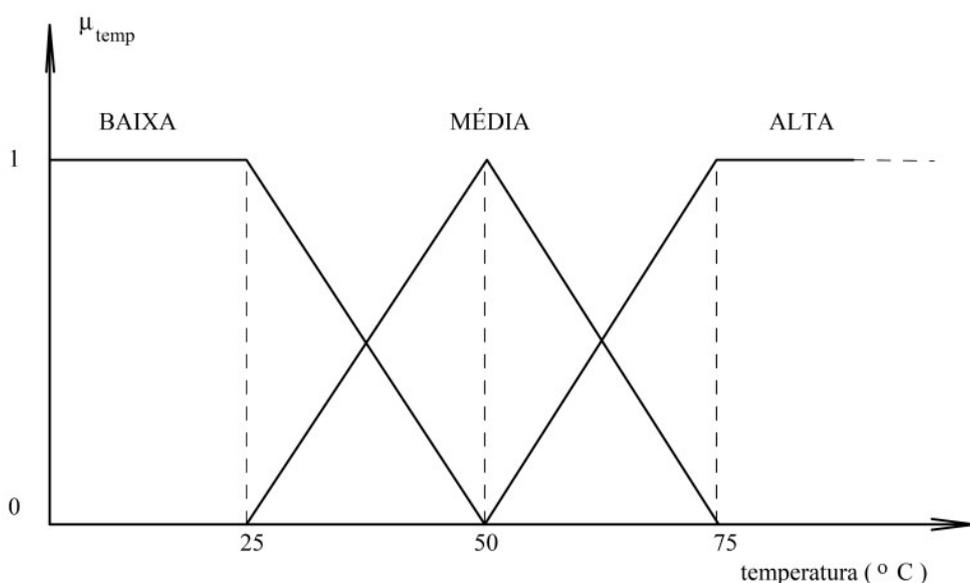


**Gráfico 17: Exemplo de Soma**  
Fonte: O Autor

### 3.2.2.3. VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS

Considere a afirmação “Carlos tem 178 centímetros de altura”. Algumas pessoas provavelmente considerarão a partir da afirmação que “Carlos é alto”. Porém, ao mesmo tempo, outras pessoas poderiam considerar Carlos baixo, quando se tem por referência um time de basquete, por exemplo. O contexto de uma declaração e seu uso deve ser conhecido ao se passar de números para afirmações usando palavras. Para formalizar esses aspectos, Zadeh introduziu, em uma série de três artigos, o conceito de Variável Linguística (MORAGA, 2005).

Uma variável linguística é uma variável em que os valores são nomes dos próprios conjuntos fuzzy. Por exemplo, a temperatura de um item poderia ser uma variável linguística assumindo valores baixa, média ou alta (GOMIDE, 2019). O gráfico 18 mostra que a temperatura é considerada “baixa” com grau de pertinência um até 25 graus Celsius. A partir deste ponto o seu grau de pertinência vai caindo linearmente até zero em 50 graus. A temperatura “média” mostra grau de pertinência um em 50 graus com valor zero em 25 e 75 graus, formando uma função de pertinência triangular. Já a temperatura “alta” tem grau de pertinência de zero em 50 graus que sobe linearmente até o grau de pertinência um em 75 graus. As temperaturas entre 25 e 50 graus e 50 e 75 graus tem graus de pertinência em duas classificações diferentes.



**Gráfico 18: Variáveis Linguísticas**  
Fonte: Gomide (2019)

Uma variável linguística tem um nome, um conjunto domínio, um conjunto de valores e uma interpretação. O domínio tem que ser consistente com o universo em que a variável será utilizada, pois eles contêm o conjunto de termos linguísticos que representam os valores em que vão representar as diferentes variações dos termos linguísticos (MORAGA, 2005).

Isso quer dizer que os valores de uma variável linguística podem ser sentenças em uma linguagem já especificada. Para gerar esses valores utilizam-se diversos termos (GOMIDE, 2019):

- Termos Primários: nomes de conjuntos fuzzy especificados em um determinado universo (por exemplo alto, baixo, pequeno, médio, grande, zero);
- Conectivos Lógicos: A negação “NÃO”, conectivos “E” e “OU”, “mas” e, “porém”;
- Modificadores, como “muito”, “pouco”, “levemente”, “extremamente”.

Portanto, segundo Gomide (2019, p. 6),

A principal função das variáveis linguísticas é fornecer uma maneira sistemática para uma caracterização aproximada de fenômenos complexos ou mal definidos. Em essência, a utilização do tipo de descrição linguística empregada por seres humanos, e não de variáveis quantificadas, permite o tratamento de sistemas que são muito complexos para serem analisados através de mecanismos matemáticos convencionais.

Segundo Tanscheit (2004), uma variável linguística é caracterizada pelos seguintes elementos (N, T(N), X, G, M), onde:

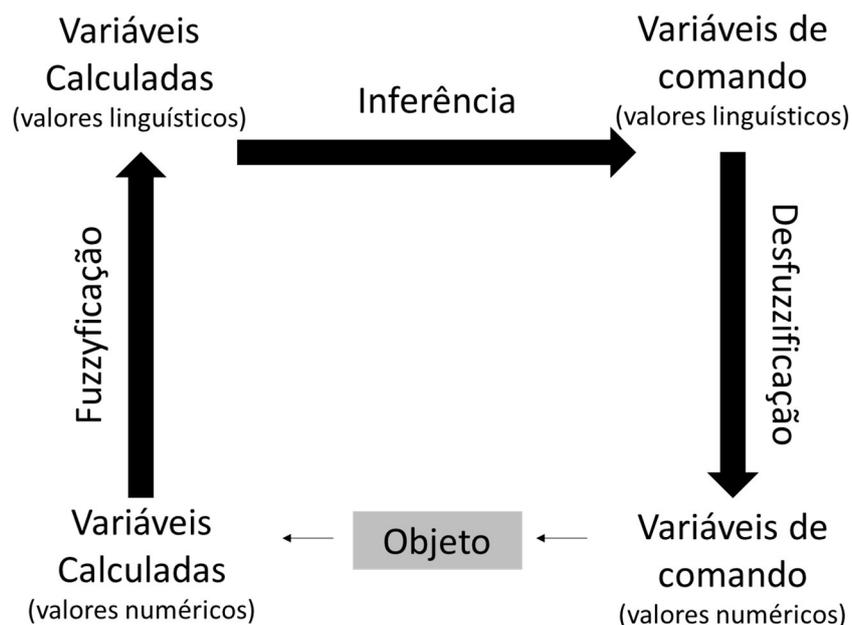
- N: nome da variável;
- T(N): conjunto de termos de N, ou seja, o conjunto de nomes dos valores linguísticos de N;
- X: universo de discurso;
- G: regra sintática para gerar os valores de N como uma composição de termos de T(N), conectivos lógicos, modificadores e delimitadores;
- M: regra semântica, para associar a cada valor gerado por G um conjunto fuzzy em X.

Tomando como exemplo o gráfico 18, tem-se:

- N: temperatura
- T(N): {baixa, média, alta}
- X: 0 a 100 °C (por exemplo)
- G: temperatura não baixa e não muito alta, por exemplo
- M: associa o valor acima a um conjunto fuzzy cuja função de pertinência exprime o seu significado.

#### 3.2.2.4. INFERÊNCIA DIFUSA

Os sistemas difusos estimam funções que descrevem o comportamento de um sistema, onde especialistas fornecem o seu conhecimento heurístico. Esse conhecimento pode ser inferido a partir de dados de entrada-saída do sistema (WAGNER, 2003). Segundo Ross (2010), a modelagem fuzzy para observação de sistemas complexos pode ser feita através da regra *if-then* (sendo o *if* o antecedente e o *then* a conclusão. Desta maneira beneficia-se melhor do conhecimento do especialista). O sistema de inferência fuzzy possibilita que uma entrada *crispy* passe por um processo de “fuzzyficação”, que gera uma saída *crispy* novamente ao final, conforme demonstra a figura 6:



**Figura 6: Inferência Fuzzy**  
Fonte: O Autor - Baseado em Niño (2011)

A “fuzzyficação” representada é a etapa na qual as variáveis linguísticas são definidas de forma subjetiva, bem como as funções de pertinência. Na inferência fuzzy as proposições (regras) são definidas e depois são examinadas. O principal organismo da inferência é a proposição, que representa o relacionamento entre as variáveis do modelo e as regiões fuzzy. Neste momento aparecem os conectivos (“SE”, “ENTÃO” e “NÃO”), e não condicionais como “E”. Por fim, há a etapa de “desfuzzificação”, que é onde as regiões resultantes são convertidas em valores para a variável de saída do sistema. Esta etapa corresponde à ligação funcional entre as regiões fuzzy e o valor esperado (NIÑO, 2011).

### **3.3. TECNOLOGIAS DE GEOPROCESSAMENTO DE DADOS**

Neste tópico serão introduzidos conceitos necessários a construção de mapas ou cartogramas através de geotecnologia Sistema de Informação Geográfica (SIG).

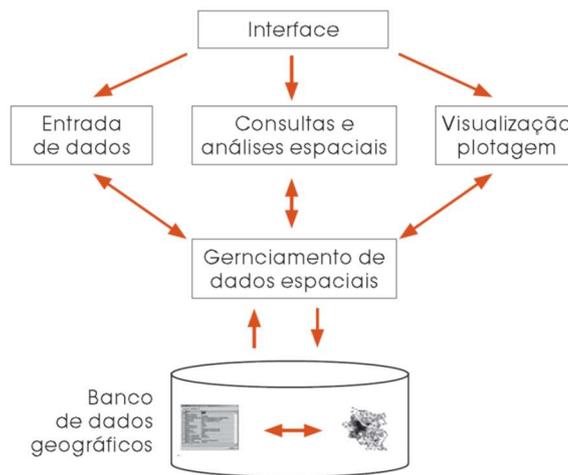
Segundo a Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE), a representação de acontecimentos que ocorrem no território, através da linguagem cartográfica, possibilita não só a visualização espacial, mas também quantificar, analisar e entender como e porque acontecem. Dessa maneira é possível afirmar que os mapas servem de elo entre dados e informações (ENCE, 2019).

De acordo com da Silva, (2001, p.12-13):

Geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para os transformar em informação (que é um acréscimo de conhecimento) relevante [...].

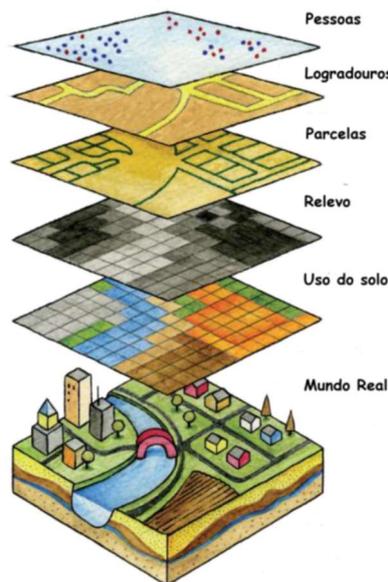
O termo SIG refere-se àqueles sistemas que efetuam tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG registra a geometria e as propriedades dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e numa projeção cartográfica. Há três maneiras principais para a utilização do SIG: produzir mapas, suporte para a análise espacial e como banco de dados geográficos (ASSAD *et al.*, 1998).

A Figura 7 indica a relação entre os principais componentes de um SIG.



**Figura 7: Funcionamento do SIG**  
**Fonte: Domingues e Simões (2008)**

Observa-se na figura 8 que para cada objeto geográfico, o SIG deve armazenar suas propriedades e suas diversas feições gráficas relacionadas.



**Figura 8: Estrutura do SIG**  
**Fonte: Silva et al. (2016)**

O SIG utilizado nesta dissertação é o QGIS, um software aberto, que trabalha com diversos formatos de dados (vetoriais e matriciais) e é de acesso livre.

### **3.4. MODELO COPPE-COSENZA**

Segundo o Labfuzzy (acessado em 27/03/2019) e Chamovitz (2010), o modelo COPPE-Cosenza se desenvolveu há mais de 40 anos e ainda está em evolução. Ele vem sendo aplicado nos mais diversos segmentos que abrange desde a localização de indústrias e o zoneamento de regiões com capacidade para receber um determinado perfil industrial levando em consideração aspectos quantitativos e qualitativos dos parâmetros, além de confrontar a demanda e oferta de fatores pelas atividades econômicas nas unidades territoriais de cada região.

De acordo com Toledo (2004), o modelo COPPE-Cosenza é um modelo de alocação de recursos que permite a hierarquização das alternativas. Na década de 80 o modelo incorporou a matemática baseada em lógica fuzzy, o que o tornou adaptável, isto é, mais próximo à realidade. Dessa forma, de acordo com Clemente (1994) e Rheinganz (2000), uma de suas qualidades é a flexibilidade e liberdade para selecionar fatores locais, segundo a sensibilidade e o conhecimento de quem o aplica.

Neste modelo há o conceito de fatores de localização gerais e específicos, onde os fatores gerais são aqueles que estão presentes na atividade industrial como um todo. Já os fatores específicos referem-se a cada um dos ramos fabris que estiverem em análise.

#### **3.4.1. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO MODELO**

Neste módulo serão analisados os diversos estudos e aplicações do Modelo COPPE-Cosenza.

O modelo COPPE-Cosenza foi utilizado para auxiliar na localização de uma rede de internet em uma das cidades pertencentes a Região do Lagos, no estado do Rio de Janeiro. Para tal, utilizou como critérios os aspectos socioeconômicos da região, como: renda per capita, acesso à energia elétrica, densidade populacional, número de habitantes, idade média, dentre outros. Através dessas diretrizes, o modelo auxiliou a realizar o balanço entre fatores de custo de instalação/manutenção da rede e oferta de pontos de acesso à internet (PEREIRA, *et al.*, 2018).

Chamovitz (2010) trata da aplicação de fóruns educacionais utilizando a Internet e verifica as diferentes particularidades que constituem os fóruns de discussão utilizados em cursos de pós-graduação. Com base nisso, ele apresenta uma forma para a avaliação

dos fóruns por intermédio do Modelo de Hierarquia fuzzy COPPE-COSENZA, baseado em métodos já utilizados em outras áreas como a saúde, arquitetura e engenharia.

Já Barros *et al.*, (2010) utilizou o modelo COPPE-Cosenza para a seleção de sítios nucleares. Para tal, aplicou também os conceitos e critérios do *Electric Power Research Institute (EPRI) Siting Guide* buscando tanto minimizar os impactos negativos para a comunidade ao redor e sociedade de modo geral, como maximizar os benefícios para as partes interessadas.

Pereira *et al.*, (2014), aplicou o modelo COPPE-Cosenza para identificar as melhores localidades, dentro de um conjunto de municípios pré-selecionados, para instalar uma usina de pirólise lenta a tambor rotativo. Este processo é capaz de solucionar a irregular situação do tratamento de resíduos sólidos urbanos, minimizando os impactos negativos dos lixões.

Martins (2010), em seu projeto de mestrado, abraçou o problema do potencial de oferta de transporte aéreo em uma região. Para abordar este assunto assumiu variáveis de localização físicas, sociais e de resiliência ambiental da região e utilizou o método COPPE-Cosenza para a implantação de um aeroporto que atenda aos requisitos de pista, espaço aéreo e acesso viário com eficácia e segurança.

Bahia (2002) utilizou o modelo para determinar as melhores localizações para a fruticultura irrigada no norte e noroeste do estado do Rio de Janeiro, lidando, desta maneira, com o planejamento e desenvolvimento regional. Segundo o autor, o modelo foi importante pois permitiu considerar fatores qualitativos além dos tradicionalmente analisados nos setores agropecuários, como fertilidade, custos de transporte e disponibilidade de mão de obra.

Cristellotti (2011) abordou, em sua dissertação de mestrado, a indústria de curtumes, destacando a sua importância para o Brasil em especial no aspecto econômico, visto a grande quantidade de bovinos existentes no país. Ele utilizou o Modelo COPPE-Cosenza para a localização de uma fábrica de curtumes. Os fatores de localização analisados foram, por exemplo, a proximidade a rebanhos e frigoríficos, disponibilidade de água e energia elétrica, infraestrutura de transporte e mão de obra especializada.

O modelo COPPE-Cosenza também foi aplicado em diversos trabalhos envolvendo a cadeia produtiva do Biodiesel. A seguir serão exemplificados alguns desses trabalhos.

Cosenza *et al.*, (2017), apresentou um estudo sobre a localização industrial de usinas de biodiesel no Brasil, considerando a infraestrutura existente, as áreas de plantio

das oleaginosas e o potencial socioeconômico. Analisaram-se fatores logísticos, de mercado, de processamento, econômicos e sociais. Como resultado obteve-se a classificação dos municípios na região Nordeste do Brasil como mais aptos para receber as usinas. Já Lima (2006) dissertou sobre a localização de usinas de biodiesel na região Centro-Oeste do Brasil. Assim como Neves *et al.*, (2006) estudou as áreas de plantio de mamona e as comparou com a soja Nordeste brasileiro.

### 3.4.2. DESCRIÇÃO DO MODELO COPPE-COSENZA

O modelo proposto por Cosenza introduz as noções básicas para avaliação de alternativas locacionais usando os conjuntos fuzzy. O ponto focal do modelo é comparar a demanda que um determinado setor tem com a oferta territorial de fatores gerais (ROSSI, 2013).

Seja  $A = (a_{ij})_{h \times n}$  a matriz que representa a demanda industrial de  $h$  tipos de empresa pelo fator de localização  $n$  e a matriz  $B = (b_{jk})_{n \times m}$  a oferta de fatores representada por  $m$  alternativas locacionais diferentes. Onde:

- Demanda por Fatores Locacionais (A), em que são contrapostas atividades ou setores (agentes) econômicos que demandam fatores e os próprios fatores de localização;
- Oferta de Fatores Locacionais (B), em que há a dotação dos fatores locacionais existentes nas localidades em relação às próprias localidades, isto é, zonas elementares.

Seja  $F = \{f_i | 1, \dots, n\}$  um conjunto finito de fatores gerais de localização denotado genericamente por  $f$ . Então, o conjunto fuzzy  $\tilde{A}$  em  $f$  é um conjunto de pares ordenados:

$$\tilde{A} = \{(f, \mu_{\tilde{A}}(f)) | f \in F\}$$

Onde  $\tilde{A}$  é a representação fuzzy da matriz de demanda A onde  $\mu_{\tilde{A}}(f)$  representa o grau de importância dos fatores. Esse grau de importância pode ser: Crítico - Condicionante - Pouco Condicionante - Irrelevante. Onde:

- Crítico, quando a ausência de um fator impede a realização de um investimento;
- Condicionante, quando a ocorrência de um fator é importante, sendo que sua ausência pode comprometer (mas, não impedir) a decisão de localização;
- Pouco condicionante, quando a presença de um fator interfere de algum modo, mas não compromete a decisão de localização;
- Irrelevante, ou seja, a ausência do fator ou atributo locacional não gera nenhum constrangimento à implantação de um investimento.

Da mesma maneira tem-se:

$$\tilde{B} = \{(f, \mu_{\tilde{B}}(f)) \mid f \in F\}$$

Onde  $\tilde{B}$  é a representação fuzzy da matriz de oferta B, onde  $\mu_{\tilde{B}}(f)$  representa o grau de atendimento dos fatores ofertados pelas diversas alternativas de localização: Superior - Bom - Regular – Fraco. Onde:

- Superior, quando o fator de localização existe em quantidade e qualidade ideais ou ótimas ao investimento;
- Bom, se o fator de localização for encontrado em condições razoáveis, em termos de qualidade e quantidade;
- Regular, se o atributo tiver condições pouco aceitáveis;
- Fraco, que representa uma situação de má qualidade ou mesmo escassez do fator em análise.

A matriz A é uma matriz de requisitos, significando que o conjunto  $\tilde{A}$  não possui os fatores, apenas explicita os  $f_i$  desejados, pertencentes apenas ao conjunto B, definindo os seus contornos: escalas, níveis de qualidade, disponibilidade e regularidade de atendimento, dentre outros.

A matriz B, que contém os  $f_i$  atende A por aproximação. O  $f_i$  do conjunto  $\tilde{A}$  não é necessariamente igual ao  $f_i$  disponível em  $\tilde{B}$ . Escolhida uma alternativa,  $\tilde{A}$  assume os valores dos elementos contidos B.

Seja  $\tilde{A} = \{a_i/i=1, \dots, m\}$  o conjunto de demandas dos diferentes tipos de projetos por fatores gerais, ou comuns:

**Tabela 8: Demanda de Fatores por Projetos  $\tilde{A}$**

	$f_1$	$f_2$	$f_j$	$f_n$
	$w_1$	$w_2$	$w_j$	$w_n$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{1j}$	$a_{1n}$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{2j}$	$a_{2n}$
.....	.....		.....	.....
$A_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	$a_{ij}$	$a_{in}$
$A_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	$a_{mj}$	$a_{mn}$

Fonte: O Autor

Onde:

- $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, A_m$  :conjunto de demanda dos projetos;
- $f_1, f_2, \dots, f_n$ : conjunto de fatores;
- $w_1, w_2, \dots, w_n$ : importância associada aos fatores.
- $a_{ij}$ : Coeficiente Fuzzy do projeto i com relação ao fator j (grau de importância do fator para o projeto).

Considerando  $\tilde{B} = \{b_k \mid k = 1, \dots, m\}$  o conjunto de alternativas locais onde está contido  $F = \{f_k \mid k = 1, \dots, n\}$ , conjunto de fatores comuns a vários projetos ou empresas.

**Tabela 9: Oferta de Fatores Localizacionais -  $\tilde{B}$**

		$\tilde{B}_1$	$\tilde{B}_2$	$\tilde{B}_k$	$\tilde{B}_m$
$f_1$	$w_1$	$b_{11}$	$b_{12}$	$b_{1k}$	$b_{1m}$
$f_2$	$w_2$	$b_{12}$	$b_{22}$	$b_{2k}$	$b_{2m}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....
$f_j$	$w_j$	$b_{j1}$	$b_{j2}$	$b_{jk}$	$b_{jm}$
$f_n$	$w_n$	$b_{n1}$	$b_{n2}$	$b_{nk}$	$b_{nm}$

Fonte: O Autor

Onde:

- $\tilde{B}_1, \tilde{B}_2, \dots, \tilde{B}_m$  :conjunto de demanda dos projetos;
- $f_1, f_2, \dots, f_n$ : conjunto de fatores ofertados por  $\tilde{B}$ ;
- $w_1, w_2, \dots, w_n$ : nível de oferta dos fatores (capacidade de atendimento aos requerimentos dos projetos);
- $b_{jk}$ : Coeficiente Fuzzy da alternativa k, com relação ao fator j.

### 3.4.2.1. OPERAÇÕES DE MATRIZES

Seja  $\tilde{C} = \tilde{A} \otimes \tilde{B} = (\tilde{c}_{ik})_{h \times m}$  a matriz representativa das possibilidades de localizações da empresa i na área k de planificação, tal que  $\max_k \{c_{ik}\} = \tilde{c}_i$  indica a melhor localização do tipo de projeto i e o  $\max_i \{c_{ik}\} = \tilde{c}_k$  indica o melhor tipo de projeto para a área alternativa k. Isto é, por C entende-se as possibilidades localizacionais, que resulta do cruzamento ou análise combinada entre as duas matrizes anteriores de Demanda (A) e Oferta (B) de fatores de localização.

Para contornar o problema clássico da distância assimétrica (DAS), que não possui uma hierarquização rigorosa, e aumentar a precisão do modelo, para os dois elementos genéricos  $\tilde{a}_{ij}$  e  $\tilde{b}_{jk}$  o produto  $\tilde{a}_{ij} \otimes \tilde{b}_{jk} = \tilde{c}_{ik}$  é executado por meio da seguinte matriz básica:

**Tabela 10: Matriz  $\tilde{C}$**

Oferta de Fatores (S)

	$\tilde{a}_{ij} \otimes \tilde{b}_{jk}$	0	.	.	.	1
Demanda por Fatores (d)	0	$0^+$	.	.	.	$0^{++}$
	.		1			
	.			1		
	.				1	
	1	0	.	.	.	1

Fonte: O Autor

Onde,  $c_{ik}$  é o coeficiente Fuzzy da alternativa k com relação ao projeto i e,  $0^+ = 1/n!$  e  $0^{++} = 1/n$  (onde, n = número de fatores considerados), são as quantidades limites e

definidos como ínfimo e pequenos valores ( $>0$ ). Na realidade há um infinito número de valores  $c_{ik}$  no intervalo  $[0,1]$ . A matriz se complementa por regras operacionais.

As operações  $O_d \otimes O_s$  e  $O_d \otimes I_s$  obedecem aos pressupostos de modelo voltado para a hierarquização das alternativas, não permitindo penalizar uma área que não disponha de um fator não demandado, ou aquela que dispõe de mais fatores que os solicitados, explicitando sua riqueza adicional, podendo atender a outras solicitações e capazes de gerar economias externas.

Para projetos de implantação de distritos industriais, a compatibilidade de critérios deve ser realizada mediante sondagem de opiniões de especialistas. No intervalo  $[0,1]$  são incluídos os valores de suporte de  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$ , inicialmente identificados como variáveis linguísticas, como se exemplifica na tabela 11.

**Tabela 11: Variáveis Linguísticas e Modelo COPPE-Cosenza**

FATORES	$\sim b_{jk}$ Graus para as alternativas kj			$\tilde{a}_{ij}$ Importância para o projeto
	$\sim B_1$	$\sim B_2$	$\sim B_3$	$\tilde{A}_i$
$f_1$	FRACO	FRACO	SUPERIOR	CONDICIONANTE
$f_2$	FRACO	SUPERIOR	BOM	CRÍTICO
$f_3$	BOM	SUPERIOR	BOM	CRÍTICO
$f_4$	FRACO	SUPERIOR	BOM	POUCO CONDICIONANTE
$f_5$	REGULAR	FRACO	FRACO	IRRELEVANTE
$f_6$	SUPERIOR	SUPERIOR	SUPERIOR	CONDICIONANTE
$f_7$	BOM	BOM	BOM	CRÍTICO

**Fonte: O Autor**

Onde:

$\tilde{a}_{ij}$ : Coeficiente Fuzzy do grau de importância do fator j com relação ao projeto i;

$\tilde{b}_{ij}$ : Coeficiente Fuzzy que resulta do nível do fator disponível na área k;

Os valores de suporte têm suas representatividades em pertinências dadas por um modificador clássico,  $\mu_{\tilde{A}\tilde{B}}(x) = [\text{sup}(x)]^{1/2}$  que aproxima os valores superiores, crucial e condicionante e/ou superior e bom, face a dificuldade dos especialistas de distinguirem as suas reais distâncias. Facilita-se a aproximação por meio de um á-cut 0,8 para compensar desvios que normalmente ocorrem no dimensionamento dos fatores gerais, normalizando-se dentro da estrutura modelar.

Considerando os softwares existentes, que são de grande importância acadêmica, mas de limitada aplicação prática, os operadores são criados em função de cada realidade e a magnitude de sua complexidade.

### 3.4.2.2. REGRAS OPERACIONAIS

Os operadores testados obedecem às regras específicas do modelo, a saber:

I.  $\tilde{c}_{ik} = \{0, 1, (\mu_b(x) - 1)/n\}$

II.  $\tilde{c}_{ik} = \{\mu_b(x), 1, (\mu_{\tilde{b}_x}) - 1)/n\}$

III.

$\tilde{C}_{ik}$

$\tilde{a}_{ij} \otimes \tilde{b}_{jk}$	A	B	C	D
A	1	0	0	0
B	$1+1/n$	1	0	0
C	$1+2/n$	$1+1/n$	1	0
D	$1+3/n$	$1+2/n$	$1+1/n$	1

IV.

$\tilde{C}_{ik}$   
Oferta de Fatores(S)

$a_{ij} \otimes b_{jk}$	0	.	$\mu \tilde{b}_i(x)$	.	1
Demanda por Fatores (d)	0	0+	.	.	0++
.	.	.	1	.	$1 - [\mu \tilde{B}(x) - \tilde{A}(x)]$
$\mu \tilde{A}_i(x)$	.	.	.	1	.
.	$1 - [\mu \tilde{B}(x) - \tilde{A}(x)]$	.	.	.	1
1	0	.	.	.	1

## V. Relações entre matrizes de pertinência

	$\tilde{c}_{ik}$				
	0	$\mu_{b1}(x)$	$\mu_{b2}(x)$	$\mu_{b3}(x)$	$\mu_{b4}(x)$
0	1/n!	1/(n-1)	1/(n-2)	1/(n-3)	1/n
$\mu_{A1}(x)$	0	1	$1+\mu_{b1}(x)/n$	$1+\mu_{b2}(x)/n$	$1+\mu_{b3}(x)/n$
$\mu_{A2}(x)$	0	$\mu_{b1}(x)/\mu_{A2}(x)$	1		$1+\mu_{b2}(x)/n$
$\mu_{A3}(x)$	0	$\mu_{b1}(x)/\mu_{A3}(x)$	$\mu_{b2}(x)/\mu_{A3}(x)$	1	$1+\mu_{b1}(x)/n$
$\mu_{A4}(x)$	0	$\mu_{b1}(x)/\mu_{A4}(x)$	$\mu_{b2}(x)/\mu_{A4}(x)$	$\mu_{b3}(x)/\mu_{A4}(x)$	1

A matriz  $v$ , por se mostrar mais adequada a esta dissertação, foi utilizada. Os espaços matemáticos são então desenhados por números Fuzzy, operações definidas pelo princípio de extensão.

### 3.4.2.3. FATORES ESPECÍFICOS

Seja  $\tilde{A}^* = (\tilde{a}^*_{ij})_{m \times n}$ , a matriz de demanda de  $m$  tipos de projetos relativa a  $n'$ , fatores específicos de localização. Para a finalidade da matriz  $A^*$  todos os fatores nela contidos são considerados críticos, ou seja, ausências significam eliminação de zonas elementares.

Seja  $\tilde{A}^* = \{f, \{\mu_{\tilde{A}^*}(f) \in F\}$  a representação Fuzzy da matriz  $A^*$ .

Seja  $\tilde{B}^* = \{f, \{\mu_{\tilde{B}^*}(f) \in F\}$  representação Fuzzy da matriz  $B^* = [b_{ij}]_{n' \times m}$  que é a matriz de oferta territorial de  $n'$  fatores específicos de localização dos  $i$  tipos de projetos voltados para recursos específicos ou para uma outra condicionante específica qualquer.

Então:

$$C^* = \tilde{A} \otimes \tilde{B} = [\tilde{c}^*_{ik}]_{h \times m}$$

Onde,  $[\tilde{c}^*_{ik}]$  é o coeficiente fuzzy

Seja  $\tilde{A} = [\tilde{a}_{ik}]_{m \times q} = c \otimes c^*$ , a agregação dos coeficientes (operação gama). Para as atividades voltadas para recursos específicos críticos, a operação gama é executada pela seguinte regra operacional:

$$\tilde{a}_{ik}$$

$c_{ik}$	$>0$	$0$
$c^*_{ik}$	$0$	$0$
$>0$	$c_{ik} + c^*_{ik}$	$c^*_{ik}$

A matriz  $\tilde{e} = [\tilde{e}_{ij}]_{m \times n}$  resulta de  $A_{m \times n} \cup A^*_{m \times n}$ , que define o perfil da demanda para efeito de localização. Onde:

$$n \acute{o} = n + n'$$

Seja  $\hat{a} = (\hat{a}_{ij})_{h \times h}$  a matriz diagonal, tal que:

$$\hat{a}_{il} = \begin{cases} 0, & \text{se } i \neq l \\ 1 & \text{se } i = l \\ \frac{n \sum_{j=1}^{n \Sigma} a_{ij}}{\sum_{j=1}^{n \Sigma} a_{ij}}, & \end{cases}$$

Defina-se, então:

$$\Delta = [ \hat{a} \times \sum_{j=1}^{n \Sigma} b_{jk} ] = [ \ddot{a}_{ik} ]$$

A matriz representativa das possibilidades de localização dos h tipos de projetos nas m alternativas são representados por índices em relação aos fatores de localização demandados. Ou seja, cada elemento  $\ddot{a}_{ik}$  da matriz  $\ddot{A}$  representa localizações, hierarquizando as regiões por projetos.

- $\ddot{a}_{ik} = 1$  a área k atende à demanda no nível requerido
- $\ddot{a}_{ik} < 1$  significa que pelo menos um fator demandado não foi atendido
- $\ddot{a}_{ik} > 1$  a área k oferece mais condições do que as demandadas.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será aplicado o modelo COPPE-COSENZA para definir as melhores localizações de uma usina solar fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro. Para tal, os seguintes passos serão realizados:

- a revisão dos artigos correlatos para a determinação dos fatores de localização da usina solar fotovoltaica;
- a descrição dos fatores de localização selecionadas e a menção das fontes para gerar os mapas através do SIG;
- a aplicação do modelo COPPE-COSENZA fuzzy, sendo a primeira etapa realizar as entrevistas dos especialistas com o intuito de determinar o grau de importância de cada um dos fatores;
- A matriz de relacionamentos de pertinências, determinar o grau de pertinência dos fatores de localização e;
- a comparação da oferta de fatores com o demandado para gerar as melhores localizações para a usina solar fotovoltaica.

Nesse sentido vale destacar que, segundo Cristóbal (2012), a tomada de decisão é sobre identificar e escolher alternativas com o objetivo de encontrar a melhor solução. Para tal é necessário considerar uma diversidade de fatores e o ambiente. Esse ambiente é o resultado de uma coleção de informações, alternativas, valores e preferências disponíveis em um determinado momento.

Em alguns casos, os locais com maior incidência de luz solar não são as melhores localizações em virtude de outros fatores, que têm papel significativos na localização destas usinas. É necessário, portanto, levar em consideração a complexidade do processo, que envolve fatores sociais, ambientais e econômicos. Por isso, a definição da localização da usina solar é um dos fatores essenciais para se levar em consideração para se maximizar seu desempenho (CHEN *et al.*, 2014, HAAREN *et al.* 2011 e YUN-NA *et al.* 2013).

O Banco Mundial (2011) reforça este conceito e diz que o local para a implantação de uma usina solar fotovoltaica de grande porte deve ter as seguintes características: clima local favorável, boa irradiação solar, terra disponível para ser comprada ou cedida por um

longo período, acesso à rede de transmissão, topografia e não haver restrições ambientais e sociais associadas ao empreendimento proposto.

Para Arán Carrión *et al.*, (2008), estudos de localização são necessários pois obtém informações essenciais a área que deseja instalar a usina solar. Além da irradiação solar, diz ser necessário avaliar a necessidade de construir infraestruturas adicionais para a interligação elétrica, hídrica e ou rodoviária da usina solar fotovoltaica, redução de perdas relacionadas à transmissão de energia e a atenuação dos efeitos que causam os impactos ambientais.

#### **4.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ARTIGOS CORRELATOS**

Este tópico abordará artigos que tratam da localização de usinas solares fotovoltaicas em diferentes países. O foco dessa revisão é, primeiramente, fazer uma síntese dos artigos e, ao final, comparar os fatores de localização utilizados em cada trabalho, identificar os critérios e críticas abordadas para cada fator de localização e o modelo para o estudo da localização que foi aplicado. Vale ressaltar que alguns artigos analisados têm como propostas usinas híbridas (solar e eólica, por exemplo) ou de energia solar concentrada (CSP). Nestes casos foram analisadas as características que dizem respeito somente a usina solar fotovoltaica.

Como fator primário de corte para esta revisão, foram escolhidos artigos de revistas com conceito qualis superior a B2 (2013-2016) das seguintes revistas:

Quadro 4: Lista de Revistas

Nome	Objetivo	Notas
<p><i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> (1364-0321)</p>	<p>Tem como missão disseminar o que há de mais relevante sobre energia renovável e sustentável.</p>	<p>Cite Score: 10.54 Impact Factor: 9.184 5-Year Impact Factor: 10.093 Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 3.594 SCImago Journal Rank (SJR): 3.036 Qualis: A1</p>
<p><i>Solar Energy</i> (0038-092X)</p>	<p>É a revista oficial da <i>International Solar Energy Society</i>, dedicada exclusivamente a aplicações voltadas para a energia solar.</p>	<p>Cite Score: 4.89 Impact Factor: 4.374 5-Year Impact Factor: 4.831 Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 1.791 SCImago Journal Rank (SJR): 1.615 Qualis: A1</p>
<p><i>Renewable Energy</i> (0960-1481)</p>	<p>A revista tem como objetivo disseminar o conhecimento sobre sistemas energia renovável e seus components para aplicar em soluções práticas.</p>	<p>Cite Score: 5.38 Impact Factor: 4.900 5-Year Impact Factor: 4.981 Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 2.008 SCImago Journal Rank (SJR): 1.847 Qualis: A1</p>
<p><i>Energy Conversion and Management</i> (0196-8904)</p>	<p>Os tópicos considerados incluem geração de energia, utilização, conversão, armazenamento, transmissão, conservação, gerenciamento e</p>	<p>Cite Score: 5.38 Impact Factor: 4.900 5-Year Impact Factor: 4.981 Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 2.233</p>

Nome	Objetivo	Notas
	sustentabilidade. Estes tipos de energia abrangem todos os recursos energéticos conhecidos, incluindo recursos renováveis , combustíveis fósseis e recursos nucleares.	SCImago Journal Rank (SJR): 2.537 Qualis: A1
<i>Applied Energy</i> (0306-2619)	Prove informações sobre conversão e conservação de energia, melhor uso dos recursos energéticos, análise e otimização de processos de energia e energia sustentável.	Cite Score: 8.44 Impact Factor: 7.900 5-Year Impact Factor: 7.888 Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 2.765 SCImago Journal Rank (SJR): 3.162 Qualis: A1

Fonte: O Autor

#### 4.1.1. A AVALIAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE USINAS SOLARES APLICANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICAS E ANÁLISE DE CRITÉRIOS MULTIDECISÃO: UM CASO DE ESTUDO NO SUL DE MARROCOS

Este artigo foi publicado pela *Renewable and Sustainable Energy Reviews* no ano de 2015, cujos autores foram Meryem Tahri, Mustapha Hakdaoui e Mohamed Maanan. Seu título em inglês é *The Evaluation of Solar Farm Locations Applying Geographic Information System And Multi-Criteria Decision-Making Methods: Case Study In Southern Morocco*.

O objetivo do artigo foi definir quais são as melhores localizações para uma usina solar fotovoltaica no Sul do Marrocos, uma área que ocupa aproximadamente 167 mil quilômetros quadrados. Para tal, os autores utilizaram-se das seguintes ferramentas:

- *Geographic Information System* (GIS), ou Sistemas de Informação Geográficas (em português), que permite criar, editar e analisar mapas, através de um banco de dados com informações georreferenciadas.
- Ferramentas de tomada de decisão multicritério (MCDM - *Multi-Criteria Decision-Making*), sendo utilizado, mais especificamente, o *Analytical Hierarchy Process* (AHP) ou método analítico de hierarquia, que permite analisar dados quantitativos e qualitativos, permitindo determinar os pesos para cada um dos critérios selecionados.

Os critérios foram divididos em quatro categorias: utilização da terra, orografia (nuances do relevo), localização e clima. Estes foram subdivididos em sete subcritérios: utilização da terra, ângulo, azimute, distância de zonas urbanas, distância de rodovias, potencial de radiação solar (kWh/m<sup>2</sup>/ano) e temperatura.

O quadro 5 mostra como os fatores foram considerados:

**Quadro 5: Análise dos Fatores de Localização – Artigo 1**

Criteria	Factors	Indicators
Land use	Land use	Area without vegetation
Orography	Slope (%)	0-4
		4-8
	Slope orientation	8-12
		12-24
		> 24
		South
		South-east
		South-west
		West
		North-east
		North-west
		North
Location	Distance to urban area (km)	0-1.5
		1.5-3
		3-5
		5-10
		> 10
	Distance to road (km)	1.4-3
		3-5
		5-10
		> 10
Climate	Potential solar radiation (kW h/m <sup>2</sup> /year)	741-1414
		1414-1563
		1563-1640
		1640-1717
		1717-1967
	Land surface temperature (°C)	0-15
		15-30
		30-45
		> 45

Fonte: Meryem *et al.* 2015

Algumas zonas de exclusão também foram criadas:

- Um raio de dois quilômetros de cidades e vilas;
- Lagos e rios;
- Áreas de proteção ambiental.

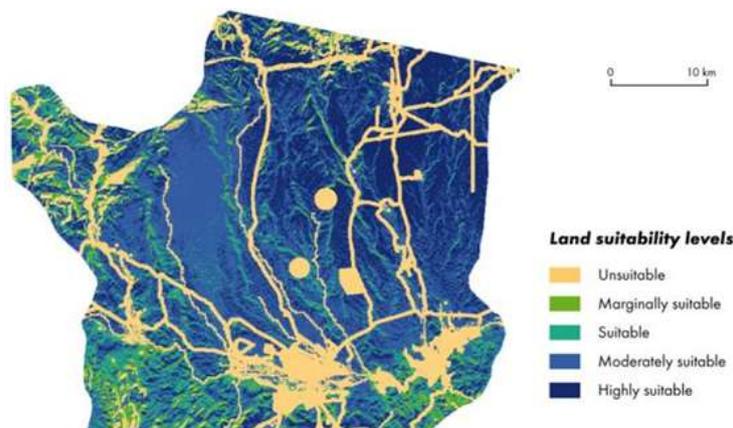
Por fim, diversos especialistas deram pesos para os fatores de localização pré-selecionados e, utilizando-se do método analítico de hierarquia, os autores chegaram aos pesos para os critérios mostrados na tabela 12:

**Tabela 12: Pesos dos Fatores de Localização – Artigo 1**

Fator	Peso
Utilização da terra	5%
Inclinação	11%
Azimute	7%
Distância de Rodovias	6%
Distância de Áreas Urbanas	7%
Irradiação Solar	42%
Temperatura	22%

Fonte: Meryem *et al.* 2015

A última etapa foi utilizar o GIS para cada um dos critérios definidos a fim de determinar as melhores zonas para a instalação da usina solar, conforme o mapa 4:



**Mapa 4: Análise da Localização – Artigo 1**

Fonte: Meryem *et al.* (2015)

#### **4.1.2.UM MÉTODO FUZZY-MAH BASEADO EM SIG PARA AVALIAR A LOCALIZAÇÃO DE USINAS SOLARES: CASO DE ESTUDO DA PROVÍNCIA DE CUZISTÃO NO IRÃ.**

Este artigo foi publicado pelo *Solar Energy* ano de 2017, cujos autores foram Abbas Asakereh, Mohsen Soleymani e Mohammad Javad Sheikhdavoodi. Seu título em inglês é *A GIS-Based Fuzzy-AHP Method for The Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in Khuzestan Province, Iran*.

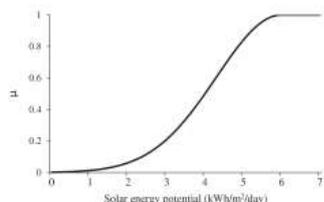
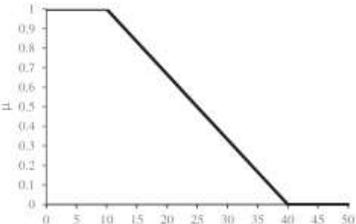
O objetivo do artigo foi definir quais são as melhores localizações para uma usina solar fotovoltaica na província de Cuzistão, localizada no sudoeste do Irã, com uma área de aproximadamente 64 mil quilômetros quadrados e uma população de cerca de 4,5 milhões de pessoas.

Os autores utilizaram-se da lógica fuzzy para gerar as camadas necessárias de cada critério no ambiente GIS. Também adotaram o método analítico de hierarquias para determinar os pesos dos fatores de localização selecionados.

Os fatores de localização foram primeiramente divididos em três grandes categorias: técnicas, econômicas e ambientais. A seleção dos fatores de localização foi feita através da revisão de trabalhos realizados na área.

As limitações humanas e ambientais são locais que, segundo o estudo, não é possível instalar uma usina solar fotovoltaica pois esta causaria efeitos danosos para o meio ambiente ou vida humana. Nesta categoria tem-se os seguintes itens: cidades, vilas, rodovias, ferrovias, áreas com inclinação elevada, área de proteção ambiental, lagos, rios, etc. A irradiação solar e acessibilidade à meios de transporte são fatores técnicos e econômicos respectivamente. A lógica fuzzy foi utilizada para criar cada uma dessas camadas, onde o grau de pertinência zero é totalmente inadequado e um é totalmente adequado. O quadro 6 resume como foram gerados os fatores:

Quadro 6: Fatores de Localização – Artigo 2

Fator	Categoria	Função de Pertinência
Distância de Terras Agrícolas (Km)	Limitações Humanas e Ambientais	$\mu = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ x & 0 \leq x \leq 1 \\ 1 & x \geq 1 \end{cases}$
Distância de Rios e Áreas Preservação (m)	Limitações Humanas e Ambientais	$\mu_{RWC} = \begin{cases} 0 & x \leq 100 \\ \frac{x-100}{300} & 100 \leq x \leq 400 \\ 1 & x \geq 400 \end{cases}$
Distância de Lagos (m)	Limitações Humanas e Ambientais	$\mu_L = \begin{cases} 0 & x \leq 300 \\ \frac{x-300}{200} & 300 \leq x \leq 500 \\ 1 & x \geq 500 \end{cases}$
Distância de Zonas Urbanas (m)	Limitações Humanas e Ambientais	$\mu_U = \begin{cases} 0 & x \leq 1000 \\ \frac{x-1000}{4000} & 1000 \leq x \leq 5000 \\ 1 & x \geq 5000 \end{cases}$
Distâncias de Zonas Rurais (m)	Limitações Humanas e Ambientais	$\mu_W = \begin{cases} 0 & x \leq 300 \\ \frac{x-300}{400} & 300 \leq x \leq 700 \\ 1 & x \geq 700 \end{cases}$
Distância de Florestas (m)	Limitações Humanas e Ambientais	$\mu_F = \begin{cases} 0 & x \leq 100 \\ \frac{x-100}{400} & 100 \leq x \leq 500 \\ 1 & x \geq 500 \end{cases}$
Inclinação do Terreno (Ângulo)	Limitações Humanas e Ambientais	$\mu_S = \begin{cases} 1 & x \leq 3 \\ \frac{x-3}{7} & 3 \leq x \leq 10 \\ 0 & x \geq 10 \end{cases}$
Irradiação Solar (kWh/m <sup>2</sup> /dia)	Técnico-econômico	
Distância de Links de Transporte	Técnico-econômico	

Fonte: Asakereh *et al.* (2017)

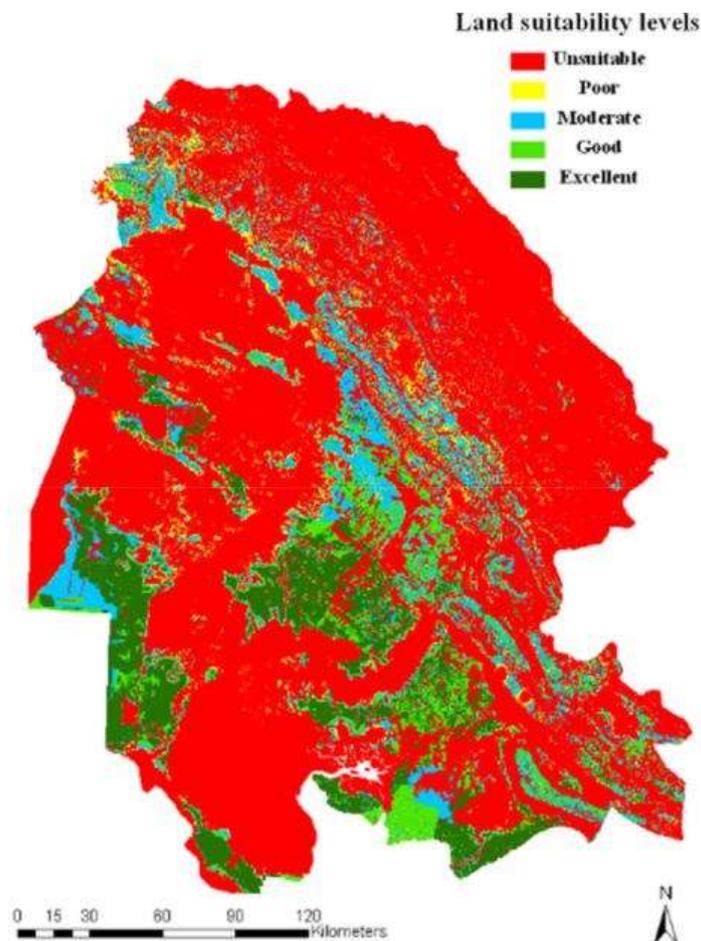
Ao final o AHP foi utilizado para determinar o peso relativo das três grandes categorias selecionadas, conforme mostrado na tabela 13.

**Tabela 13: Aplicação do AHP – Artigo 2**

<b>Categoria</b>	<b>Peso</b>
Irradiação Solar	53,9%
Limitações Humanas e Ambientais	29,1%
Infraestrutura de Transporte	17,0%

Fonte: Asakereh *et al.* 2017

O autor aplicou as camadas de cada uma das grandes categorias no software GIS, comparando o demandado pela usina solar fotovoltaica com o que a região oferece, ponderando pelos seus respectivos pesos e obteve o seguinte mapa 5 para as melhores localizações da usina solar fotovoltaica.



**Mapa 5: Análise da Localização – Artigo 2**

Fonte: Meryem *et al.* (2015)

#### **4.1.3.O POTENCIAL SOLAR DA TANZÂNIA: IDENTIFICANDO AS MELHORES LOCALIZAÇÕES PARA USINAS DE ENERGIA SOLAR CONCENTRADA E FOTOVOLTAICAS ATRAVÉS DO MÉTODO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E DO SIG**

Este artigo foi publicado pelo Renewable Energy ano de 2017, pelos autores Ahmed Aly, Steen Solvang Jensen e Anders Branth Pedersen, com o título original em inglês de *Solar Power Potential of Tanzania: Identifying CSP and PV Hot Spots Through a GIS Multicriteria Decision Making Analysis*.

O objetivo desta pesquisa foi descobrir as melhores localizações para usinas *Concentrated Solar Power* (CSP) e fotovoltaicas de grande capacidade na Tanzânia, país localizado na África Subsaariana, onde apenas 30% da população tem acesso a eletricidade. Como métodos para avaliar os fatores de localização e georreferenciar os dados, foram utilizados o AHP e o GIS.

O primeiro passo foi excluir áreas que não são próprias para se instalar as usinas como:

- Áreas de proteção ambiental;
- Terras férteis e sem vegetação densa, rios e lagos;
- Ângulos superiores a 3%;
- Zonas urbanas;
- Irradiação solar global (GHI) superior a 1700 KWh/m<sup>2</sup>.

Uma vez definidas as zonas de exclusão, os autores utilizaram os seguintes critérios de localização:

- Irradiação solar;
- Proximidade a infraestrutura de transporte;
- Proximidade a linhas de transmissão;
- Proximidade a centros urbanos;
- Proximidade a minas.

Para determinar os pesos de cada um dos fatores de localização escolhidos, os autores optaram por definir dois cenários: um cenário representando o interesse governamental com o monopólio da empresa nacional de geração de energia e um cenário

voltado para a demanda, ou seja, os consumidores de energia. Para a determinação do peso de cada critério foram realizadas entrevistas com especialistas.

Os pesos de cada um dos critérios podem ser encontrados na tabela 14 (ambos os cenários):

**Tabela 14: Aplicação do AHP – Artigo 3**

<b>Fator</b>	<b>Cenário 1 (Governamental)</b>	<b>Cenário 2 (Demanda)</b>
Irradiação Solar	69,6%	69,6%
Proximidade a infraestrutura de transporte	7,6%	2,5%
Proximidade a linhas de transmissão	15,3%	5,0%
Proximidade a cidades	2,4%	7,3%
Proximidade a minas	5,1%	15,6%

Fonte: Ahmed *et al.* (2017)

#### **4.1.4. UMA METODOLOGIA SIG PARA A LOCALIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIA RENOVÁVEL: UM CASO DE ESTUDO DA TURQUIA OCIDENTAL**

Este artigo foi publicado no *Energy Conversion and Management* no ano de 2013 pelos autores Nazli Yonca Aydin, Elcin Kentel e H.Sebnem Duzgun, com o título em inglês de *GIS-Based Site Selection Methodology for Hybrid Renewable Energy Systems: A case Study from Western Turkey*.

Os autores se propuseram a descobrir a melhor localização de uma usina solar fotovoltaica integrada com uma usina eólica na região oeste da Turquia, isto é, uma usina híbrida eólica-fotovoltaica.

Para tal, utilizaram da combinação de GIS e um modelo de decisão multicritério (MCDM) com fuzzy para avaliar as melhores localizações.

O primeiro passo foi definir as zonas de exclusão para a usina solar fotovoltaica<sup>1</sup>. Essas zonas de exclusão foram baseadas em outros projetos e na legislação turca. Os

<sup>1</sup> O mesmo foi feito para a usina eólica, porém não será demonstrado.

autores chamaram essa etapa de cumprimento dos objetivos ambientais. O quadro 7 mostra os parâmetros utilizados para esses critérios.

**Quadro 7: Zonas Excluídas – Artigo 4**

Environmental objectives	Criteria
C-1. Acceptable in terms of natural reserves	Only the constructions for public interest are allowed if activities are highly necessary to build on forest areas Only the constructions that are compatible with the nature are allowed The structures that have adverse impacts on habitat cannot be built
F-7. Acceptable in terms of agricultural areas	Agricultural area must be protected in order to sustain natural functions of the land Cultivable land might be damaged by large scale installations thus must be protected
F-8. Acceptable in terms of flight security	Minimum distance to airports is 3000 m and maximum distance to airports is 6000 m
F-9. Acceptable in terms of lakes and wetlands	At least 2.5 km buffer zone to protect ecologic and topographic features
F-10. Acceptable in terms of coastline or river	Minimum distance is 100 m from the coastline

**Fonte: Aydin *et al.* (2013)**

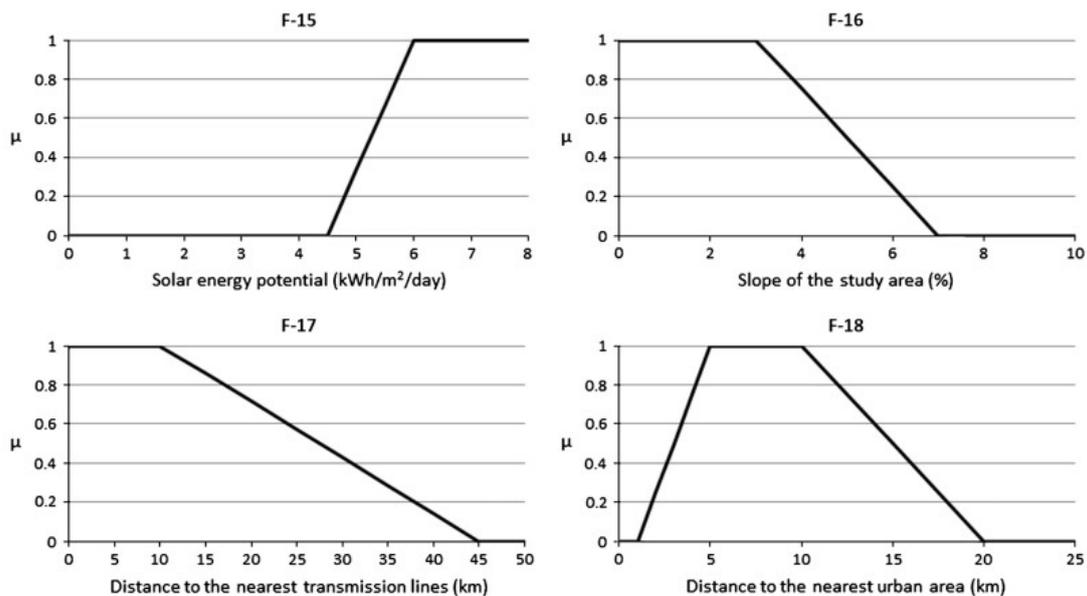
Após avaliar os critérios ambientais, os autores passaram para a próxima etapa, que são os critério econômicos: a inclinação do terreno, proximidade a zonas urbanas, proximidade a linhas de transmissão e irradiação solar. O cumprimento desses requisitos leva, segundo o artigo, a viabilidade econômica da usina solar fotovoltaica. O quadro 8 mostra como os critérios foram utilizados.

**Quadro 8: Critérios Econômicos – Artigo 4**

Economic feasibility objectives	Criteria
F-15. Sufficient Potential for Solar Energy Generation	Minimum solar radiation value is 4.5 kW h/m <sup>2</sup> day
F-16. Acceptable slope	Slope up to 3%, 1% most economic Less than 3%
F-17. Acceptable proximity to transmission lines	For grid-connected systems, if the distance to transmission line is more than 0.5 miles, then additional costs associated with connecting the system to the nearest grid must be considered
F-18. Acceptable proximity to urban areas	Minimum distance to urban areas should be 5 km. Maximum distance to urban areas should be 10 km Electrical production plants need to be located near urban area to avoid transmission loss Proper site selection and design of large PV installations due to the visual impact

**Fonte: Aydin *et al.* (2013)**

Os conjuntos fuzzy que representam a viabilidade ambiental e os objetivos econômicos utilizados neste estudo são formados com base na literatura especializada e no conhecimento prévio dos autores. O gráfico 17 mostra os conjuntos fuzzy para os critérios econômicos de irradiação solar, inclinação, proximidade de linhas de transmissão e proximidade de zonas urbanas.



**Gráfico 19: Funções de Pertinência para os Critérios Econômicos - Artigo 4**  
**Fonte: Aydin et al. (2013)**

A operação fuzzy utilizada para “combinar” os objetivos econômicos com os ambientais foi a “E”. Com isso, foram gerados dois indicadores de performance ambiental e performance econômica, OEPIS e OSEPI, respectivamente. Ao final foi utilizada outra operação fuzzy “E” para combinar o OEPIS e o OSEPI.

#### **4.1.5.UM MODELO BASEADO NO SIG E NO MÉTODO ANALÍTICO DE HIERARQUIAS PARA A SELEÇÃO DE USINAS SOLARES NA REGIÃO DE KARAPINAR, TURQUIA**

Este artigo foi publicado pela *Reweable and Sustainable Energy Review* em 2013, elaborado por Mevlut Uyan, com o título em inglês de *GIS-Based Solar Farms Site Selection Using an Analytic Hierarchy Process (AHP) in Karapinar Region, Konya/Turkey*.

Segundo o autor, a seleção de um local apropriado para usinas solares fotovoltaicas é um fator crítico para o seu sucesso. Neste sentido, o propósito do artigo é identificar, utilizando o GIS e o AHP as melhores áreas para instalar esse tipo de empreendimento. A região analisada é Karapinar em Konya, que pertence a Anatólia turca, com um total de, aproximadamente, seis mil quilômetros quadrados. Essa região tem o maior potencial para investimentos em energia solar na Turquia devido a sua elevada irradiação solar. Entretanto, algumas zonas de exclusão foram criadas:

- 500 metros de zonas urbanas;
- 100 metros de rodovias;
- Rios, lagos e represas;
- 500 metros de zonas de proteção ambiental, sítios arqueológicos e bases militares.

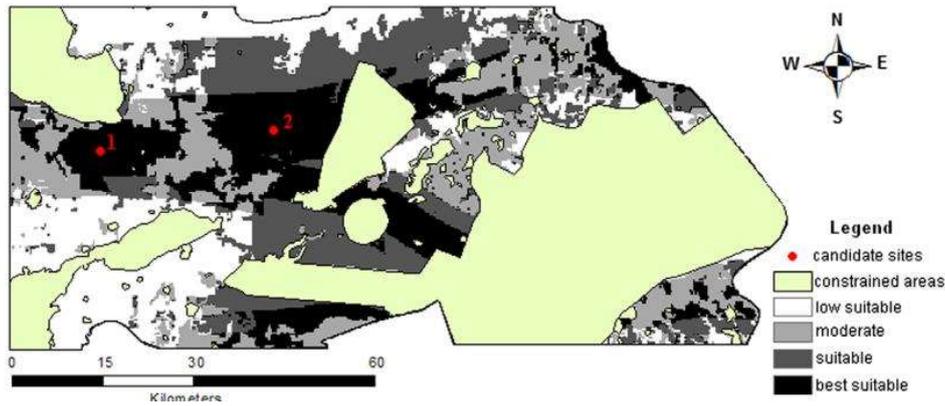
A tabela 15 mostra os fatores de localização e os seus respectivos pesos. Os autores não informaram como os critérios e os seus pesos foram determinados. Vale ressaltar que a irradiação solar não entrou como critério pois a região já foi escolhida por ter elevados e uniformes índices de irradiação solar.

**Tabela 15: Fatores de Localização – Artigo 5**

Obj.	Weight	CR	Criteria	Weight	CR	Sub-criteria	Weight	CR	ΣWeight				
<b>Environmental factors (A)</b>	0.550	0.000	Distance from residential areas(m)	0.250	0.000	500 >	0.042	0.065	0.006				
						500–2000	0.133		0.018				
						2000–5000	0.267		0.037				
						5000 <	0.558		0.077				
			Land use	0.750	Barren	0.990	0.000	0.408					
						Agriculture	0.010	0.004					
<b>Economic factors (B)</b>	0.450		Distance from roads (m)	0.071	0.025	100 >	0.033	0.070	0.001				
						100–1000	0.454		0.015				
						1000–3000	0.256		0.008				
						3000–5000	0.160		0.005				
						5000 <	0.096		0.003				
	0.5		Slope (%)	0.180		1 >	0.390	0.059	0.032				
						1–2	0.390		0.032				
						2–3	0.184		0.015				
						3 <	0.036		0.003				
						Distance from transmission lines (m)	0.748			3000 >	0.574	0.062	0.193
										3000–6000	0.291		0.098
6000–10,000	0.090	0.030											
						10,000 <	0.044	0.015					

Fonte: Uyan (2013)

Comparando a demanda dos fatores com a oferta da região obteve-se o mapa 6 para as melhores zonas a se instalar uma usina solar fotovoltaica.



**Mapa 6: Melhores Regiões – Artigo 5**  
**Fonte: Uyan (2013)**

#### **4.1.6.A SELEÇÃO DE UM LOCAL PARA UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA UTILIZANDO O MAH E O SIG NA ARÁBIA SAUDITA**

Este artigo foi publicado pela *Applied Energy* no ano de 2017, pelos autores Hassan Z. Al Garni e Anjali Awasthi, cujo título em inglês é *Solar PV Power Plant Site Selection Using a GIS-AHP Based Approach with Application in Saudi Arabia*.

Segundo os autores, a seleção de um local apropriado para usinas fotovoltaicas de grande porte é crítica devido a importância de fatores como o clima, infraestrutura, áreas de proteção ambiental, dentre outros.

O objetivo do artigo foi determinar a localização ótima de uma usina solar fotovoltaica na Arábia Saudita. Para tal foi aplicado o método analítico de hierarquias em conjunto com o GIS para determinar as localizações ótimas de uma usina.

Os fatores de localização foram escolhidos através da revisão da literatura, majoritariamente agências governamentais e outros artigos. Com base nessa revisão foram selecionados os seguintes fatores:

- Irradiação solar;
- Temperatura média;
- Ângulo;
- Azimute;
- Proximidade a áreas urbanas;
- Proximidade a rodovias;
- Proximidade de linhas de transmissão.

Além disso, foram definidas áreas de exclusão, como:

- Áreas urbanas;
- Áreas de proteção ambiental;
- Ângulo maiores que 5°.

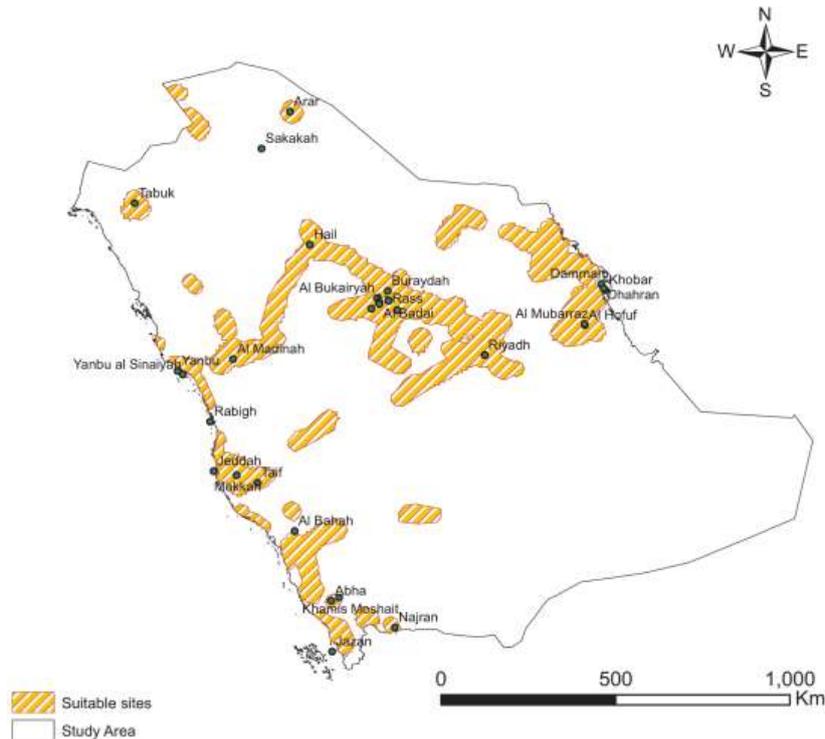
Os pesos dos critérios foram estabelecidos utilizando o AHP, porém não foram realizadas entrevistas com especialistas e sim uma revisão da literatura. A tabela 16 mostra o peso de cada um dos fatores de localização.

**Tabela 16: Peso dos Fatores de Localização – Artigo 6**

<b>Fator</b>	<b>Peso</b>
Irradiação Solar	35,00%
Temperatura	23,70%
Inclinação	15,90%
Azimute	10,60%
Proximidade a Zonas Urbanas	3,20%
Proximidade a Rodovias	4,60%
Proximidade a Linhas de Transmissão	7,00%

**Fonte: Algarni *et al.* (2017)**

Ao final, utilizou-se a ferramenta GIS para gerar o mapa que comparava as demandas de fatores de localização da usina solar fotovoltaica com o que cada região oferece (mapa 7).



**Mapa 7: Melhores Localizações – Artigo 6**

Fonte: Algarni *et al.* (2017)

#### **4.1.7. ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA UTILIZANDO O SIG, LÓGICA FUZZY E O MÉTODO ANALÍTICO DE HIERARQUIAS**

Este artigo foi publicado pela *Renewable Energy* no ano de 2011, cujos autores foram Yassine Charabi e Adel Gastli, sendo o título em inglês *PV Site Suitability Analysis Using GIS-Based Spatial Fuzzy Multi-Criteria Evaluation*.

Os autores se propuseram a descobrir as melhores localizações para uma usina solar fotovoltaica de grande porte em Omã, país localizado na Península Arábica. Como métodos para a localização, optaram pelo GIS com quantificadores fuzzy (para a análise multicritério). Mais especificamente para a análise multicritério eles utilizaram o *Ordered Weighted Averaging* (OWA) com AHP.

O artigo menciona que o OWA incorpora a importância dos critérios e ordena os pesos dando, desta maneira, flexibilidade suficiente para gerar as estratégias de decisão.

Os fatores de localização foram separados em três grandes grupos: técnico, econômico e ambiental. O quadro 9 demonstra os fatores que, segundo as pesquisas

realizadas na literatura especializada, afetam a localização da usina. As áreas sensíveis são as áreas de restrição, como áreas sujeitas a enchentes, rios, represas, áreas urbanas, terrenos arenosos, inclinação superior a 5° e rodovias.

**Quadro 9: Fatores de Localização – Artigo 7**

<b>Técnico</b>	<b>Econômico</b>	<b>Ambiental</b>
Irradiação Solar	Proximidade a Linhas de Transmissão	Áreas sensíveis
Acessibilidade do Terreno	Inclinação	Linha hidrográfica
Utilização da terra	Centros de consumo	Risco de poeira / areia

Fonte: Charabi *et al.* (2011)

Como não havia dados georreferenciados para a maior parte dos fatores acima, optou-se por analisar apenas a irradiação solar, áreas de exclusão e proximidade a rodovias, sendo o maior peso para a irradiação solar. Para a análise dos fatores de localização deste trabalho foram considerados aqueles elencados no quadro 9, que refletem o real desejo dos autores.

#### **4.1.8. PESQUISA SOBRE O POTENCIAL DAS USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS UTILIZANDO O MÉTODO ANALÍTICO DE HIERARQUIAS (MAH) NO IRÃ**

Este artigo foi publicado pela *Renewable and Sustainable Energy Reviews* no ano de 2017 pelos autores Mostafa Azizkhani, Abdullah Vakili, Younes Noorollahi e Farzin Naseri, com o título em inglês de *Potential Survey Of Photovoltaic Power Plants Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Method In Iran*.

Segundo os autores, um dos maiores desafios na construção de uma usina solar fotovoltaica de grande porte é escolher a localização apropriada. Desse modo, para definir a melhor localização de uma usina no Irã, país mais populoso da Península Arábica, optou-se por analisar fatores econômicos, geográficos e técnicos. Como metodologia para mensurar a importância de cada um dos fatores de localização o AHP foi utilizado. Já o GIS foi escolhido como ferramenta de georreferenciamento dos dados.

Os fatores de localização mostrados no quadro 10 foram definidos através de entrevistas com especialistas e revisão da literatura especializada.

**Quadro 10: Fatores de Localização – Artigo 8**

Irradiação Horizontal Global (GHI)	Irradiação Difusa (DHI)	
	Irradiação Direta (DNI)	
Econômico	Distância de Rodovias	
	Infraestrutura Elétrica	
Técnico	Geográfico	Inclinação
		Azimute
	Vento	
	Temperatura	
Utilização da Terra		

Fonte: Azizkhani (2017)

A irradiação horizontal global foi calculada a partir da irradiação difusa e direta. Para os fatores econômicos, a distância de rodovias e da infraestrutura elétrica tiveram o mesmo peso comparativo. Dentre os fatores técnicos, a temperatura teve um peso de 60%, o vento 20%, a inclinação 12% e o azimute 8%. A utilização da terra abordou áreas propensas para a agricultura, lagos, zonas urbanas, zonas de proteção ambiental, etc. O peso das grandes categorias está apresentado na tabela 17.

**Tabela 17: Peso dos Fatores de Localização – Artigo 8**

Fator	Peso
Irradiação Horizontal Global (GHI)	60,78%
Econômico	6,14%
Técnico	20,84%
Utilização da Terra	12,23%

Fonte: Azizkhani (2017)

#### 4.1.9. OTIMIZAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE USINAS SOLARES UTILIZANDO UM MODELO LINEAR DE SUPORTE À DECISÃO COM LÓGICA FUZZY PARA UMA REGIÃO ÁRIDA E SEMI-ÁRIDA: UM CASO DE ESTUDO DE ISFAHAM NO IRÃ

Este artigo foi publicado pela *Renewable and Sustainable Energy Reviews* no ano de 2017, sendo elaborado por Mahmood Zoghi, Amir Houshang Ehsani, Mahdis Sadat, Mohammad Javad Amiri e Sepideh Karimi, com título em inglês de *Optimization Solar Site Selection by Fuzzy Logic Model and Weighted Linear Combination Method in Arid and Semi-Arid Region: A Case Study Isfahan-Iran*.

O objetivo deste artigo é encontrar a localização ótima de uma usina solar fotovoltaica utilizando o AHP para configurar a importância dos fatores de localização e o GIS para georreferenciar as informações. A lógica fuzzy auxiliou na identificação e avaliação dos critérios escolhidos, isto é, dando robustez para o AHP. A região escolhida foi a província de Isfahan no Irã, com uma área que equivale a 0,5% do território iraniano e uma população de, aproximadamente, cinco milhões de pessoas. Este território é um importante polo industrial para o Irã.

Os fatores de localização mostrados na figura 9 foram escolhidos através de entrevistas com especialistas e revisão bibliográfica.

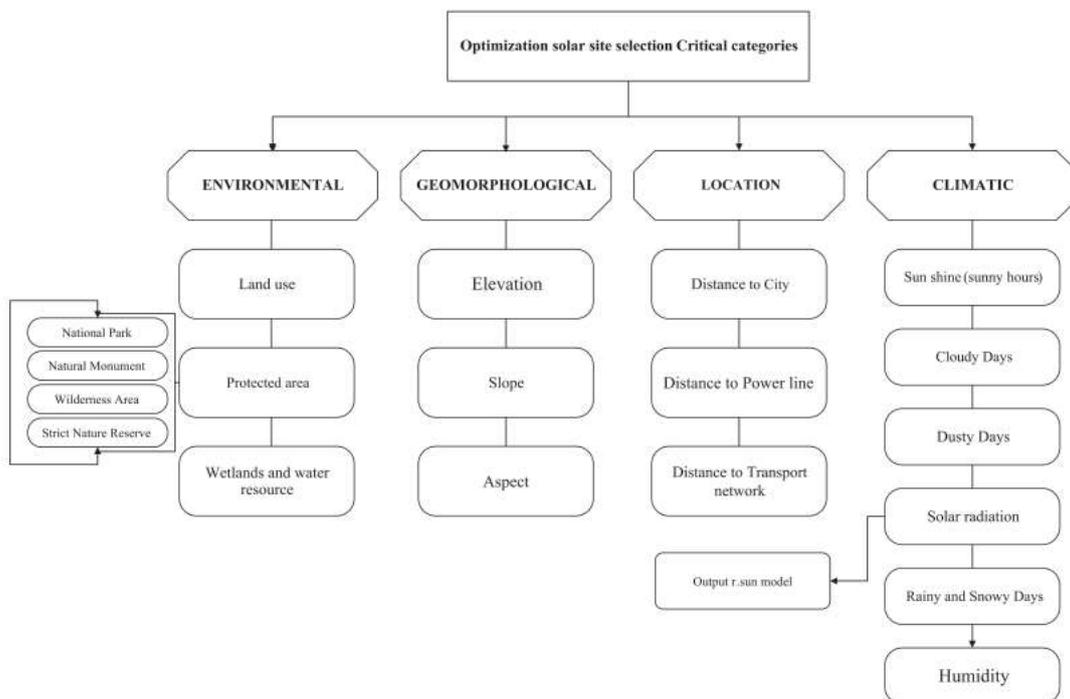


Figura 9: Fatores de Localização – Artigo 9

Fonte: Zoghi et al. (2017)

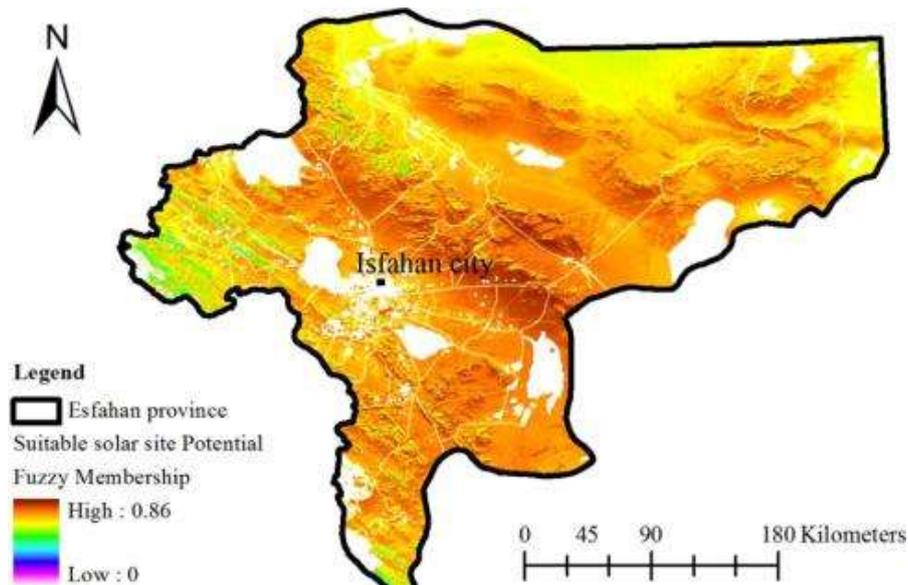
O peso de cada um dos fatores de localização foi obtido através de entrevistas com especialistas. A partir das entrevistas, o peso dos critérios e suas funções de pertinência fuzzy foram definidas, conforme demonstrado na tabela 18.

**Tabela 18: Peso dos Fatores de Localização – Artigo 9**

criteria	weight	Fuzzy function				Chart type	Chart type
		a	b	c	d		
Potential solar radiation	0.250	$8 \cdot 10^5$ (wh/m <sup>2</sup> /y)	$1.5 \cdot 10^6$ (wh/m <sup>2</sup> /y)	–	–	Sigmoidal /Monotonically increasing	
Total hours of sunshine	0.19	2500 (h)	3500 (h)	–	–	Sigmoidal - Monotonically decreasing	
Humidity	0.043	30%	–	–	50%	Sigmoidal - Monotonically decreasing	
Slop	0.042	3%	10%	20%	100%	Linear/Symmetric	
Aspect	0.066	N,NE (0-45)	S,F (< 0,180)	SW, SE,W (225,135)	E, NE (90,45)	Linear/Symmetric	
Elevation	0.059	500 (m)	1500 (m)	2000 (m)	4500 (m)	Linear/Symmetric	
Distance from city	0.014	15 (Km)	350 (Km)	–	–	J-shaped/Monotonically decreasing	
Distance from power lines	0.050	500 (m)	10 (Km)	15 (Km)	60 (Km)	Sigmoidal/Symmetric	
Distance from transport network	0.032	20 (Km)	–	–	200 (Km)	Linear/Monotonically decreasing	
Total days of cloud cover	0.11	20 (day)	–	–	50 (day)	Sigmoidal - Monotonically decreasing	
Total days of snow and rain	0.091	40 (day)	–	–	60 (day)	Linear/Monotonically decreasing	
Dusty days	0.053	20 (day)	–	–	50 (day)	Sigmoidal - Monotonically decreasing	
Constraint Parameter	Urban	Transport network	Wetland	Protected areas	Water Resources	Dense forest	
Privacy	500 m	250 m	500 m	1000 m	–	–	

Fonte: Zoghi *et al.* (2017)

A etapa seguinte foi a realização de um comparativo entre os fatores de localização demandados com aqueles oferecidos pela região. O mapa 8 demonstra a união de todos esses fatores, sendo este o resultado final do artigo.



**Mapa 8: Resultado Final – Artigo 9**  
**Fonte: Zoghi et al. (2017)**

#### **4.1.10. UM MODELO DE ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) PARA AVALIAR A LOCALIZAÇÃO DE USINAS SOLARES: UM CASO DE ESTUDO NO SUDESTE DA ESPANHA**

Este artigo foi publicado pela *Renewable and Sustainable Energy Reviews* no ano de 2013, elaborado por Juan M. Sánchez-Lozano, Jerónimo Turel-Solano, Pedro L. Soto-Elvira e M. Socorro García-Cascales, com o título em inglês de *Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods for the Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in South-Eastern Spain*.

O objetivo desse artigo foi descobrir a localização ótima para uma usina solar fotovoltaica para a área de Cartagena, região de Murcia, no sudoeste da Espanha. Para tal, os autores optaram por utilizar o AHP com o intuito de determinar a importância relativa dos fatores de localização, em combinação com o GIS para o georreferenciamento dos dados. A ferramenta de análise de decisão multicritério *Technique for Order Preference by Smililarity to Ideal Solution* (TOPSIS) foi utilizada para auxiliar na escolha da melhor alternativa.

De acordo com a teoria do TOPSIS, a melhor alternativa seria aquela que é a mais próxima da solução ideal (perfeita) positiva e a mais distante da solução ideal (imperfeita) negativa. A solução ideal positiva é uma solução que maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios de custo. Já a solução ideal negativa maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício.

O primeiro passo realizado foi eliminar as regiões inaptas para a localização de usinas solares fotovoltaicas, tais como:

- Áreas militares;
- Áreas de proteção ambiental;
- Sítios arqueológicos;
- Rios, lagos e lagoas;
- Zonas urbanas.

Os fatores de localização foram divididos nos seguintes grupos: climáticos, geomorfológicos, localizacionais e ambientais. A tabela 19 mostra como eles foram divididos e os seus respectivos pesos (obtido através do AHP).

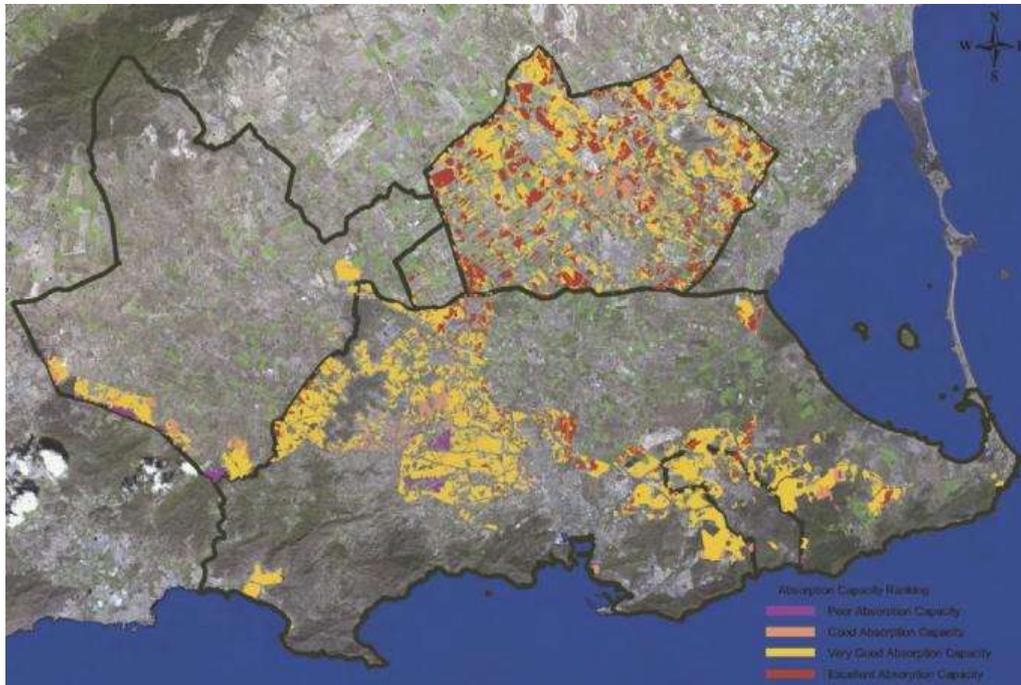
**Tabela 19: Fatores de Localização e Pesos – Artigo 10**

Fatores		Peso
Ambiental	Capacidade Agrícola	5,55%
Geomorfológico	Inclinação	11,20%
	Azimute	4,81%
	Área	1,24%
Localizacionais	Distância de Rodovias	2,84%
	Distância de Linhas de Transmissão	4,29%
	Distância de Subestações	8,90%
	Distância de Zonas Urbanas	32,50%
Climáticas	Irradiação Solar	23,90%
	Temperatura	4,70%

Fonte: Lozano *et al.* (2013)

Vale destacar que os autores não mencionam como escolheram os fatores de localização, tampouco como deram os pesos para estes.

A etapa seguinte foi comparar os fatores de localização demandados com o que a região oferece. O mapa 9 mostra a união de todos esses fatores, sendo este o resultado final do artigo.



**Mapa 9: Resultado – Artigo 10**  
**Fonte: García-Cascales *et al.* (2013)**

#### 4.1.11. ANÁLISE DOS ARTIGOS

O quadro 11 mostra o resumo dos dez artigos analisados para esta dissertação. Percebe-se que cinco destes foram da *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, uma revista com conceito qualis A1, e todos eles foram publicados depois de 2011, sendo que cinco foram publicados em 2017, refletindo a contemporaneidade do objeto de estudo.

Todos os artigos utilizaram o GIS para o georreferenciamento dos dados e o AHP, para determinar o peso dos fatores de localização, foi utilizado em nove deles. Já a lógica fuzzy foi abordada em cinco artigos. Vale destacar que o AHP foi combinado com a lógica fuzzy três vezes.

**Quadro 11: Resumo dos Artigos Analisados**

<b>Artigo</b>	<b>Revista</b>	<b>Ano</b>	<b>Métodos</b>
The Evaluation of Solar Farm Locations Applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making Methods: Case Study in Southern Morocco	Renewable and Sustainable Energy Reviews	2015	AHP / GIS
GIS-Based Solar Farms Site Selection Using Analytic Hierarchy Process (AHP) In Karapinar Region, Konya / Turkey	Renewable and Sustainable Energy Reviews	2013	Fuzzy / AHP / GIS
Potential Survey of Photovoltaic Power Plants Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Method in Iran	Renewable and Sustainable Energy Reviews	2017	AHP / GIS
Optimization Solar Site Selection by Fuzzy Logic Model and Weighted Linear Combination Method in Arid And Semi-Arid Region: A Case Study Isfahan-Iran	Renewable and Sustainable Energy Reviews	2017	Fuzzy /AHP / GIS
Geographical Information Systems (GIS) And Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods for The Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in South-Eastern Spain	Renewable and Sustainable Energy Reviews	2013	TOPSIS / AHP / GIS
A GIS-Based Fuzzy-AHP Method for The Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in Khuzestan Province, Iran	Solar Energy	2017	Fuzzy /AHP / GIS
Solar Power Potential of Tanzania: Identifying CSP And PV Hot Spots Through A GIS Multicriteria Decision Making Analysis	Renewable Energy	2017	AHP / GIS
PV Site Suitability Analysis Using GIS-Based Spatial Fuzzy Multi-Criteria Evaluation	Renewable Energy	2011	AHP / GIS
GIS-Based Site Selection Methodology for Hybrid Renewable Energy Systems: A case Study from Western Turkey	Energy Conversion and Management	2013	Fuzzy / GIS
Solar PV Power Plant Site Selection Using A GIS-AHP Based Approach with Application in Saudi Arabia	Appied Energy	2017	Fuzzy / AHP / OWA / GIS

Fonte: O autor

No que se refere a definição e o grau de importância dos fatores de localização, alguns artigos combinaram análise bibliográfica com entrevistas a especialistas e outros utilizaram apenas a análise da bibliografia existente sobre a temática.

Todos os artigos consideraram zonas de restrição, isto é, regiões em que a usina solar fotovoltaica não poderia se localizar, seja por questões legais ou por uma restrição física. Neste quesito destacam-se, por exemplo, áreas de proteção ambiental, zonas urbanas, rios, lagos, rodovias, zonas militares, etc. Alguns artigos eliminaram também regiões com inclinações elevadas.

O quadro 12 mostra os fatores de localização que foram considerados em cada artigo.

**Quadro 12: Fatores de Localização dos Artigos Analisados**

Artigo	Util. da Terra	Inclinação	Azimute	Distância de Infra. de Transp.	Distância de Linhas de Transm.	Distância de Zonas Urbanas	Irradiação Solar	Temp.	Distância de Minas	Pocira	Acesso a Água	Vento	Altitude	Umidade	Dias Nublados	Horas de Luz Solar
The Evaluation of Solar Farm Locations Applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making Methods: Case Study in Southern Morocco	X	X	X	X		X	X	X								
A GIS-Based Fuzzy-AHP Method for The Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in Khuzestan Province, Iran	X	X		X			X									
Solar Power Potential of Tanzania: Identifying CSP And PV Hot Spots Through A GIS Multicriteria Decision Making Analysis		X		X	X	X	X		X							
GIS-Based Site Selection Methodology for Hybrid Renewable Energy Systems: A Case Study from Western Turkey		X			X	X	X									
GIS-Based Solar Farms Site Selection Using an Analytic Hierarchy Process (AHP) In Karapinar Region, Konya / Turkey	X	X		X	X		X									

Artigo	Util. da Terra	Inclinação	Azimute	Distância de Infra. de Transp.	Distância de Linhas de Transm.	Distância de Zonas Urbanas	Irradiação Solar	Temp.	Distância de Minas	Pocira	Acesso a Água	Vento	Altitude	Umidade	Dias Nublados	Horas de Luz Solar
Solar PV Power Plant Site Selection Using a GIS-AHP Based Approach with Application in Saudi Arabia		X	X	X	X	X	X	X								
PV Site Suitability Analysis Using GIS-Based Spatial Fuzzy Multi-Criteria Evaluation	X	X		X	X		X			X	X	X				
Potential Survey of Photovoltaic Power Plants Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Method in Iran	X	X	X	X	X		X	X				X	X			
Optimization Solar Site Selection by Fuzzy Logic Model and Weighted Linear Combination Method in Arid and Semi-Arid Region: A Case Study Isfahan-Iran	X	X	X	X	X	X	X			X			X	X	X	X
Geographical Information Systems (GIS) And Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods for The Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in South-Eastern Spain	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X

Fonte: O autor

A utilização da terra foi considerada como sendo um fator relevante em sete dos artigos analisados. Na maioria dos casos foi considerado se a terra era propensa para a agricultura ou não e a sua cobertura vegetal. Isto não foi considerado um fator que restringe a localização das usinas, porém, quanto mais fértil ou quanto maior a cobertura vegetal do terreno, mais inibe-se a construção delas.

A inclinação do terreno foi considerada em todos os artigos analisados, pois, segundo os autores, esta afeta o custo de construção da usina solar fotovoltaica e ainda acentua o efeito sombra entre os painéis.

O azimute, que é o ângulo formado entre a direção Norte-Sul e a direção considerada, contado a partir do Polo Norte, no sentido horário (MORATO *et al.*, 2017), foi considerado em cinco artigos, sempre em conjunto com a inclinação.

A distância da infraestrutura de transporte foi considerada em nove artigos. Os autores analisaram que, quanto mais próximo de rodovias e ferrovias, menor será o custo de construção e manutenção das usinas solares fotovoltaicas.

A distância de linhas de transmissão foi considerada em nove artigos. Segundo os autores, quanto maior a proximidade das linhas de transmissão já existentes, menores são os custos pois não será necessário construir a infraestrutura nova.

A distância de centros urbanos também é um fator redutor de custos e foi considerada em seis artigos analisados. Vale ressaltar que os autores entendem que os centros urbanos são os grandes demandantes de energia e, portanto, quanto menor a distância menor a perda. Um artigo considerou a distância de locais de mineração como um fator importante para a localização de usinas solares, pois na Tanzânia é uma atividade econômica importante e que demanda também muita energia elétrica.

A irradiação solar é proporcional à geração da energia fotovoltaica e foi considerada em todos os artigos selecionados. Praticamente todos os artigos percebem este fator como sendo o mais importante para a localização da usina. Alguns artigos quiseram também considerar o número de dias nublados e a quantidade média de horas de luz solar como fatores importantes para a determinação da localização da usina solar fotovoltaica. Da mesma maneira, dois artigos consideraram a altitude um fator importante, pois quanto mais alto se está, maior é a intensidade da luz solar recebida.

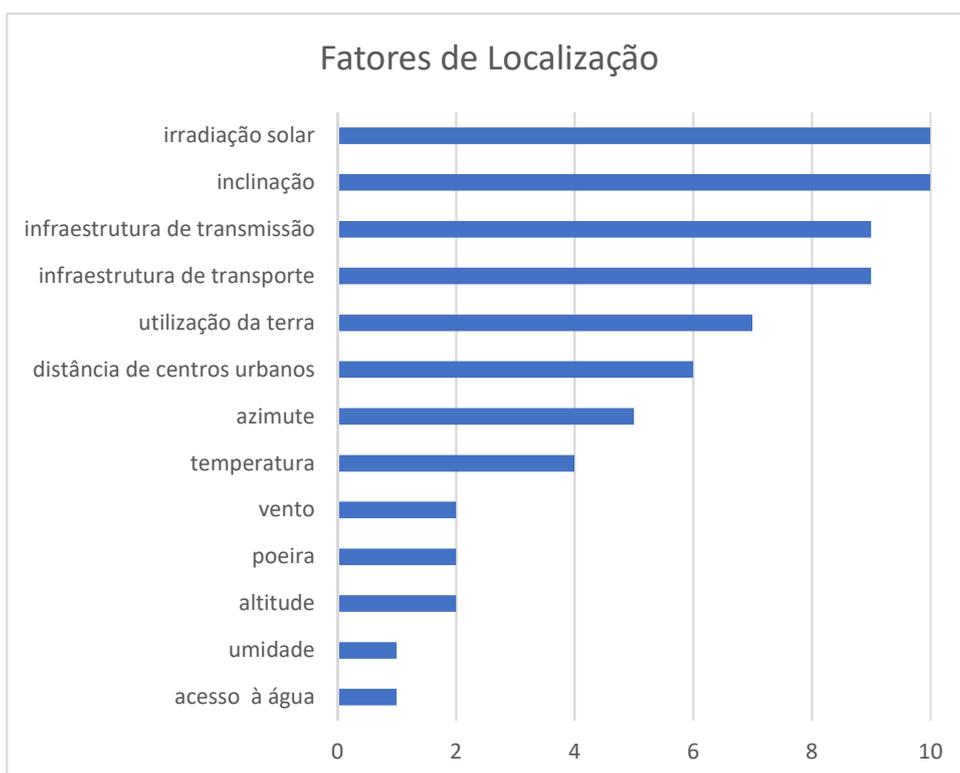
A temperatura foi considerada um fator importante em quatro dos artigos selecionados. Segundo estes, quanto maior a temperatura menor é a eficiência das células solares.

Dois artigos consideraram a poeira como sendo um fator a ser levado em conta para se localizar a usina solar fotovoltaica. Ressalta-se o fato de ambos se limitarem a regiões desérticas, isto é, propensas ao acúmulo de poeira. O acesso a água foi percebido como um fator importante para essas regiões também, pois os painéis devem ser limpos periodicamente e regiões desérticas, por definição, carecem de água.

O vento foi considerado um fator de localização em dois artigos que justificam a sua importância pois ele é capaz de dispersar o calor dos painéis solares, reduzindo a temperatura dos mesmos.

A umidade foi considerada em um artigo, pois entende-se que quanto mais úmido menos eficiente os painéis solares são.

O gráfico 20 contabiliza quantas vezes cada um dos fatores de localização foram utilizados nos artigos revisados.



**Gráfico 20: Resumo dos Fatores de Localização**  
Fonte: O autor

## 4.2. FATORES DE LOCALIZAÇÃO

Este tópico abordará os fatores de localização selecionados e as bases de dados para a geração dos mapas SIG.

#### **4.2.1. DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE LOCALIZAÇÃO**

A escolha dos fatores de localização de uma usina fotovoltaica no estado do Rio de Janeiro, neste artigo, definiu-se com base no levantamento dos artigos referidos, considerando aqueles fatores presentes em 40% ou mais dos artigos analisados, isto é, quatro ou mais artigos. Os fatores que aparecem em menor representatividade serão analisados como peculiaridades locais como, por exemplo, poeira para locais desérticos ou a presença de recursos hídricos.

Desse modo, evidenciam-se, a seguir, os fatores de localização escolhidos, quais sejam:

- Irradiação Solar;
- Temperatura média;
- Proximidade a Linhas de Transmissão;
- Proximidade a Rodovias;
- Proximidade de Centros Urbanos;
- Inclinação do terreno;
- Azimute;
- Utilização da terra.

#### **4.2.2. BASE DE DADOS ESPACIAIS**

Os dados georreferenciados, que serão utilizados no SIG, vem de diversas fontes, em sua maior parte de órgãos pertencentes ao governo federal.

- Divisão Territorial do Estado do Rio de Janeiro

Conteúdo: Limite dos municípios

Instituição: IBGE (2015)

<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>

- Zonas Urbanas e Rurais

Conteúdo: Setores censitários de classificação urbana e rural.

Instituição: IBGE (2010)

<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>

- Irradiação Solar

Conteúdo: Contém as médias anuais e mensais do total diário da irradiação Global Horizontal, Difusa, Direta Normal, no Plano Inclinado e PAR em Wh/m<sup>2</sup>.dia em resolução espacial de 0,1° x 0,1° (aproximadamente 10 km x 10 km)..

Instituição: INPE (2017)

[http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_2017.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html)

- Unidades de Conservação

Conteúdo: Unidades de conservação federais, estaduais e municipais do Estado do Rio de Janeiro.

Instituição: Ministério do Meio Ambiente (MMA – 2019)

<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>

- Mata Atlântica

Conteúdo: Zonas de mata atlântica remanescente do Estado do Rio de Janeiro.

Instituição: ONG SOS Mata Atlântica (2016)

[http://mapas.sosma.org.br/dados/solicitacao\\_mapas/](http://mapas.sosma.org.br/dados/solicitacao_mapas/)

- Territórios Indígenas:

Conteúdo: Relação dos Grupos Indígenas Brasileiros;

Instituição: FUNAI (2019)

<http://www.funai.gov.br/index.php/servicos/geoprocessamento>

- Territórios Quilombolas:

Conteúdo: Relação dos Grupos Quilombolas do Estado do Rio de Janeiro

Instituição: INCRA (2019)

[http://certificacao.incra.gov.br/csv\\_shp/export\\_shp.py](http://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py)

- Recursos Hídricos:

Conteúdo: Relação dos recursos hídricos (rios, lagos, lagoas...) do Estado do Rio de Janeiro.

Instituição: IBGE (2015)

[ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas\\_e\\_mapas/bases\\_cartograficas\\_continuas/bc250/versao2015/Shapefile/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2015/Shapefile/)

- Rodovias

Conteúdo: Relação das Rodovias Estaduais e Federais do Rio de Janeiro

Instituição: IBGE (2016) e DNIT (2015)

[ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas\\_e\\_mapas/bases\\_cartograficas\\_continuas/bc25/rj/versao2016/shapefile/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc25/rj/versao2016/shapefile/)

<http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>

- Linhas de Distribuição:

Conteúdo: Linhas de Distribuição, Seccionadoras e Subestações do Sistema Elétrico do Estado do Rio de Janeiro.

Instituição: IBGE (2018)

[ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas\\_e\\_mapas/bases\\_cartograficas\\_continuas/bc25/rj/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc25/rj/)

- Temperatura:

Conteúdo: Temperatura do Ar, em graus Celsius x 10, obtida a 10m da Superfície da Terra – Valores anuais e mensais. As grades de clima recortadas para o Brasil e Amazônia Legal, correspondem a dados de observação, representativos de 1950 a 2000.

Instituição: INPE

<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/download.php>

- Inclinação (Declividade)

Conteúdo: A grade de declividade foi gerada a partir da grade de altitude, e os valores estão expressos em porcentagem.

Instituição: INPE

<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/download.php>

- Aptidão Agrícola:

Conteúdo: Classificação dos Solos do Brasil segundo o Potencial Agrícola;

Instituição: Ministério do Meio Ambiente (MMA);

Ano: 2002.

<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>

- Azimute:

Conteúdo: Ângulo em graus da orientação geográfica.

Instituição: INPE

<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/download.php>

#### 4.2.3. ZONAS EXCLUÍDAS

Os artigos revisados mostraram diversas áreas excluídas, isto é, onde há uma impossibilidade legal, operacional ou física para a instalação da usina solar fotovoltaica. O Banco Mundial (2011) cita alguns exemplos como áreas de proteção ambiental, lagos, rios, sítios arqueológicos.

As zonas de restrição, quando aplicadas a realidade brasileira, estão relacionadas àquelas áreas cuja atividade ou ocupação deve ser preservada e controlada ou a limitações operacionais. Para esta dissertação serão considerados zonas de exclusão:

- Áreas protegidas;
- Florestas e matas;
- Territórios Indígenas;
- Territórios Quilombolas;
- Áreas Urbanas;
- Corpos d'Água.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2019), as Áreas Protegidas

Englobam as Unidades de Conservação (UCs), mosaicos e corredores ecológicos, espaços considerados essenciais, do ponto de vista econômico, por conservarem a sociobiodiversidade, além de serem provedores de serviços ambientais e geradores de oportunidades de negócios.

Segundo a ONG SOS Mata Atlântica (2019), esse bioma possibilita atividades essenciais para a população, como o abastecimento de água, a agricultura, a pesca, a geração de energia elétrica, além de ser lar de mais de 15 mil espécies de plantas e duas mil espécies de animais, muitas destas em risco de extinção, sendo uma das regiões com maior biodiversidade do planeta. Apesar de toda essa importância, restam apenas 12,4% da floresta que existia originalmente.

A Fundação Nacional do Índio (FUNAI, 2019) define que os territórios indígenas são:

uma porção do território nacional, de propriedade da União, habitada por um ou mais povos indígenas, por ele(s) utilizada para suas atividades produtivas, imprescindível à preservação dos recursos ambientais necessários a seu bem-estar e necessária à sua reprodução física e cultural, segundo seus usos, costumes e tradições. Trata-se de um tipo específico de posse, de natureza originária e coletiva, que não se confunde com o conceito civilista de propriedade privada.

De acordo com o Decreto nº 4.887, de 2003, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) é a autarquia competente, na esfera federal, pela titulação dos territórios quilombolas. E, segundo a instituição, as terras quilombolas são:

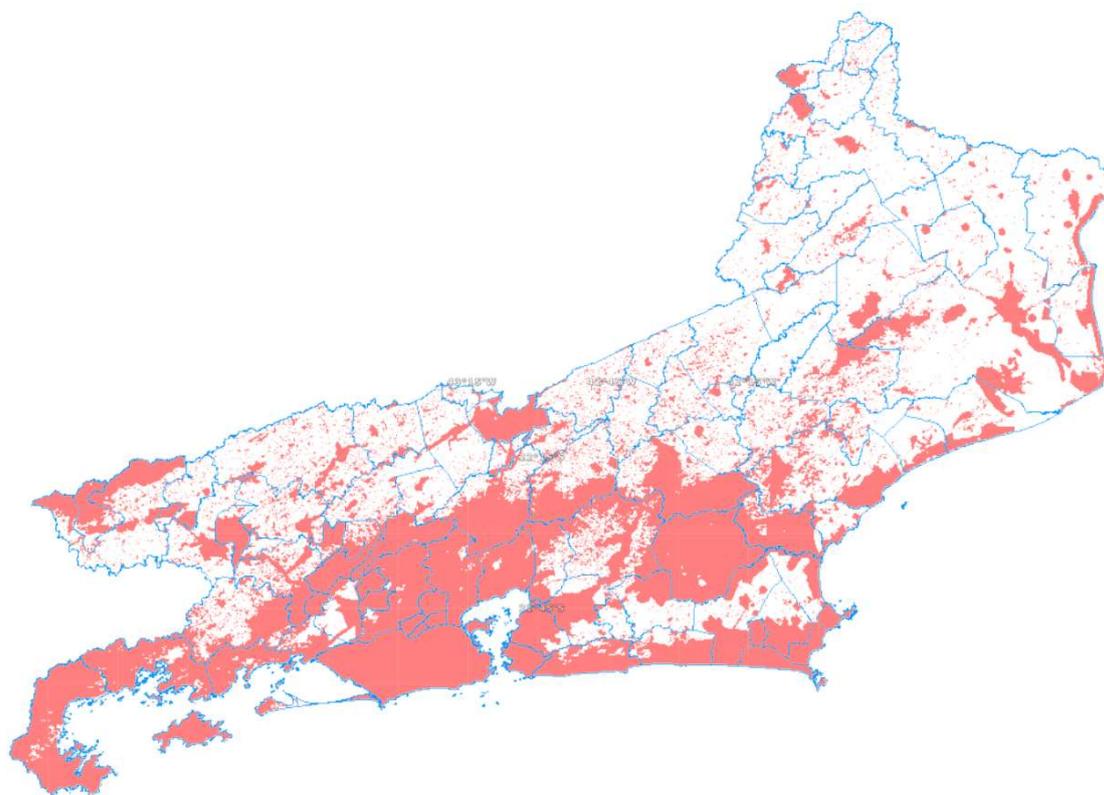
ocupadas por remanescentes das comunidades dos quilombos são aquelas utilizadas para a garantia de sua reprodução física, social, econômica e cultural. Como parte de uma reparação histórica, a política de regularização fundiária de Territórios Quilombolas é de suma importância para a dignidade e garantia da continuidade desses grupos étnicos.

Azevêdo (2016) afirma que zonas urbanas devem ser preservadas com o objetivo de cumprir com sua função social. Por isto, estas regiões devem ser consideradas como inapropriadas para a instalação da usina solar.

A hidrografia é estabelecida pelo Código Florestal (lei 12.651/2012), no qual atribui Área de Preservação Permanente os seguintes itens:

- Cursos d'água;
- Lagos;
- Lagoas;
- Reservatórios artificiais;
- Nascentes;

O mapa 10 mostra as zonas do Estado do Rio de Janeiro que são inaptas de acordo com os critérios citados anteriormente para a localização de uma usina solar fotovoltaica.



**Mapa 10: Zonas Excluídas (Vermelho)**  
**Fonte: O Autor**

A seguir serão detalhados cada um dos fatores de localização selecionados.

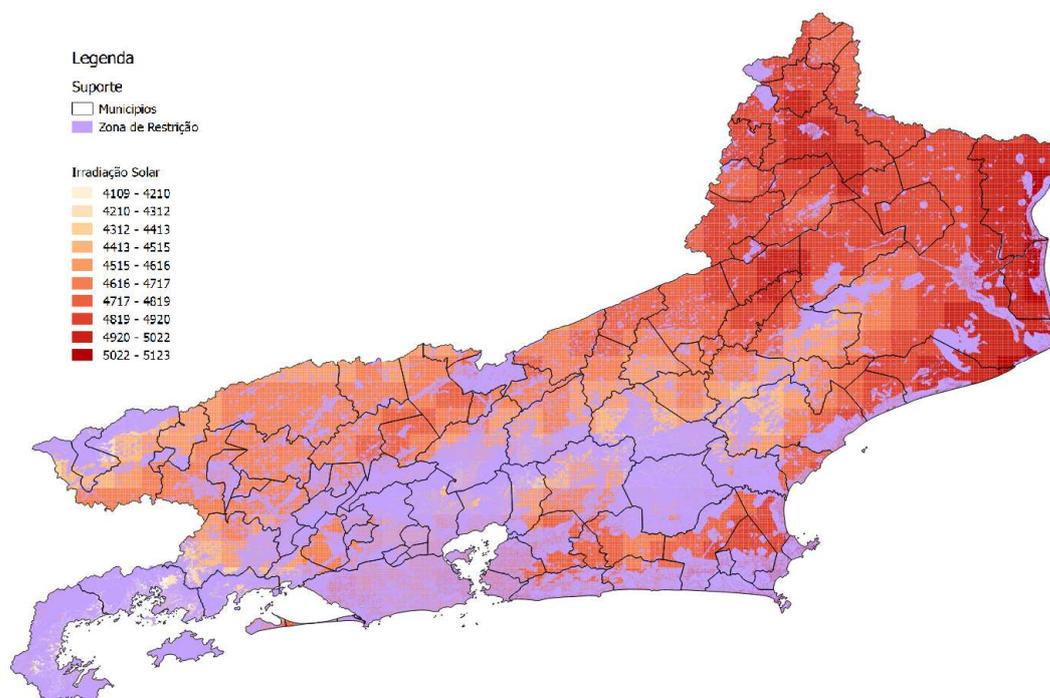
#### **4.2.4. IRRADIAÇÃO SOLAR**

A potência gerada por um módulo fotovoltaico é diretamente proporcional a irradiação incidente, conforme a equação 1 mostra. Com o aumento da irradiação incidente um número maior de fótons é absorvido produzindo mais corrente, o que eleva a potência produzida (SHARMA & CHANDEL, 2013).

Concomitantemente, o Banco Mundial (2011) afirma que altos índices de irradiação solar é a consideração mais básica que há para se considerar ao desenvolver um projeto de usina solar fotovoltaica em uma região. Este entendimento está afinado ao de Lubitz (2011) que destaca que a irradiação solar é o fator mais importante a ser analisado. Portanto, dada uma determinada área, quanto maior a irradiação solar maior é o potencial de geração fotovoltaica de energia elétrica (ARNETTE *et al.*, 2011).

Em todos os artigos analisados a irradiação solar foi considerada um fator importante para a localização da usina solar fotovoltaica e, na maior parte deles, foi considerado o fator mais importante. Em alguns casos com aproximadamente 50% da importância no método analítico de hierarquias. Por estes motivos, a irradiação solar foi selecionada como um dos fatores de localização a ser analisado nesta dissertação.

Analisando o mapa 11, que retrata os níveis de irradiação solar global (Wh/m<sup>2</sup>.dia) no Estado do Rio de Janeiro, percebe-se que os valores variam de cerca de 4,1 até 5,1 wh/m<sup>2</sup>.dia. Os valores máximos ocorrem na região nordeste (município de Campos dos Goytacazes e arredores) e os mínimos na região central, onde se encontram as áreas de maior altitude (Serra do Mar, especificamente regiões de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo).



**Mapa 11: Irradiação Solar**  
**Fonte: O Autor**

#### 4.2.5. TEMPERATURA

Dentre os fatores de perda para a geração de energia solar fotovoltaica destaca-se a redução da eficiência elétrica das células e módulos fotovoltaicos com o aumento da temperatura de operação (SIMIONI, 2017). Portanto quanto maior a temperatura ambiente, maior a temperatura dos módulos e, por consequência, menor sua eficiência (RADZIEMSKA, 2003, HUL *et al.*, 2015 e YELMEN *et al.*, 2016). Os gráficos 21

mostram o efeito da temperatura na perda da eficiência em diversos módulos fotovoltaicos.

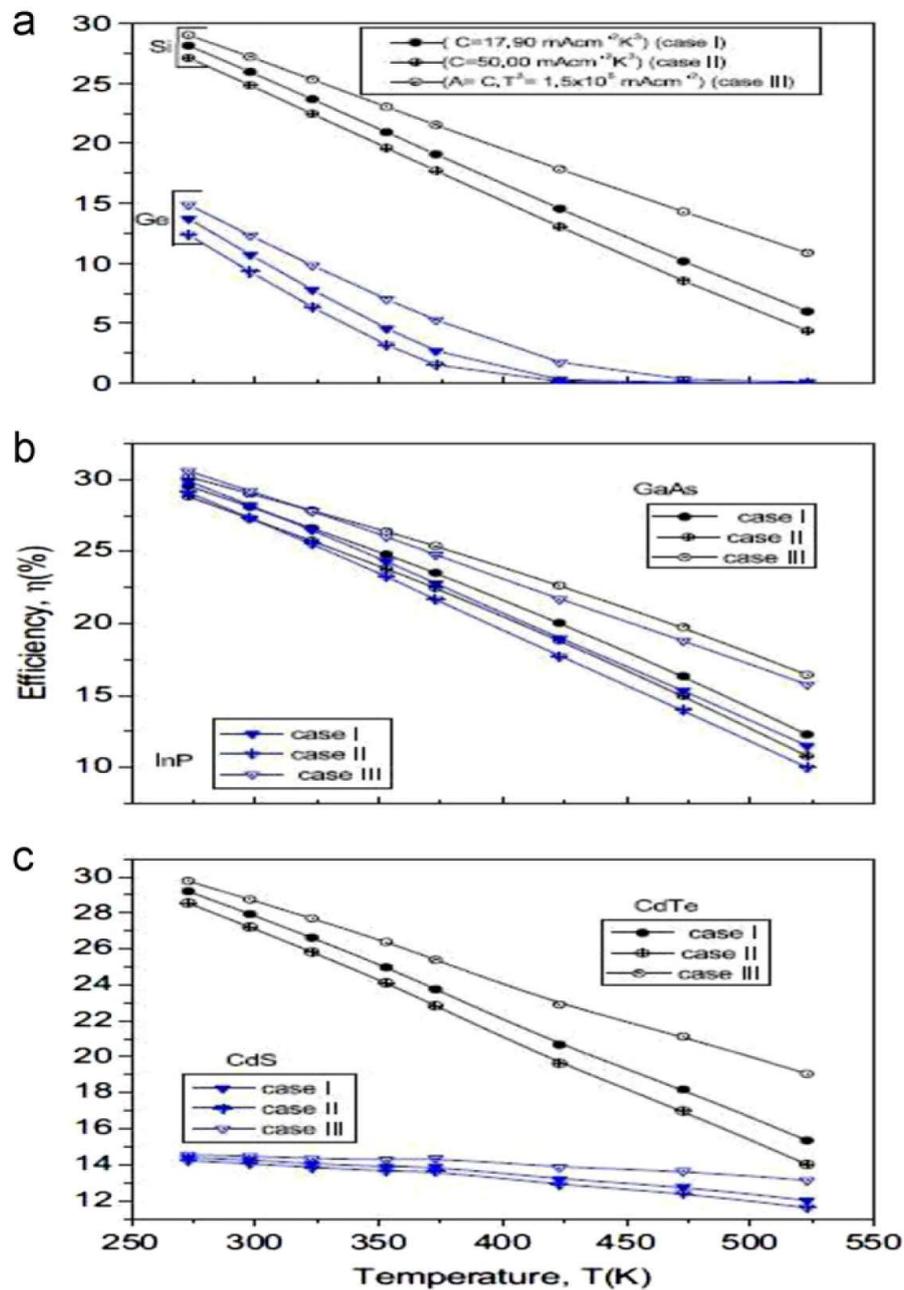


Gráfico 21: Temperatura x Eficiência  
 Fonte: Tyagi *et al.* (2013)

Analisando o gráfico 21 percebe-se claramente que independentemente do tipo de material do módulo fotovoltaico há uma perda significativa de eficiência com o aumento da temperatura dos mesmos.

Yerli *et al.* (2010) afirma em seu artigo “*Effect of Derating Factors on Photovoltaics under Climatic Conditions of Istanbul*” que essa perda de eficiência ocorre devido a perdas do calor, isto é, ao invés do painel solar converter a energia solar em eletricidade somente, ele também perde uma parte desse potencial, gerando calor, reduzindo, desta maneira, a sua eficiência.

A equação 3 mostra a eficiência elétrica real ( $\eta_c$ ) sob a temperatura de operação ( $T_c$ ) quando comparada com a eficiência elétrica sob a temperatura de referência ( $\eta_{ref}$ ), sob a temperatura de referência ( $T_{ref}$ ). Onde  $\beta_{ref}$  é o coeficiente de temperatura.

$$\eta_c = \eta_{ref} [1 - \beta_{ref}(T_c - T_{ref})]$$

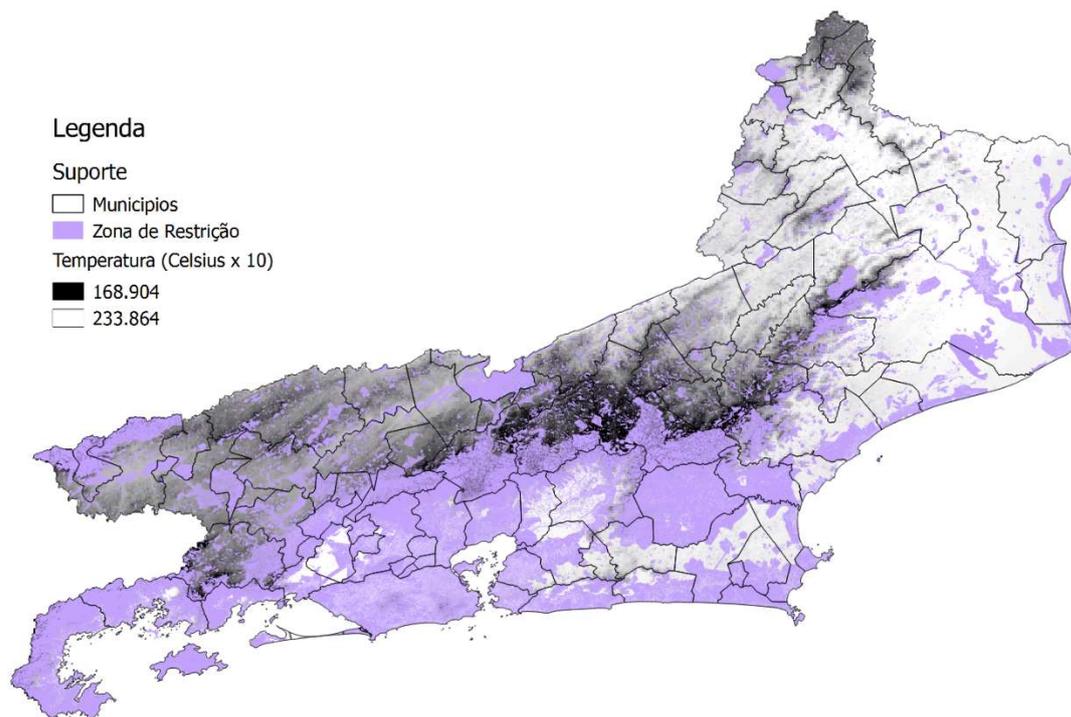
*Equação 3: Relação entre temperatura e eficiência*

Percebe-se, analisando a equação 3, que quanto maior a temperatura de operação do módulo, menor é a eficiência operacional. Isto significa que quanto maior a temperatura do módulo, mais ela se distancia da temperatura de referência e, portanto, o módulo fotovoltaico se torna mais ineficiente.

Além das perdas de eficiência, altas temperaturas de operação influenciam na degradação das células fotovoltaicas (SHARMA & CHANDEL, 2013).

Diversos artigos analisados consideraram a temperatura ambiente como um fator importante para a localização de usinas solares fotovoltaicas e, alguns dos que não consideraram, são regiões com área relativamente pequena e, portanto, possivelmente com a temperatura bastante uniforme em seu território. Considerando a área analisada nesta dissertação e, levando em conta os a análise dos artigos, optou-se por selecionar a temperatura como um dos fatores de localização a ser analisado.

O mapa 12, a seguir, retrata a temperatura média em graus Célsius x 10 por Município do Rio de Janeiro onde observa-se uma distinção clara entre a região de serra do Rio de Janeiro e as baixadas.



**Mapa 12: Temperatura**  
**Fonte: O Autor**

#### **4.2.6. PRÓXIMIDADE DE LINHAS DE TRANSMISSÃO**

Segundo o Banco Mundial (2011), a conexão à rede é requerida para interligar a usina solar aos consumidores de energia. Portanto, quanto mais próximo às redes de transmissão, menor será o custo de fazer essa ligação entre a usina e os consumidores.

Azêvedo (2016) afirma que os quesitos para a ligação da usina solar com o sistema elétrico são semelhantes aos das outras usinas termoelétricas. É, portanto, crucial utilizar de linhas com capacidade de carga suficiente e ou subestações o mais próximo possível da usina solar, visto que os custos de construção de novas linhas de distribuição são, via de regra, elevados e dependem do nível de voltagem da linha e de seu comprimento.

Relva *et al.* (2017, p.21), afirma que

A logística de transmissão de energia elétrica é extremamente dinâmica, a se levar em conta a limitação encontrada no armazenamento deste tipo de energia. A transmissão deve assegurar que a energia possa ser transferida dos centros de geração aos centros de demanda, garantindo o abastecimento contínuo e imediato em resposta às variações na carga requerida pelo sistema.

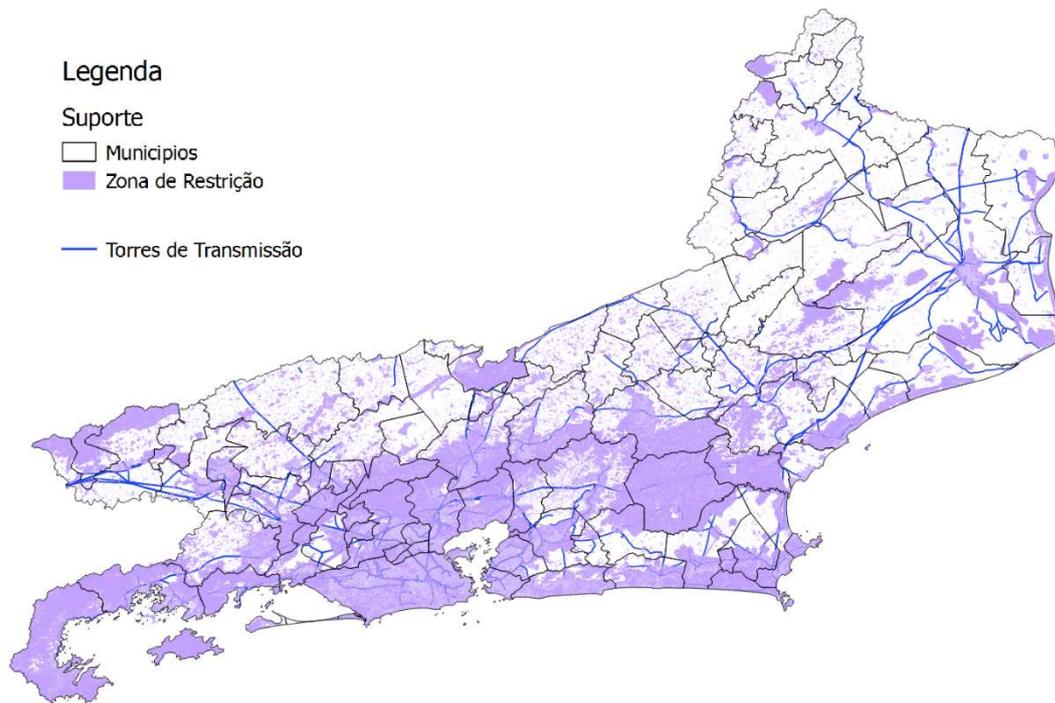
A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2005) afirma no documento “Relatório do Programa para Orçamento de Linhas de Transmissão – OLT” que há diversos custos associados na construção de uma linha de transmissão, dentre os quais destacam-se:

- Materiais: estruturas, estais, fundação, cabo condutor, isoladores, aterramento, etc.
- Inspeção;
- Transporte e seguro;
- Almoxarifado.
- Construção;
- Serviços técnicos;
- Engenharia;
- Meio ambiente;
- Administrativos.

Vale destacar que a maior parte destes custos de construção e manutenção é diretamente proporcional ao comprimento da linha de transmissão (ANEEL, 2005). A título de exemplo, uma linha de transmissão de 138 KV tem um custo de 250 mil Reais por quilometro construído (ELIAS, 2015).

A proximidade de linhas de transmissão foi considerado um fator de localização de usinas solares fotovoltaicas importante em oito dos dez artigos analisados. Ele, desta maneira, foi selecionado para ser analisado pelos especialistas a serem entrevistados nesta dissertação de mestrado.

O mapa 13 mostra as linhas de transmissão que existem atualmente no Estado do Rio de Janeiro.



**Mapa 13: Linhas de Transmissão**  
**Fonte: O Autor**

#### **4.2.7. PROXIMIDADE A INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE**

Outro fator relevante na implantação das usinas solares é a facilidade de acesso, particularmente, pela necessidade de transportar equipamentos. Deste modo, a proximidade de infraestrutura de transporte ao local de implantação da usina é um requisito relevante e poderá apresentar reflexos no custo geral de operação e construção (AZEVEDO, 2016). Além disso, a proximidade a infraestrutura de transporte já existente evita custos adicionais da construção dessa infraestrutura em si (ALY *et al.*, 2017).

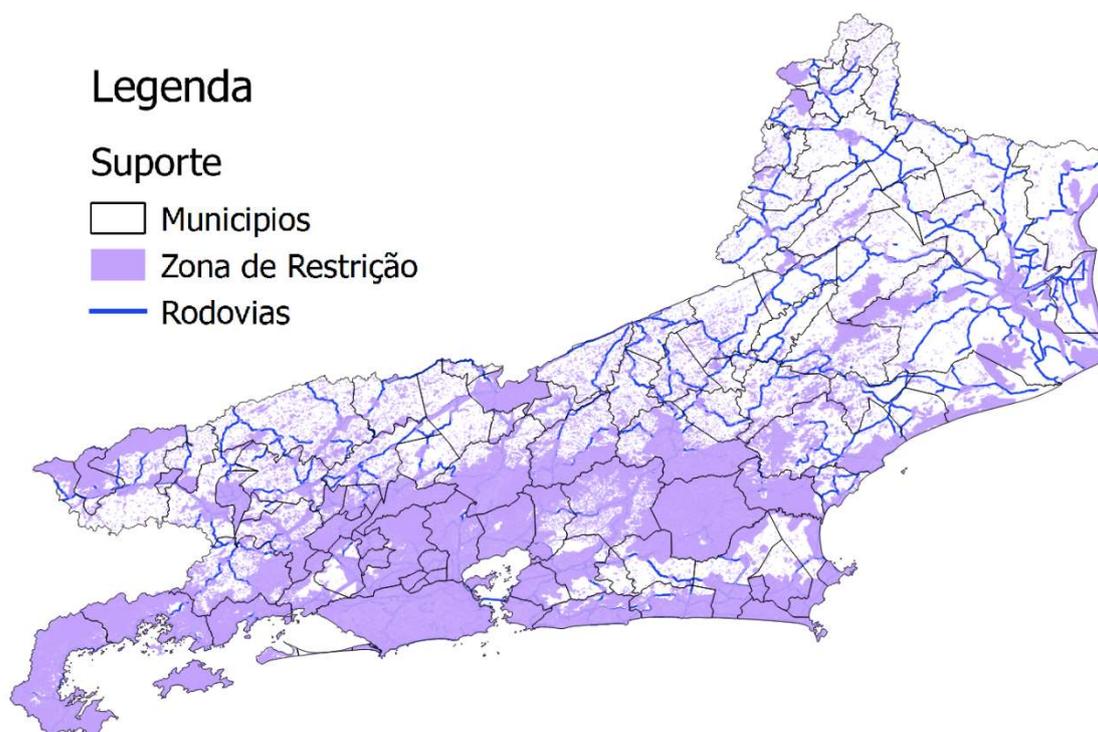
O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) estima, em um relatório de 2009, que o custo para se construir uma rodovia de pista simples custa em média cerca de 1,9 milhão por quilometro, variando entre 1,5 milhão no limite inferior e 2,3 milhões no limite superior. Já a construção de cada quilometro de ferrovias custa entre 4,1 milhões e 8,1 milhões, dependendo do terreno.

Segundo a Confederação Nacional dos Transportes (CNT), o Estado do Rio de Janeiro tem cerca de 7,3 mil quilômetros de rodovias pavimentadas e 15 mil quilômetros de não pavimentadas, totalizando cerca de 22 mil quilômetros de rodovias (CNT, 2018). Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o Brasil apresenta, em comparação com a sua dimensão territorial, uma baixa densidade de linhas férreas. A

extensão da malha é de aproximadamente 30 mil quilômetros e dedicada majoritariamente ao transporte de minérios e grãos. Já o Estado do Rio de Janeiro possui 1,2 mil quilômetros de ferrovias (IPEA, 2009). Devido a extensão e a flexibilidade da malha rodoviária no Estado do RJ será considerado apenas a proximidade de rodovias para a análise de infraestrutura de transporte. Esta abordagem também foi feita em diversos artigos analisados.

A proximidade da infraestrutura de transporte foi considerada um fator de localização de usinas solares fotovoltaicas importante em nove dos dez artigos analisados, Por este motivo foi selecionado para ser analisado pelos especialistas que responderam o questionário nesta dissertação.

O mapa 14 mostra as rodovias já construídas no Estado do Rio de Janeiro.



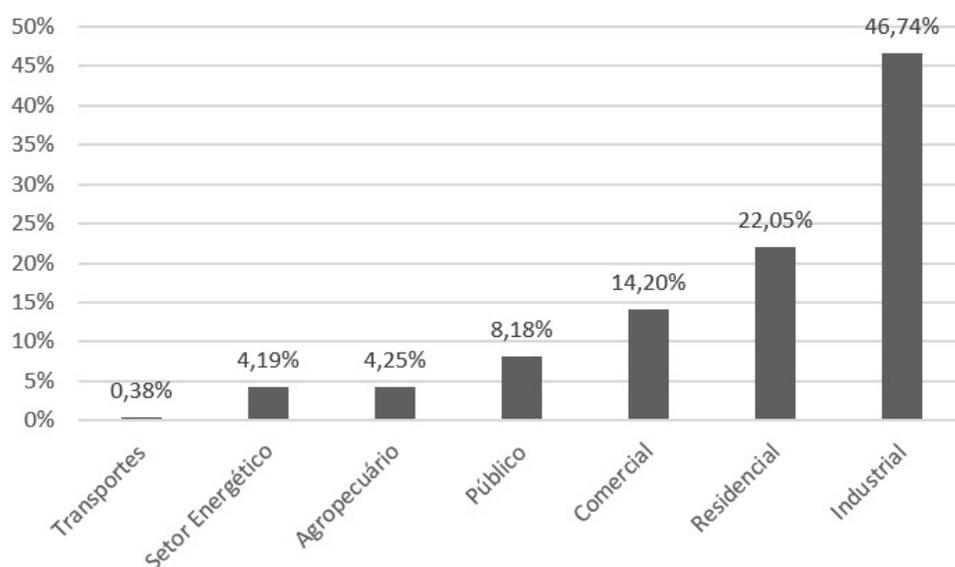
**Mapa 14: Malha Rodoviária**  
**Fonte: O Autor**

#### **4.2.8. PROXIMIDADE DE CENTROS URBANOS**

Segundo a EPE (2018 - E) em seu relatório de “Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica”, a geração de energia elétrica distribuída pode ser localizada mais próxima a centros urbanos, isto é, próximo aos locais que demandam mais energia elétrica, o que traz o benefício da redução das perdas elétricas.

Pereira *et al* (2017) afirma no “Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição” que o valor atual de perdas no sistema elétrico anual é cerca de 15%, com projeção de redução para 14% até 2050. Entre os fatores que contribuem para essas perdas estão a distância entre as grandes usinas e os principais centros de consumo (perdas na transmissão e distribuição) e perdas associadas ao desvio de energia (consumidor que faz a utilização da energia elétrica sem que esta seja contabilizada no sistema).

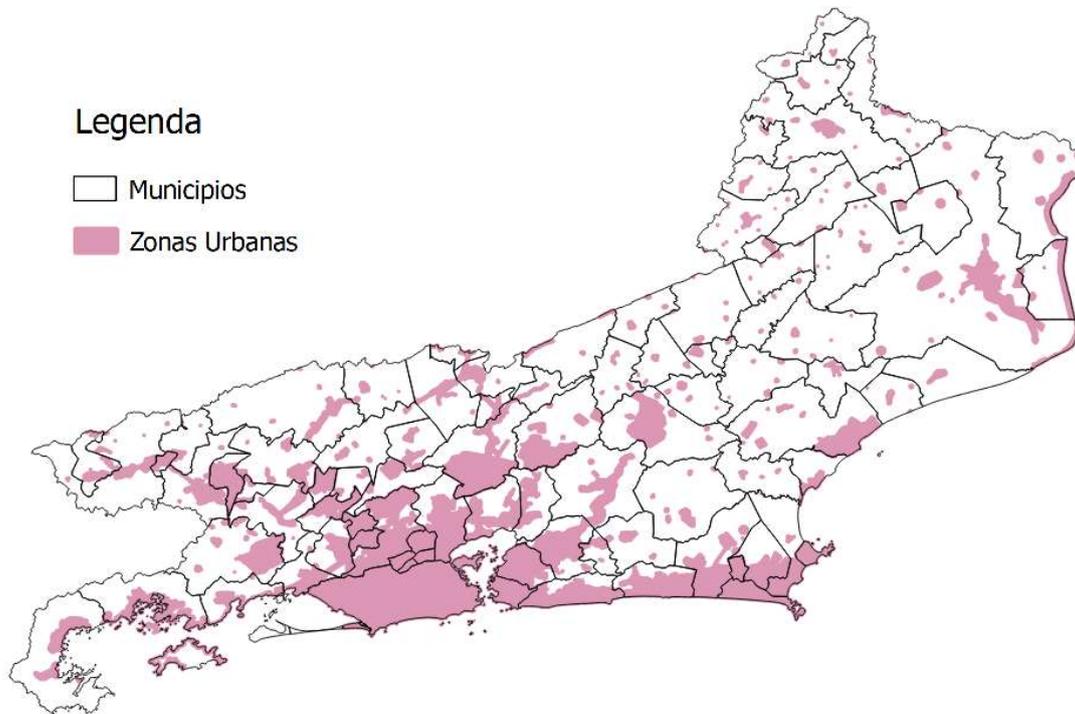
A proximidade dos centros urbanos foi considerada como um fator de localização de usinas solares fotovoltaicas importante em seis dos dez artigos analisados. Vale ressaltar que nestes artigos eles consideraram os centros urbanos como grandes centros consumidores de energia elétrica, por isto a importância da proximidade da usina solar fotovoltaica. O gráfico 22 mostra o consumo de energia elétrica por setor.



**Gráfico 22: Consumo de Energia Elétrica por Setor**  
Fonte: ANEEL (2008)

Analisando o gráfico 22 percebe-se que grande parte da demanda de energia elétrica vem de atividades majoritariamente urbanas: setor público, residências, comércio e indústrias e, conforme foi mencionado anteriormente Zahedi (2011) afirma que as usinas solares fotovoltaicas devem ser construídas mais próximas aos centros urbanos, possibilitando uma perda da energia elétrica menor, pois estes são os maiores consumidores de energia elétrica. Dos artigos revisados, 60% deles considerou a proximidade de centros urbanos como um fator relevante por esse motivo ela foi selecionada para ser analisado pelos especialistas a serem entrevistados nesta dissertação de mestrado

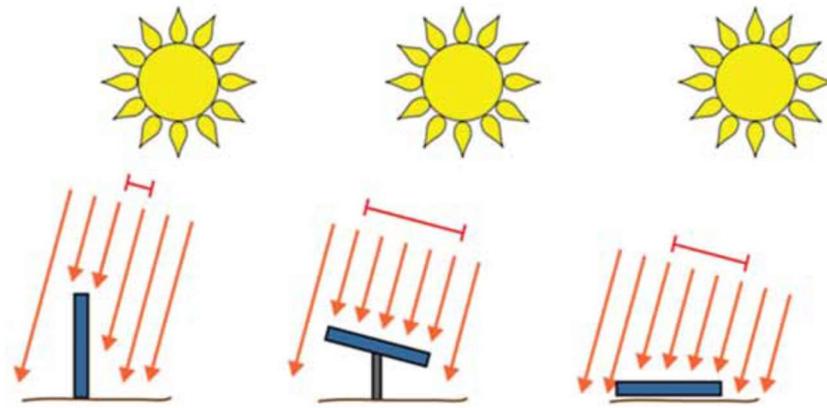
O mapa 15 mostra os setores censitários classificados como urbanos do IBGE no Estado do Rio de Janeiro. Neste ponto vale ressaltar que é necessária a proximidade às zonas urbanas, mas as mesmas são zonas de exclusão, isto é, locais onde a usina solar fotovoltaica não poderá se localizar.



**Mapa 15: Setores Censitários Urbanos**  
**Fonte: O Autor**

#### **4.2.9. INCLINAÇÃO DO TERRENO E AZIMUTE**

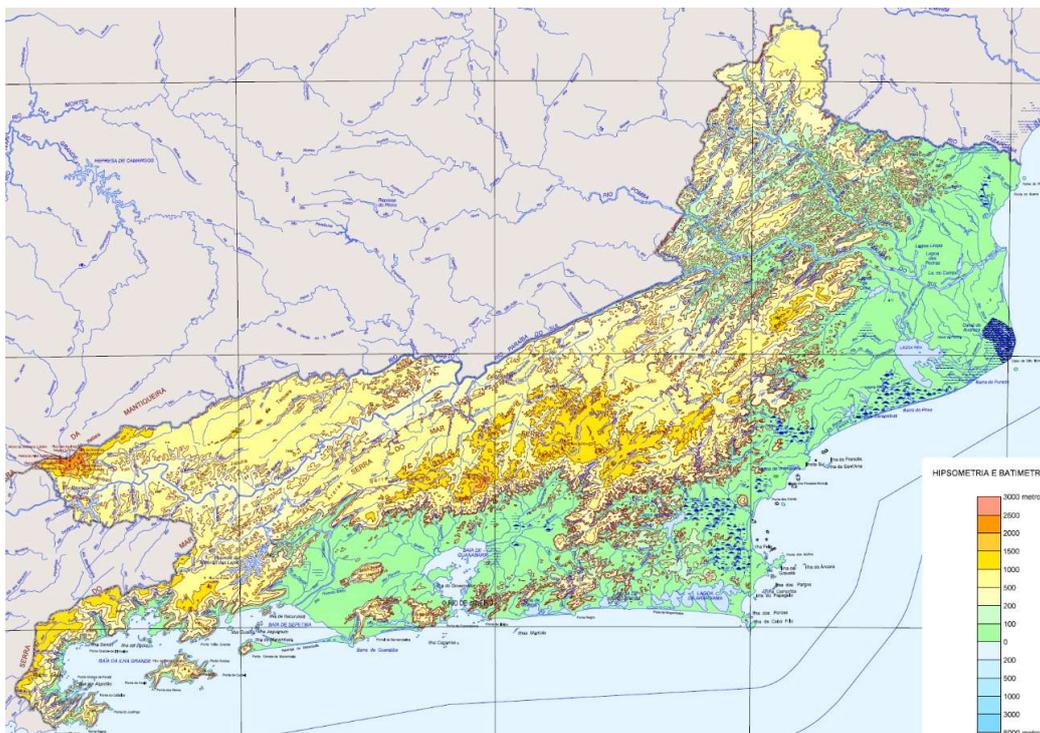
O Banco Mundial (2011) afirma que no hemisfério Sul os painéis devem ser voltados para o norte para receber a maior radiação solar possível. Isto ocorre porque quando os painéis estão inclinados para o norte eles ficam de frente para o sol uma quantidade de tempo maior. A figura 10 mostra esse efeito.



**Figura 10: Inclinação e Azimute**  
**Fonte: Banco Mundial (2011)**

O terreno plano ainda reduz significativamente os custos de instalação e manutenção da usina solar fotovoltaica (Banco Mundial, 2011). Desta maneira, os painéis solares devem se localizar preferencialmente em regiões planas e, caso não seja possível, a segunda melhor opção seria em terrenos inclinados para a direção Norte.

O mapa 16 mostra o relevo do Estado do Rio de Janeiro. Através de uma análise rápida percebe-se a heterogeneidade do terreno, com o litoral razoavelmente plano e com baixas altitudes e o interior montanhoso. Segundo o CEPERJ (2019), o relevo fluminense apresenta três unidades: as terras altas, as baixadas e os maciços costeiros.

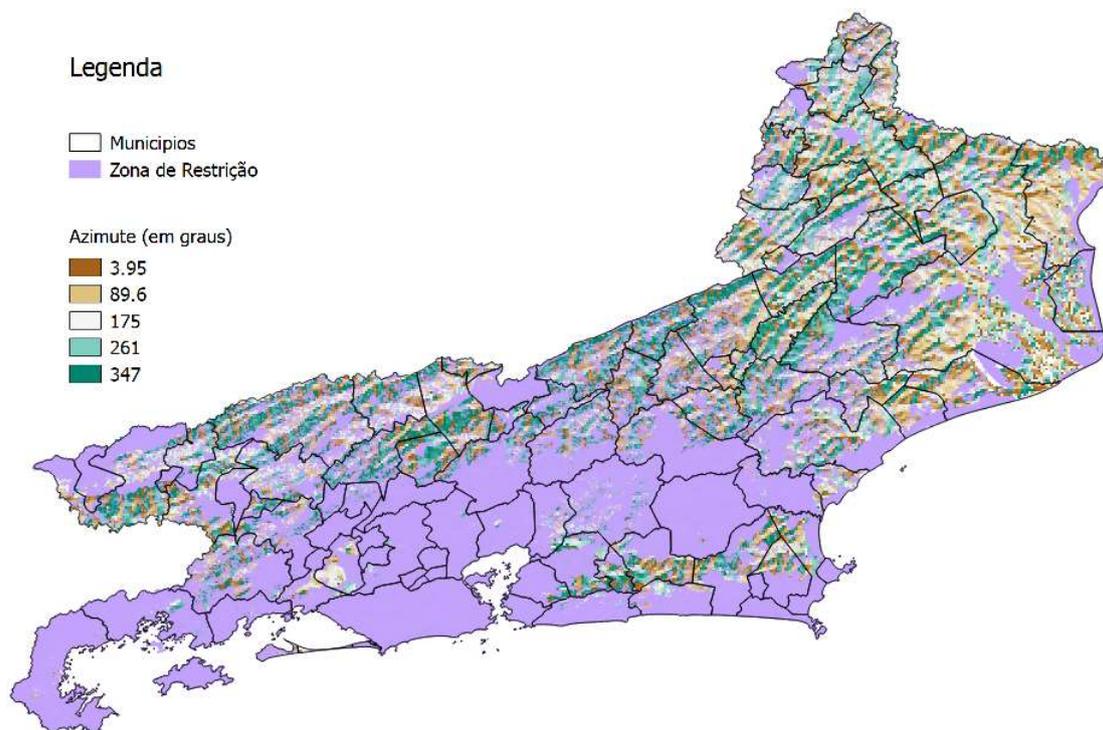


**Mapa 16: Relevo do Rio de Janeiro**  
**Fonte: IBGE (2019)**

As terras altas compreendem o planalto, onde se encontram as maiores altitudes do Estado. Nos planaltos, há diversas áreas de relevo mais acidentado, as baixadas estão situadas entre o planalto e o oceano, entremeando-se também pelas colinas e maciços costeiros (CEPERJ, 2019).

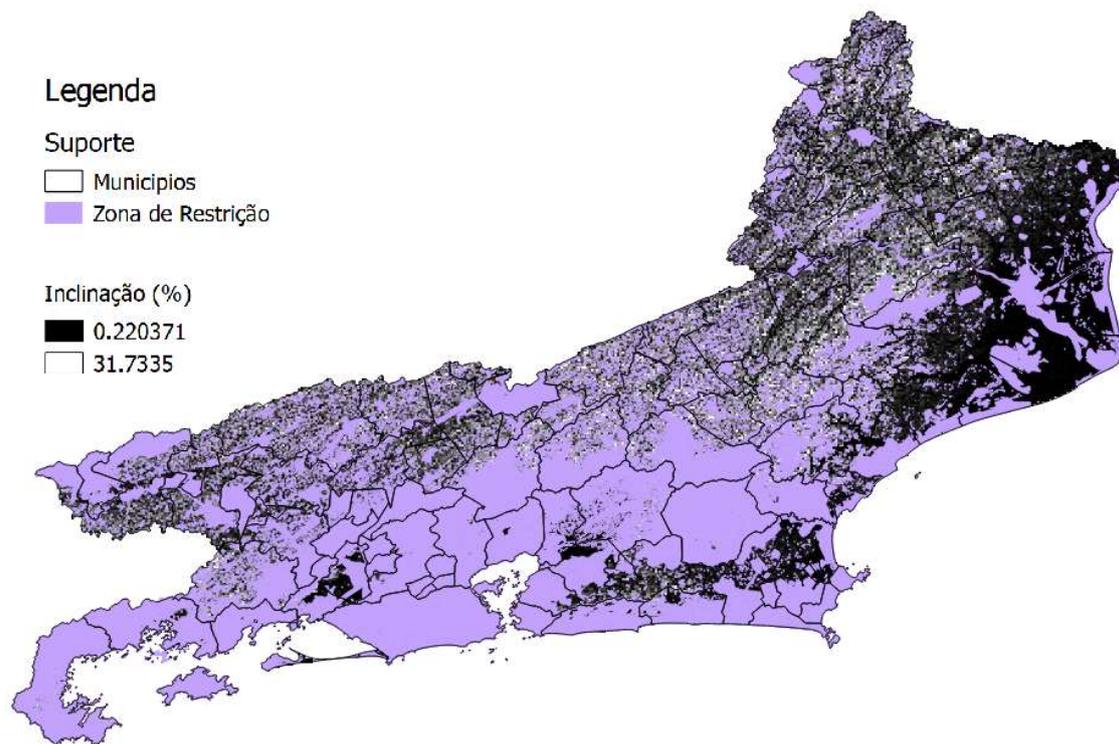
Analisando os artigos a inclinação do terreno foi considerado como um fator importante em todos eles, já o azimute em cinco dos dez analisados. Por estes motivos eles serão considerados para análise dos especialistas.

O mapa 17 mostra o azimute, em graus, para o Estado do Rio de Janeiro.



**Mapa 17: Azimute**  
**Fonte: O Autor**

O mapa 18 mostra a inclinação do terreno, em graus, para o Estado do Rio de Janeiro.



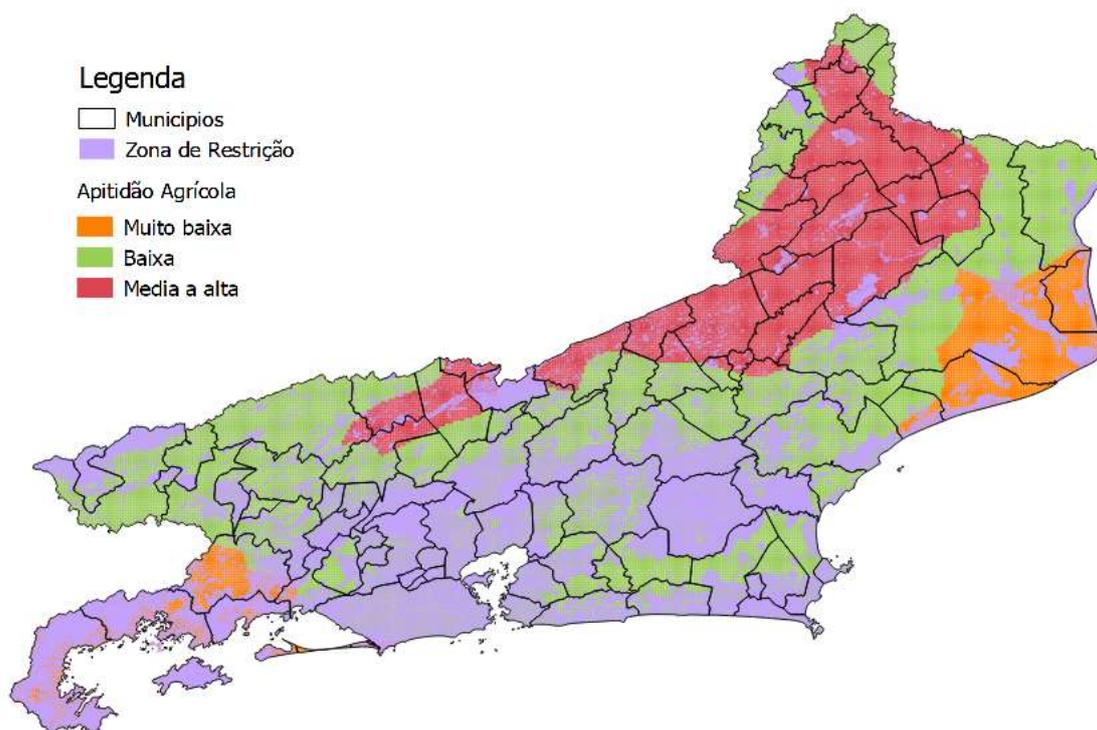
**Mapa 18: Inclinação do Terreno**  
**Fonte: O Autor**

#### **4.2.10. UTILIZAÇÃO DA TERRA (APTIDÃO AGRÍCOLA)**

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999) classifica o potencial agrícola baseado em critérios referentes ao solo, relevo, clima, vegetação e geologia. O Banco Mundial (2011) corrobora afirmando que a usina deve ser localizada em um terreno com baixo valor. A revisão dos artigos também sugere que o ideal é que ela não deve ser localizada em áreas com elevado potencial agrícola.

Analisando os artigos, a utilização da terra foi considerado como um fator importante em sete dos casos analisados. Por estes motivos ele foi selecionado para a análise da sua importância pelos especialistas.

O mapa 19 mostra a fertilidade do solo no Estado do Rio de Janeiro, onde é possível reparar que não há regiões com elevada fertilidade, com as melhores regiões ficando com a classificação de média a alta, segundo o Ministério do Meio Ambiente.



**Mapa 19: Fertilidade do Solo**  
**Fonte: O Autor**

### 4.3. OS QUESTIONÁRIOS APLICADOS

Neste tópico será analisado o questionário aplicado aos especialistas, a fim de verificar o grau de importância que eles atribuíram aos fatores de localização.

Bertolino e Stringini (1996) afirmam que alguns cuidados devem ser tomados com relação a aplicação de um questionário, em especial porque as questões não podem ser ambíguas e devem ser de fácil entendimento.

Com relação a escolha de especialistas, Belchior (1997) afirma que a vantagem é que eles conhecem a força potencial e as deficiências do objeto julgado, portanto sabem como estudá-las.

Os questionários aplicados para os especialistas foram analisados para a determinação do grau de importância (crítico, condicionante, pouco condicionante ou irrelevante) dos fatores de localização previamente selecionados.

O instrumento de pesquisa utilizado foi um questionário aplicado via “Google Form” majoritariamente com perguntas fechadas, exceto o e-mail, nome, uma breve descrição da experiência em energia solar fotovoltaica e a indicação de novos contatos (metodologia da bola de neve). O questionário utilizado pode ser encontrado no apêndice I.

### 4.3.1. METODOLOGIA PARA QUALIFICAR O INFORMANTE

Os especialistas são diferentes em diversos quesitos e para classifica-los optou-se por dois em específico: titulação e anos de experiência com energia solar. A lógica fuzzy foi utilizada para gerar o grau de pertinência no conjunto “especialista em energia solar fotovoltaica”.

O modelo escolhido para determinar o grau de pertinência no conjunto especialista em energia solar fotovoltaica foi baseado nos trabalhos de Moré (2004), Grecco (2012) e Belchior (1997). Eles classificaram os especialistas através de um Questionário de Identificação do Perfil do Especialista (QIPE) com o objetivo de calcular o peso relativo de cada um desses especialistas de acordo com os mais diversos critérios. A diferença entre os trabalhos analisados e a pesquisa que ora se apresenta é que aqueles fizeram entrevistas pessoalmente e neste trabalho os questionários foram transmitidos via e-mail. Desta maneira, de acordo com Vasconcellos (2007), há a necessidade de se aplicar um questionário menor em comparação com a entrevista presencial.

A tabela 20 mostra o grau de pertinência de acordo com os quesitos escolhidos.

**Tabela 20: Grau de Pertinência no Conjunto “Especialista em Energia Solar”**

Titulação	Tempo de Experiência	Grau de Pertinência
Nível Médio	1 até 4 anos	0,2
Nível Médio	5 até 8 anos	0,35
Nível Médio	9 até 12 anos	0,5
Nível Médio	mais de 12 anos	0,6
Nível Superior	1 até 4 anos	0,35
Nível Superior	5 até 8 anos	0,5
Nível Superior	9 até 12 anos	0,65
Nível Superior	mais de 12 anos	0,75
Mestrado	1 até 4 anos	0,5
Mestrado	5 até 8 anos	0,65
Mestrado	9 até 12 anos	0,8
Mestrado	mais de 12 anos	0,9
Doutorado ou Pós-doutorado	1 até 4 anos	0,6
Doutorado ou Pós-doutorado	5 até 8 anos	0,75
Doutorado ou Pós-doutorado	9 até 12 anos	0,9
Doutorado ou Pós-doutorado	mais de 12 anos	1

Fonte: O Autor

Com isso, cada informante terá o seu grau de pertinência definido e, desta maneira, será possível calcular a sua importância relativa para a determinação da localização da usina solar fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro.

#### **4.3.2. PERFIL DO INFORMANTE E ANÁLISE DAS RESPOSTAS**

A coleta de dados ocorreu entre janeiro e março de 2020. Durante esse período foram, ao total, 55 e-mails enviados e 15 respostas recebidas, vale ressaltar que a proposta inicial era obter ao menos cinco respostas de especialistas, sendo 15 um número três vezes superior.

O questionário foi enviado utilizando a ferramenta “Google Forms” e chegou-se ao seguinte perfil dos participantes:

- Uma pessoa é do sexo feminino e o restante é do masculino.
- Nove possuem doutorado ou pós-doutorado, quatro possuem mestrado e duas têm nível superior;
- Oito têm de 5 até 8 anos de experiência, quatro de 9 até 12 anos e dois tem mais de 12 anos de experiência e apenas uma têm experiência de 1 até 4 anos em energia solar fotovoltaica.
- Seis trabalham em empresas ou órgãos públicos não ligados a educação, nomeadamente a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPI)
- Duas trabalham em empresas privadas, nomeadamente a WEG e Sunrise Solar Tech.
- O restante são professores e pesquisadores que trabalham em universidades públicas (UFRJ e UFJF)

Utilizando o modelo exposto na tabela 20 foi possível determinar o grau de pertinência no conjunto “Especialista em Energia Solar Fotovoltaica” para cada um dos informantes, conforme pode ser observado na tabela 21.

**Tabela 21: Perfil dos Participantes**

#	Titulação	Tempo de experiência com energia solar	Fuzzy
1	Doutorado ou Pós-doutorado	5 até 8 anos	0,75
2	Mestrado	5 até 8 anos	0,65
3	Nível Superior	9 até 12 anos	0,65
4	Mestrado	5 até 8 anos	0,65
5	Doutorado ou Pós-doutorado	9 até 12 anos	0,9
6	Doutorado ou Pós-doutorado	mais de 12 anos	1
7	Doutorado ou Pós-doutorado	mais de 12 anos	1
8	Doutorado ou Pós-doutorado	5 até 8 anos	0,75
9	Mestrado	5 até 8 anos	0,65
10	Doutorado ou Pós-doutorado	5 até 8 anos	0,75
11	Doutorado ou Pós-doutorado	5 até 8 anos	0,75
12	Mestrado	5 até 8 anos	0,65
13	Doutorado ou Pós-doutorado	9 até 12 anos	0,9
14	Nível Superior	1 até 4 anos	0,35
15	Doutorado ou Pós-doutorado	mais de 12 anos	1

**Fonte: O Autor**

Analisando a tabela 21 percebe-se que os graus de pertinência no grupo de especialistas em energia solar variaram de 0,2 até 1, com média e mediana em 0,65.

A tabela 22 mostra, resumidamente, as respostas de cada um dos participantes com relação ao grau de importância dos fatores de localização selecionados.

**Tabela 22: Respostas dos Participantes**

#	Irradiação solar	Inclinação do terreno	Orientação do terreno (azimute)	Temperatura	Acessibilidade do local	Proximidade a centros urbanos (demanda)	Proximidade a infraestrutura de transmissão	Aptidão agrícola do terreno
1	Crítico	Condicionante	Crítico	Condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante
2	Crítico	Condicionante	Condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Irrelevante	Condicionante	Pouco condicionante
3	Crítico	Crítico	Condicionante	Condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Crítico	Irrelevante
4	Crítico	Crítico	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Crítico	Irrelevante	Crítico	Condicionante
5	Crítico	Irrelevante	Irrelevante	Crítico	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
6	Condicionante	Irrelevante	Pouco condicionante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Condicionante	Irrelevante
7	Crítico	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante
8	Crítico	Pouco condicionante	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Crítico	Condicionante
9	Crítico	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante	Crítico	Pouco condicionante
10	Pouco condicionante	Crítico	Irrelevante	Pouco condicionante	Crítico	Crítico	Crítico	Irrelevante
11	Condicionante	Crítico	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Condicionante	Irrelevante	Condicionante	Pouco condicionante
12	Crítico	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante	Crítico	Pouco condicionante	Condicionante	Condicionante
13	Crítico	Condicionante	Crítico	Crítico	Condicionante	Pouco condicionante	Condicionante	Condicionante
14	Condicionante	Crítico	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Crítico	Condicionante
15	Crítico	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante

Fonte: O Autor

#### 4.4. APLICAÇÃO AO MODELO COPPE-COSENZA FUZZY

Neste tópico será desenvolvida a matriz de relacionamentos de graus de pertinência do modelo COPPE-Cosenza, que relaciona a oferta de fatores de produção (do ótimo ao fraco) com a demanda desses fatores pela usina solar fotovoltaica (do crítico ao irrelevante).

Após este primeiro passo os questionários aplicados aos especialistas serão analisados e estes servirão para determinar a importância dos fatores de localização selecionados através da revisão dos artigos.

Em seguida, os níveis de fornecimento para cada um dos fatores de localização serão descritos. As classes dos fatores (níveis de fornecimento) foram agrupadas de acordo com os *Natural Breaks (Jenks)* para os que necessitam ser representados em forma numérica (por exemplo irradiação solar). Esta definição permite uma exposição apropriada do dado a partir da identificação de grupos de valores análogos e da maximização da diferença entre as classes (LONGLEY *et al.*, 2005).

#### 4.4.1. MATRIZ DE RELACIONAMENTO DE PERTINÊNCIAS

A matriz de relacionamentos de graus de pertinência fuzzy do modelo Coppe-Cosenza relaciona a oferta de fatores de produção com a demanda desses fatores pela usina solar fotovoltaica. Conforme apresentado anteriormente este é o principal componente para a formação da matriz de Possibilidades Locacionais (C). A tabela 23 demonstra esta relação.

**Tabela 23: Matriz de Agregação de Possibilidades**

		Oferta			
		Fraco	Regular	Bom	Ótimo
D e m a n d a	Irrelevante	0,01	0,04	0,07	0,1
	Pouco Condicionante	0,04	0,16	0,28	0,4
	Condicionante	0	0,28	0,49	0,7
	Crítico	0	0	0,7	1

Fonte: O Autor

Note que para os valores críticos a oferta mínima deve ser de bom para cima e para o condicionante deve ser de regular para cima. O modelo de matriz desenhado beneficia quando a oferta é superior ao da demanda, sendo que o maior benefício é quando o valor demanda crítica encontra a oferta ótima.

A seguir serão definidos o grau de importância (crítico, condicionante, pouco condicionante e irrelevante) para todos os fatores de localização selecionados para a determinação da usina solar fotovoltaica.

#### 4.4.2. IRRADIAÇÃO SOLAR

A irradiação solar, de acordo com o questionário aplicado, foi considerado um fator crítico para a determinação da localização de uma usina solar fotovoltaica no estado do Rio de Janeiro pela maior parte dos especialistas. A tabela 24 mostra a disposição dos especialistas com relação ao grau de relevância do fator de localização “irradiação solar”,

além da importância relativa desses especialistas no conjunto fuzzy “especialista em energia solar fotovoltaica”.

**Tabela 24: Grau de Relevância da Irradiação Solar – Análise dos Especialistas**

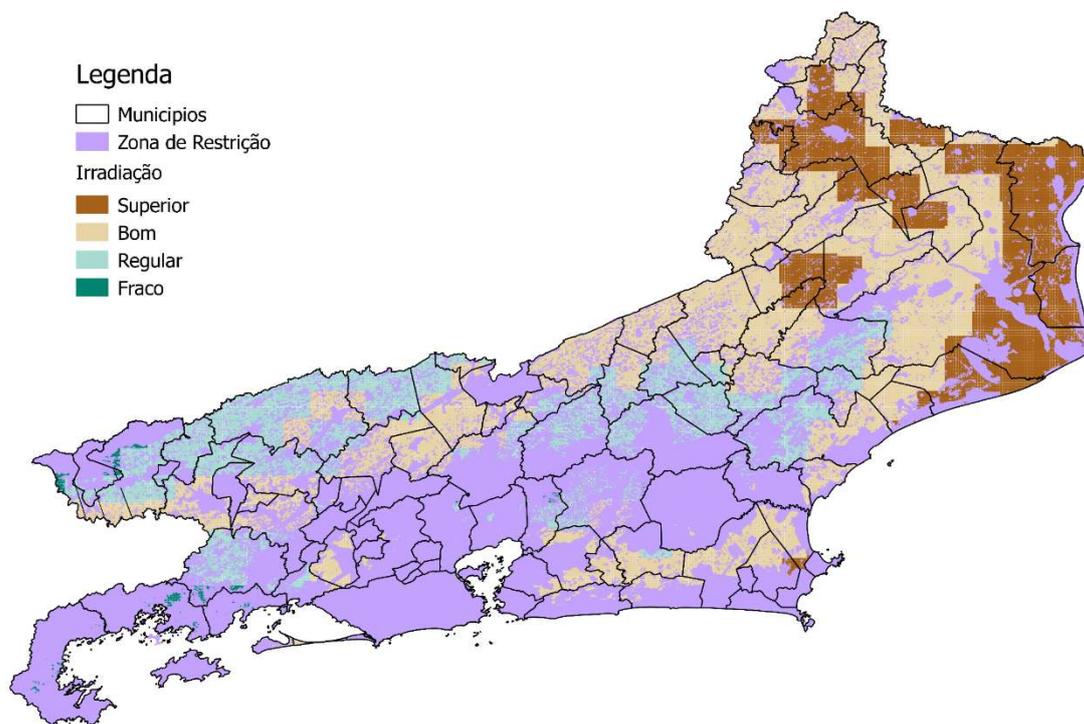
<b>Grau de Relevância</b>	<b>Número de Especialistas</b>	<b>Importância (%) dos Especialistas</b>
<b>Crítico</b>	11	75,00%
<b>Condicionante</b>	3	18,42%
<b>Pouco condicionante</b>	1	6,58%
<b>Irrelevante</b>	0	0,00%

**Fonte: O Autor**

Com base na revisão bibliográfica realizada definiu-se os níveis de fornecimento da matriz de oferta deste fator de localização, que podem ser categorizados da seguinte maneira:

- Superior para  $X \geq 4900$
- Bom para  $4900 > X \geq 4650$
- Regular para  $4650 > X \geq 4400$
- Fraco para  $X < 4400$ , onde  $X$  = irradiação global média (Wh/m<sup>2</sup>.dia)

O mapa 20 mostra o nível de fornecimento do fator de localização “irradiação solar”, baseado nas categorias exibidas anteriormente. Nele é possível perceber que o fornecimento “superior” se encontra somente na região Norte Fluminense, enquanto o “bom” e “regular” possuem uma distribuição mais heterogênea pelo estado. O nível de fornecimento “fraco” encontra-se majoritariamente nas zonas de restrição, assim como no Sul Fluminense.



**Mapa 20: Nível de Atendimento da Irradiação Solar**  
**Fonte: O Autor**

#### 4.4.3. TEMPERATURA MÉDIA

A temperatura média, de acordo com os questionários aplicados, foi considerado um fator pouco condicionante para a determinação da localização de uma usina solar fotovoltaica no estado do Rio de Janeiro pela maioria dos especialistas. A tabela 25 mostra a disposição dos especialistas com relação ao grau de relevância do fator de localização “temperatura média”, além da importância relativa desses especialistas no conjunto fuzzy “especialista em energia solar fotovoltaica”.

**Tabela 25: Grau de Relevância da Temperatura Média – Análise dos Especialistas**

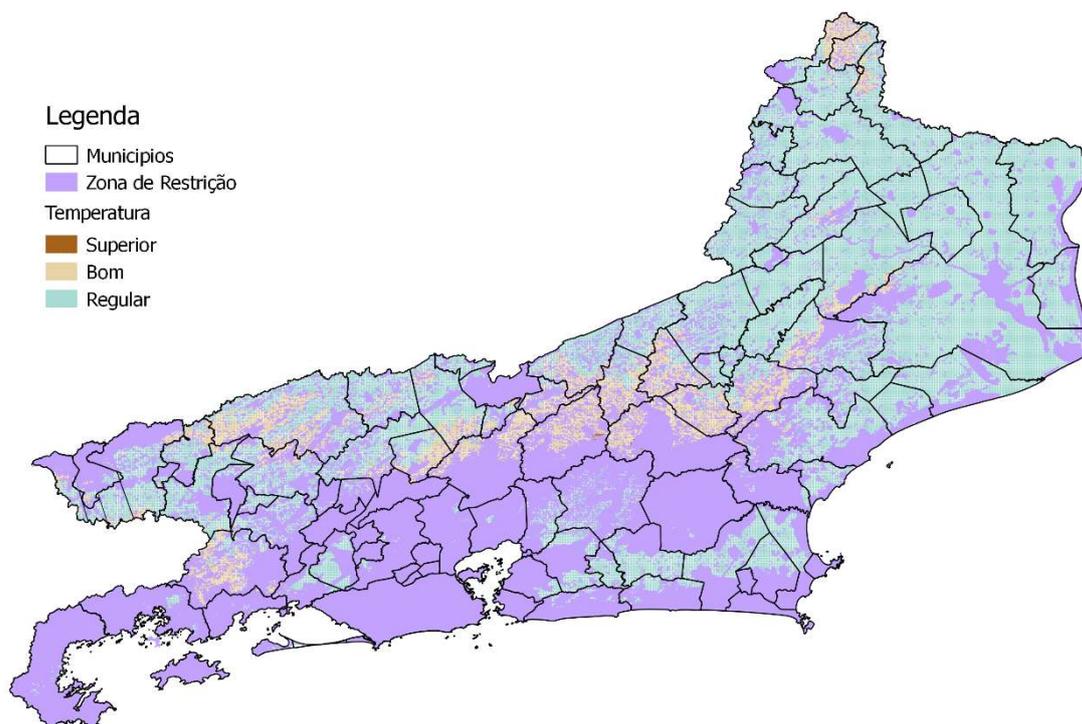
<b>Grau de Relevância</b>	<b>Número de Especialistas</b>	<b>Importância (%) dos Especialistas</b>
<b>Crítico</b>	2	15,79%
<b>Condicionante</b>	3	18,86%
<b>Pouco condicionante</b>	9	56,58%
<b>Irrelevante</b>	1	8,77%

**Fonte: O Autor**

Com base na revisão bibliográfica realizada definiu-se os níveis de fornecimento da matriz de oferta deste fator de localização, que podem ser categorizados da seguinte maneira:

- Superior para  $X \leq 15^{\circ}\text{C}$
- Bom para  $15^{\circ}\text{C} < X \leq 20^{\circ}\text{C}$
- Regular para  $20^{\circ}\text{C} < X \leq 25^{\circ}\text{C}$
- Fraco para  $X > 25^{\circ}\text{C}$ , onde  $X$  = temperatura média anual em graus célsius

O mapa 21 mostra o nível de fornecimento do fator de localização “temperatura média”, baseado nas categorias exibidas anteriormente. Nele é possível perceber que grande parte do estado do Rio de Janeiro fica entre os níveis de oferta “bom” e “regular”, sendo este último próximo à Região Serrana.



**Mapa 21: Nível de Atendimento da Temperatura Média**  
Fonte: O Autor

#### 4.4.4. PROXIMIDADE DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

A proximidade da infraestrutura de transmissão foi considerado um fator condicionante para a determinação da localização de uma usina solar fotovoltaica no estado do Rio de Janeiro pela maior parte dos especialistas. A tabela 26 mostra a disposição dos especialistas com relação ao grau de relevância do fator de localização “proximidade à linhas de transmissão”, além da importância relativa desses especialistas no conjunto fuzzy “especialista em energia solar fotovoltaica”.

**Tabela 26: Grau de Relevância da Proximidade à Linhas de Transmissão – Análise dos Especialistas**

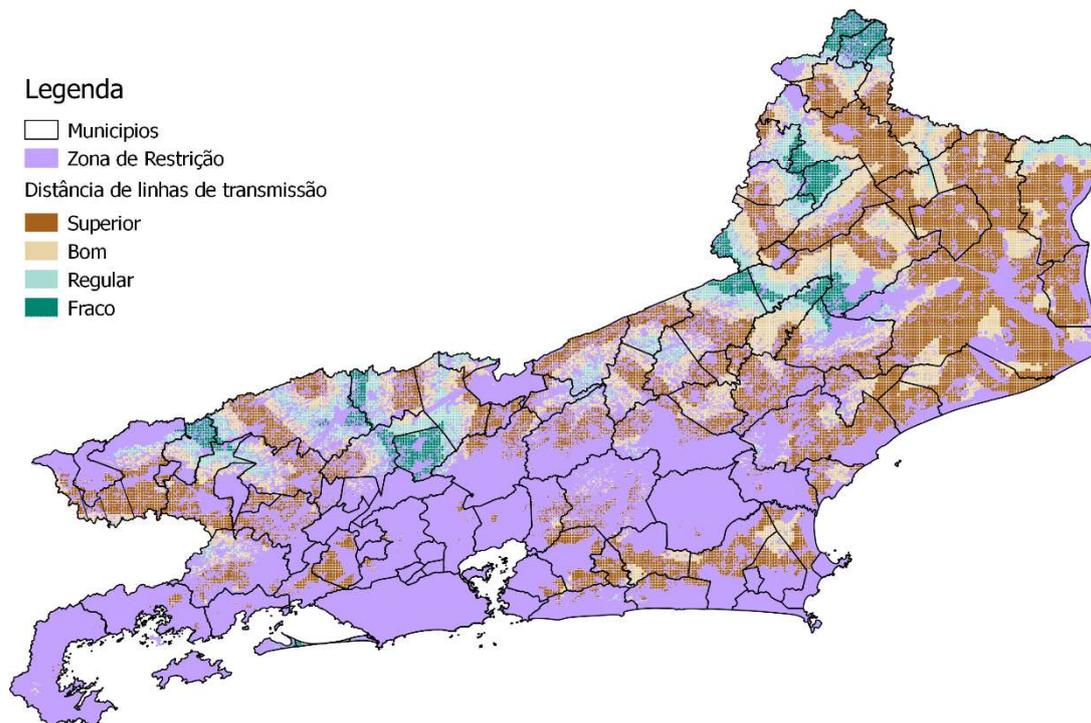
<b>Grau de Relevância</b>	<b>Número de Especialistas</b>	<b>Importância (%) dos Especialistas</b>
<b>Crítico</b>	6	33,34%
<b>Condicionante</b>	8	58,77%
<b>Pouco condicionante</b>	0	0,00%
<b>Irrelevante</b>	1	7,89%

Fonte: O Autor

Com base na revisão bibliográfica realizada definiu-se os níveis de fornecimento da matriz de oferta deste fator de localização, que podem ser categorizados da seguinte maneira:

- Superior para  $0 < X \leq 5$ km
- Bom para  $5 < X \leq 10$ km
- Regular para  $10 < X \leq 15$ km
- Fraco para  $X > 15$ Km, onde X = Distância de linhas de transmissão

O mapa 22 mostra o nível de fornecimento do fator de localização “proximidade à linhas de transmissão” baseado nas categorias exibidas anteriormente. Nele é possível perceber que grande parte do estado do Rio de Janeiro fica entre os níveis de oferta superior e bom, com regiões mais no interior tendendo aos níveis regular e fraco.



**Mapa 22: Nível da Proximidade de Linhas de Transmissão**  
**Fonte: O Autor**

#### 4.4.5. PROXIMIDADE A RODOVIAS

A proximidade a rodovias ou acessibilidade do local foi considerado entre um fator condicionante e pouco condicionante para a determinação da localização de uma usina solar fotovoltaica no estado do Rio de Janeiro pela maior parte dos especialistas. A tabela 27 mostra a disposição dos especialistas com relação ao grau de relevância do fator de localização “proximidade a rodovias”, além da importância relativa desses especialistas no conjunto fuzzy “especialista em energia solar fotovoltaica”.

**Tabela 27: Grau de Relevância da Proximidade a Rodovias – Análise dos Especialistas**

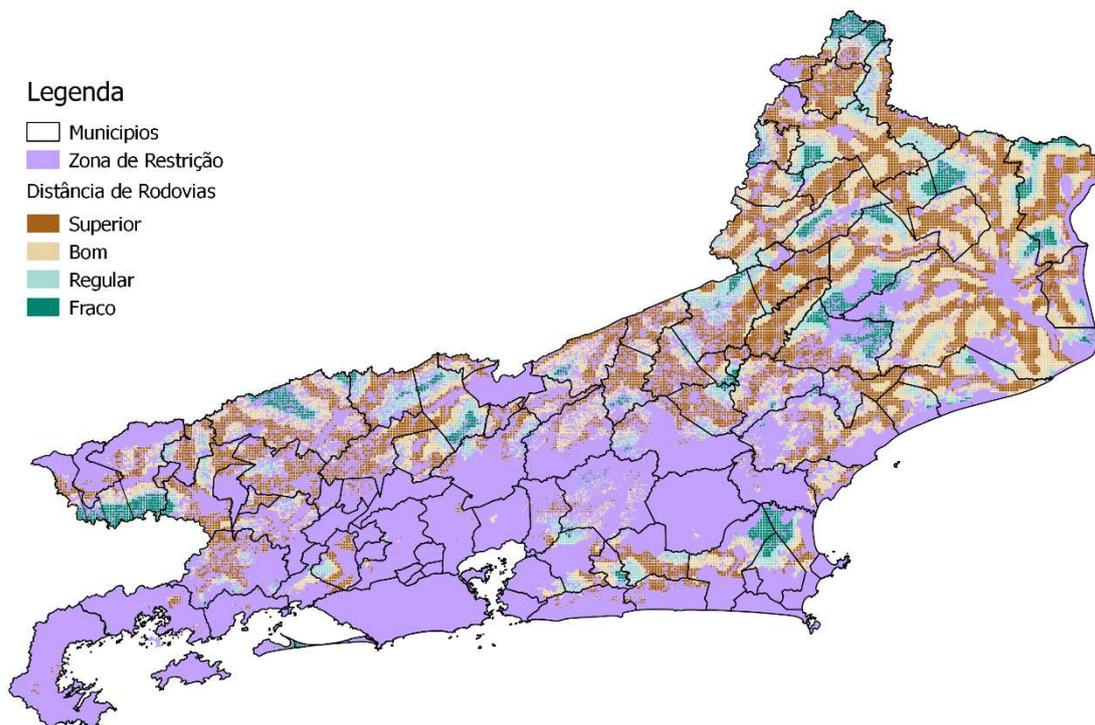
<b>Grau de Relevância</b>	<b>Número de Especialistas</b>	<b>Importância (%) dos Especialistas</b>
<b>Crítico</b>	3	17,98%
<b>Condicionante</b>	4	26,75%
<b>Pouco condicionante</b>	6	36,60%
<b>Irrelevante</b>	2	16,67%

**Fonte: O Autor**

Com base na revisão bibliográfica realizada definiu-se os níveis de fornecimento da matriz de oferta deste fator de localização, que podem ser categorizados da seguinte maneira:

- Superior para  $0 < X \leq 2,5$  km
- Bom para  $2,5 < X \leq 5$  km
- Regular para  $5 < X \leq 7,5$  km
- Fraco para  $7,5 > X$ , onde  $x$  = distância de rodovias

O mapa 23 mostra o nível de fornecimento do fator de localização “proximidade a rodovias” baseado nas categorias exibidas anteriormente. Nele é possível perceber que grande parte do estado do Rio de Janeiro fica entre os níveis de oferta superior e bom, com regiões mais no interior tendendo aos níveis regular e fraco.



**Mapa 23: Nível de Atendimento para Distância de Rodovias**  
Fonte: O Autor

#### 4.4.6. PROXIMIDADE DE CENTROS URBANOS

A proximidade de centros urbanos, isto é, a demanda por energia elétrica, foi considerado um fator pouco condicionante para a determinação da localização de uma usina solar fotovoltaica no estado do Rio de Janeiro pela maior parte dos especialistas. A tabela 28 mostra a disposição dos especialistas com relação ao grau de relevância do fator de localização “proximidade de centros urbanos”, além da importância relativa desses especialistas no conjunto fuzzy “especialista em energia solar fotovoltaica”.

**Tabela 28: Grau de Relevância da Proximidade de Centros Urbanos – Análise dos Especialistas**

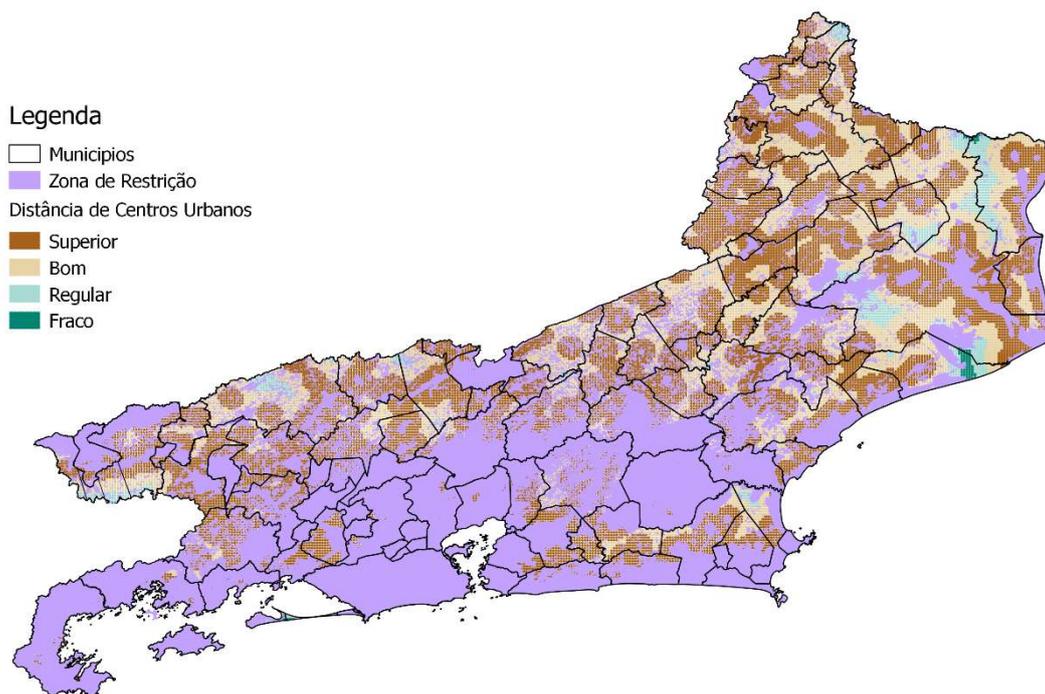
<b>Grau de Relevância</b>	<b>Número de Especialistas</b>	<b>Importância (%) dos Especialistas</b>
<b>Crítico</b>	1	6,58%
<b>Condicionante</b>	1	6,58%
<b>Pouco condicionante</b>	8	52,19%
<b>Irrelevante</b>	5	34,65%

Fonte: O Autor

Com base na revisão bibliográfica realizada definiu-se os níveis de fornecimento da matriz de oferta deste fator de localização, que podem ser categorizados da seguinte maneira:

- Superior para  $0 < X \leq 5$ km
- Bom para  $5 < X \leq 10$ km
- Regular para  $10 < X \leq 15$ km
- Fraco para  $X > 15$ Km, onde x= distância de setores censitários urbanos

O mapa 24 mostra o nível de fornecimento do fator de localização “proximidade de centros urbanos” baseado nas categorias exibidas anteriormente. Nele é possível perceber que quase a totalidade do estado do Rio de Janeiro está nos níveis que variam do bom ao superior.



**Mapa 24: Nível de Atendimento para Distância de Centros Urbanos**  
**Fonte: O Autor**

#### 4.4.7. INCLINAÇÃO DO TERRENO

A inclinação do terreno foi considerado um fator que variou entre crítico, condicionante e pouco condicionante para a determinação da localização de uma usina solar fotovoltaica no estado do Rio de Janeiro pela maior parte dos especialistas. A tabela 29 mostra a disposição dos especialistas com relação ao grau de relevância do fator de localização “inclinação do terreno”, além da importância relativa desses especialistas no conjunto fuzzy “especialista em energia solar fotovoltaica”.

**Tabela 29: Grau de Relevância da Inclinação do Terreno – Análise dos Especialistas**

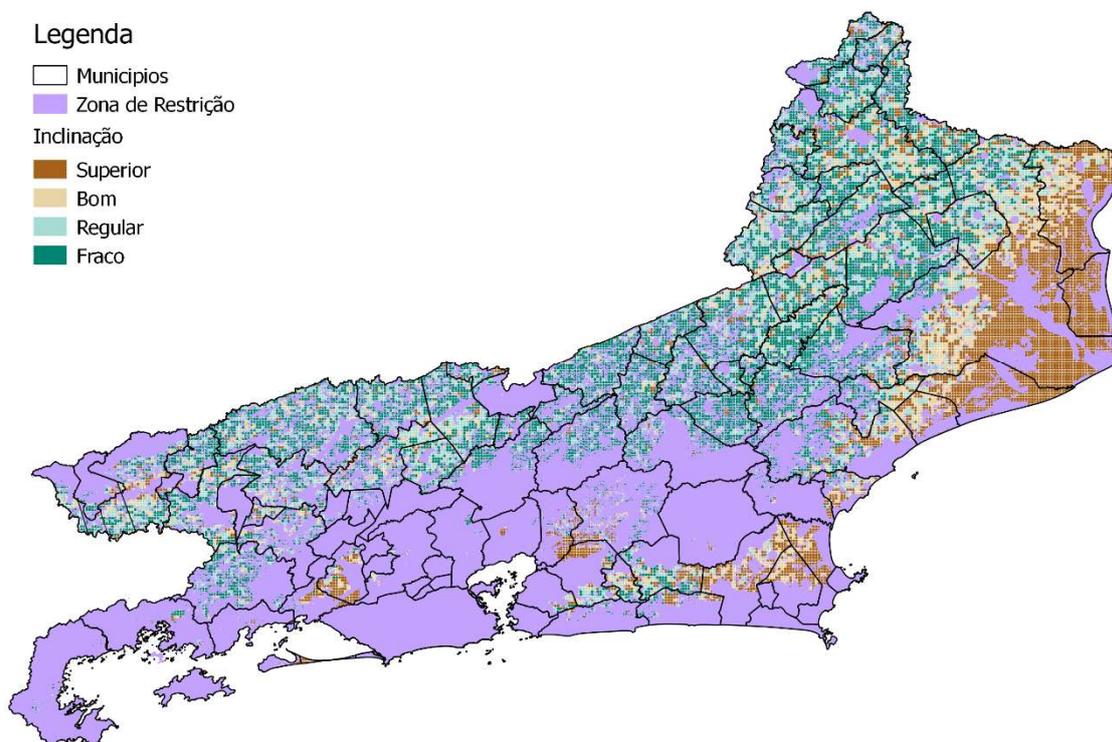
<b>Grau de Relevância</b>	<b>Número de Especialistas</b>	<b>Importância (%) dos Especialistas</b>
<b>Crítico</b>	5	27,63%
<b>Condicionante</b>	3	20,18%
<b>Pouco condicionante</b>	5	35,53%
<b>Irrelevante</b>	2	16,67%

**Fonte: O Autor**

Com base na revisão bibliográfica realizada definiu-se os níveis de fornecimento da matriz de oferta deste fator de localização, que podem ser categorizados da seguinte maneira:

- Superior para  $0 < X \leq 2$
- Bom para  $2 < X \leq 5$
- Regular para  $5 < X \leq 10$
- Fraco para  $X > 10$ , onde  $x =$  inclinação (%) do terreno

O mapa 25 mostra o nível de fornecimento do fator de localização “inclinação do terreno” baseado nas categorias exibidas anteriormente. Nele é possível perceber que o atendimento superior se encontra majoritariamente na região Norte Fluminense. Os níveis regular e fraco encontram-se quase a totalidade com a divisa do Estado de Minas Gerais, enquanto o nível bom fica nas demais regiões.



**Mapa 25: Nível de Atendimento da Inclinação**  
Fonte: O Autor

#### 4.4.8. AZIMUTE

O azimute ou orientação do terreno foi considerado um fator que variou entre condicionante e pouco condicionante para a determinação da localização de uma usina solar fotovoltaica no estado do Rio de Janeiro pela maior parte dos especialistas. A tabela 30 mostra a disposição dos especialistas com relação ao grau de relevância do fator de localização “azimute”, além da importância relativa desses especialistas no conjunto fuzzy “especialista em energia solar fotovoltaica”.

**Tabela 30: Grau de Relevância do Azimute – Análise dos Especialistas**

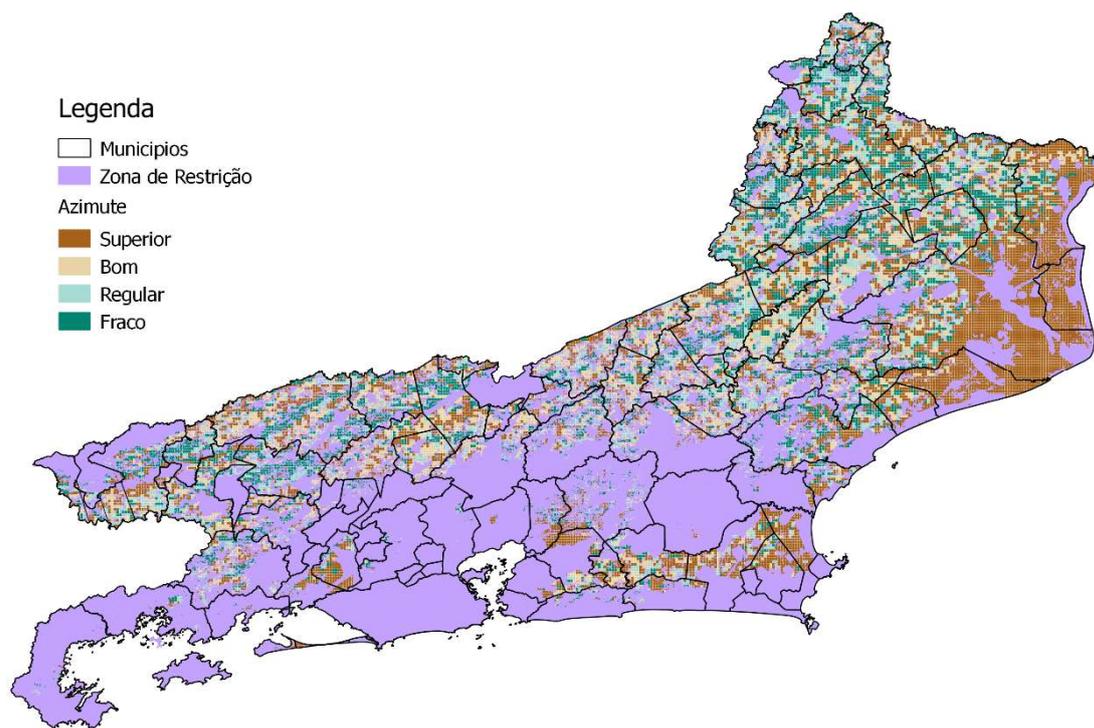
<b>Grau de Relevância</b>	<b>Número de Especialistas</b>	<b>Importância (%) dos Especialistas</b>
<b>Crítico</b>	2	14,47%
<b>Condicionante</b>	6	38,16%
<b>Pouco condicionante</b>	5	32,89%
<b>Irrelevante</b>	2	14,47%

Fonte: O Autor

É importante ressaltar, que para terrenos com pouco inclinação o azimute se torna irrelevante. Com base na revisão bibliográfica realizada definiu-se os níveis de fornecimento da matriz de oferta deste fator de localização, que podem ser categorizados da seguinte maneira:

- Superior para inclinação <2% ou azimute = norte
- Bom para azimute = nordeste ou noroeste
- Regular para azimute = leste ou oeste
- Fraco para azimute = sul, sudeste ou sudoeste

O mapa 26 mostra o nível de fornecimento do fator de localização “azimute” baseado nas categorias exibidas anteriormente. Nele é possível perceber que o atendimento superior se encontra majoritariamente na região Norte Fluminense. Os demais níveis encontram-se espalhados pelo Estado do Rio de Janeiro.



**Mapa 26: Nível de Atendimento do Azimute**  
**Fonte: O Autor**

#### 4.4.9. UTILIZAÇÃO DA TERRA

A utilização da terra (fertilidade do solo) foi considerado um fator que variou entre condicionante até irrelevante para a determinação da localização de uma usina solar fotovoltaica no estado do Rio de Janeiro pela maior parte dos especialistas. A tabela 31 mostra a disposição dos especialistas com relação ao grau de relevância do fator de localização “utilização da terra”, além da importância relativa desses especialistas no conjunto fuzzy “especialista em energia solar fotovoltaica”.

**Tabela 31: Grau de Importância da Utilização da Terra – Análise dos Especialistas**

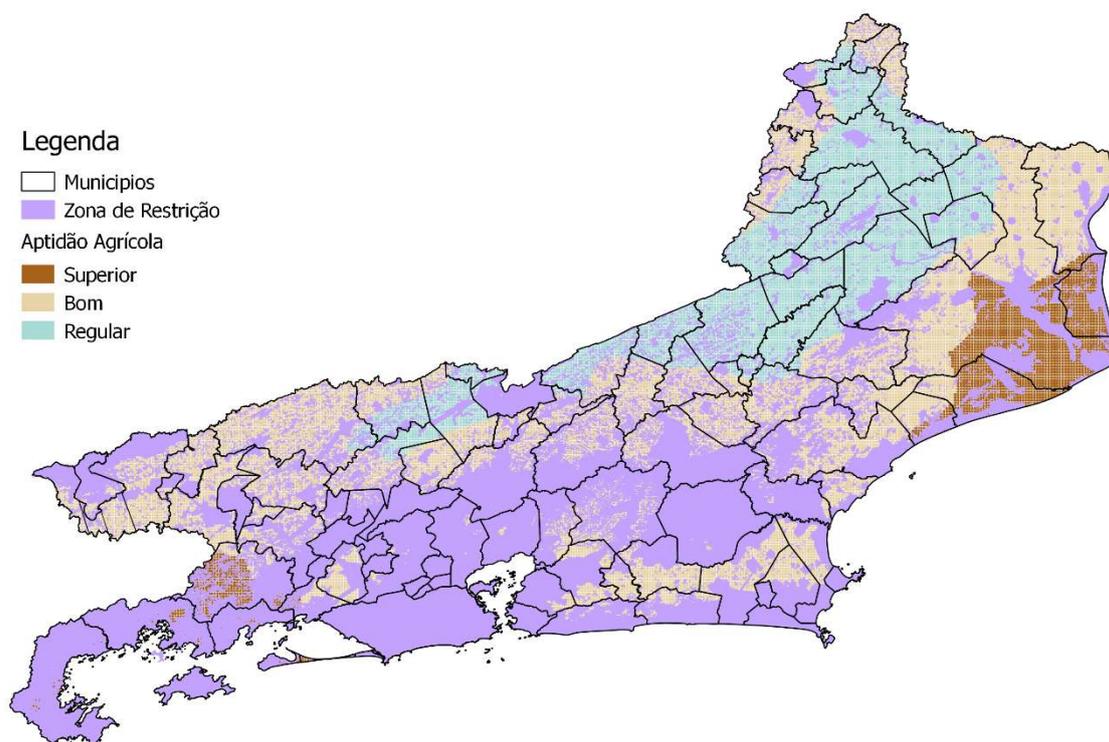
Grau de Importância	Número de Especialistas	Importância (%) dos Especialistas
<b>Crítico</b>	0	0,00%
<b>Condicionante</b>	5	28,95%
<b>Pouco condicionante</b>	6	42,11%
<b>Irrelevante</b>	4	28,95%

**Fonte: O Autor**

Com base na revisão bibliográfica realizada definiu-se os níveis de fornecimento da matriz de oferta deste fator de localização, que podem ser categorizados da seguinte maneira:

- Superior para aptidão agrícola = Muito Baixa
- Bom para aptidão agrícola = Baixa
- Regular para aptidão agrícola = Média a Alta
- Fraco para aptidão agrícola = Alta

O mapa 27 mostra o nível de fornecimento do fator de localização “utilização da terra” baseado nas categorias exibidas anteriormente. Nele é possível perceber que o nível de atendimento superior, ou seja, terras menos férteis, majoritariamente na região Norte Fluminense, próximo do município de Campos dos Goytacazes, o nível regular ficaria no Noroeste Fluminense e o bom no restante.



**Mapa 27: Nível de Atendimento para Aptidão Agrícola**  
**Fonte: O Autor**

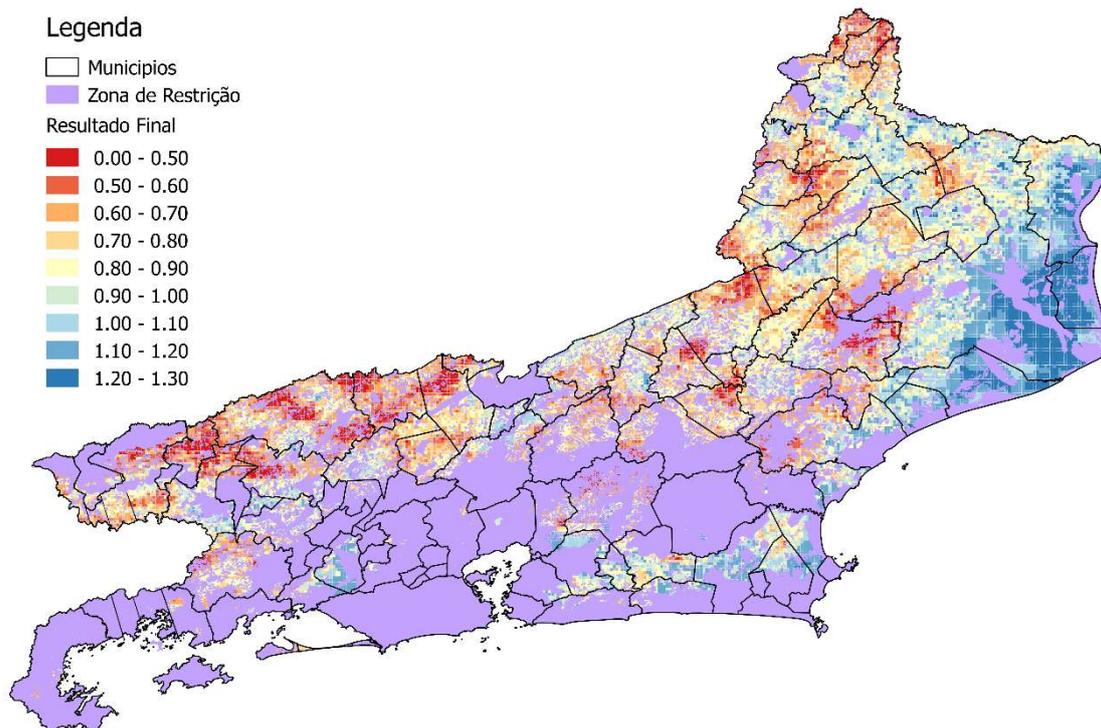
#### 4.5. RESULTADO DO MODELO COPPE CONSENZA

Após ser determinado os níveis de oferta dos fatores de localização, para cada alternativa, foi realizada o cotejo, utilizando as relações definidas na matriz C, entre as matrizes A e B, demanda e oferta dos fatores de localização respectivamente, segundo os parâmetros do modelo COPPE-COSENZA.

Vale ressaltar que neste modelo não foram definidos critérios específicos, portanto, a Matriz de agregação de possibilidades será igual a Matriz C. Além disso, como há somente um tipo de empreendimento sendo considerado (usina solar fotovoltaica), a Matriz Gama irá indicar qual a localidade mais apropriada para que haja a instalação da usina.

A matriz representativa das possibilidades de localização para a usina solar fotovoltaica é representada por índices em relação aos fatores de localização demandados, conforme visto anteriormente. A matriz  $\tilde{A}$  representa localizações, hierarquizando as regiões por projetos, onde uma região que apresenta  $\tilde{a}_{ik} > 1$  oferece mais condições do que uma determinada indústria ou empreendimento demanda.

O mapa 28, representa o valor  $\tilde{a}_{ik}$  ponderado pela importância relativa de cada especialista no conjunto fuzzy “especialista em energia solar fotovoltaica”. Assim, as regiões do Estado do Rio de Janeiro com mais suscetibilidade para a localização da usina solar fotovoltaica se localizam no Norte Fluminense, mais especificamente ao redor de Campos dos Goytacazes e municípios circundantes. Há bons pontos também na Região dos Lagos e próximo a Itaguaí.



**Mapa 28: Regiões do Estado do Rio Suscetíveis a Receber a Usina Solar Fotovoltaica**  
**Fonte: O Autor**

#### **4.6. DIFICULDADES ENCONTRADAS E LIMITAÇÕES DO MÉTODO**

Segundo Vasconcellos (2007), a utilização de um questionário aplicado através da internet impõem algumas limitações quando comparadas com entrevistas pessoais, tais como:

- Impossibilidade de verificação das respostas obtidas, isto é, questionários fraldados;
- Restrição no tamanho dos questionários (estes devem ser menores do que os presenciais);
- Dificuldade de tirar dúvidas dos respondentes;

Embora as fontes dos dados georreferenciados sejam confiáveis, já que, em sua maioria, são provenientes de entidades governamentais, algumas informações podem estar desatualizadas. Como exemplo, temos as informações dos setores censitários (utilizada para determinar as regiões urbanas e rurais) que são de 2010. Quando dados mais atuais estiverem disponíveis o resultado desta pesquisa poderá ser ligeiramente diferente.

Há, também, a questão das variáveis (fatores de localização) que foram escolhidas, através da revisão de artigos, para a determinar a localização da usina solar fotovoltaica. Alguns artigos consideraram outras variáveis como, por exemplo, a velocidade do vento e a presença de poeira. Essas variáveis, por serem pouco utilizadas não foram consideradas para este estudo, porém talvez tivessem alguma importância, mesmo que menor, na determinação da localização da usina. Por outro lado, aumentar o número de fatores de localização tornaria o problema mais complexo e seria difícil comparar a importância individual de cada um dos fatores.

## 5. CONCLUSÃO

As questões ambientais vêm ganhando cada vez mais importância no cenário mundial. O aquecimento global, em especial, é o principal foco dessas preocupações, em vista dos prejuízos materiais, humanos como também para as demais espécies de plantas e animais. O Acordo de Paris, assinado em 2015, tem como objetivo frear esse aquecimento de modo a permitir o aumento da temperatura média da Terra em no máximo 1,5°C. Desta maneira, mitigará os impactos negativos. Vale ressaltar que a produção de energia elétrica no mundo, inclusive no Brasil, é uma das maiores fontes de emissão de CO<sub>2</sub>, principal gás responsável pelo efeito estufa.

Existe, portanto, um dilema: “como suprir a demanda crescente por energia sem a degradação ambiental resultante do uso de combustíveis fósseis?”

A energia solar entra nesse cenário como uma alternativa não poluente e que vem se tornando cada vez cada vez mais financeiramente competitiva diante as fontes de geração tradicionais (combustíveis fósseis, hidroelétrica e nuclear). Essa redução no custo de geração da energia solar fotovoltaica se deve majoritariamente a dois fatores: aumento da eficiência energética e a redução dos custos de produção dos painéis.

A geração de energia solar no Brasil ainda ocupa um percentual pequeno na sua matriz energética, apesar de preencher todos os requisitos básicos para uma geração em maior escala. Estes são os motivos que levaram ao desenvolvimento desta dissertação: descobrir os melhores locais para se instalar uma usina solar fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro.

Para localizar uma usina solar fotovoltaica não basta levar em consideração apenas a irradiação solar incidente. Há outros fatores relevantes. Para este trabalho foram elencados, através da revisão bibliográfica, oito fatores de localização determinantes: irradiação solar, proximidade de centros urbanos, proximidade de rodovias, proximidade de linhas de transmissão, inclinação do terreno, azimute, a utilização da terra (fertilidade) e a temperatura média. Além disso, uma zona de restrição, onde a usina não poderia ser localizada também foi aplicada.

O passo seguinte foi aplicar um questionário para uma gama diversa de especialistas do setor a fim de determinar a importância desses fatores de localização. Os especialistas vieram de universidades, órgãos públicos não acadêmicos e da iniciativa privada.

Analisando as respostas dos especialistas, foi comprovando que a irradiação solar é o fator mais importante individualmente, porém, sozinho ele não é determinante para a localização da usina. A inclinação do terreno e a proximidade de linhas de transmissão, por exemplo, também foram bastante relevantes.

O Rio de Janeiro possui diversos fatores que favorecem a instalação de uma usina solar fotovoltaica: ampla infraestrutura rodoviária e de transmissão elétrica, diversos centros urbanos e um litoral bastante ensolarado (em especial o litoral Norte).

O método utilizado para a determinação da localização da usina solar foi o COPPE-COSENZA aliado ao SIG. O método COPPE-COSENZA já foi posto à prova em diversos projetos, como por exemplo, na cadeia do Biodiesel e o SIG vem sendo utilizado em diversos trabalhos de localização de usinas solares fotovoltaicas, pois utiliza dados georreferenciados.

Os resultados mostram que, apesar da grande zona de restrição que o Estado do Rio de Janeiro tem, em especial devido a zonas urbanas e áreas de proteção ambiental, há um grande potencial para a instalação de usinas solares fotovoltaicas, majoritariamente na região Norte Fluminense e em menor escala ao redor da Região dos Lagos. Já o interior do Estado não apresenta as melhores condições para um empreendimento como este. Tal resultado foi bastante condizente pois a região do Norte Fluminense tem a maior incidência de irradiação solar do Estado, é plana e ainda tem toda a infraestrutura da cidade de Campos dos Goytacazes, uma cidade com um PIB e população elevados.

O método COPPE-COSENZA aliado ao GIS provou-se, desta forma, capaz de determinar as melhores localizações de uma usina solar fotovoltaica e poderá futuramente ser posto em prova para a análise de outros empreendimentos relativos à energia renovável.

## BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, Hime e OLIVEIRA J., **Lógica Difusa**, 1999, Editora Interciência

AL-SHAMISI MH, AssIAH, HAN, Hejase, “Artificial neural networks for predicting global solar radiation in Al Ain City – UAE”. **Int. J. Green Energy**; v.10, pp. 443–56, 2013. Disponível em <https://doi.org/10.1080/15435075.2011.641187> Acesso em setembro de 2019.

ALGARNI, Hassan, AWASTHI, Anjali. “Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia”, **Applied Energy**, v.206, n.15, pp. 1225-1240, 2017. Disponível em 206. 10.1016/j.apenergy.2017.10.024. Acesso em setembro de 2019.

ALY, Ahmed; JENSEN, Steen; PEDERSEN, Anders. (2017), “Solar Power Potential of Tanzania: Identifying CSP and PV Hot Spots through a GIS Multicriteria Decision Making Analysis”, **Renewable Energy**, v. 113 pp. .05-077, 2017. Disponível em . 113. 10.1016/j.renene.2017.05.077. Acesso em setembro de 2019.

AMARO, A; PÓVOA, A; MACEDO, L. A. **Arte de Fazer Questionários: Metodologia de Investigação em Educação**. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Departamento de Química. 2005.

AMENDOLA, M., SOUZA, A. L., BARROS, L. C., **Manual do uso da teoria dos conjuntos fuzzy no MATLAB 6.5**. Versão 2005 do manual apresentado no Ciclo de Palestras/2004, realizado na FEAGRI/UNICAMP. Disponível em: [http://www.ime.unicamp.br/~laeciocb/manual\\_fuzzy\\_matlab.pdf](http://www.ime.unicamp.br/~laeciocb/manual_fuzzy_matlab.pdf). Acesso em março de 2019.

ANEEL. **Revisão das Diretrizes para Elaboração de Orçamentos de Linhas de Transmissão – OLT**. 2005. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/Licitacoes\\_administrativas/Documentos/ANEXO%20%20Diretrizes%20para%20elabora%C3%A7%C3%A3o%20de%20or%C3%A7amentos%20de%20Linhas%20de%20Transmiss%C3%A3o.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/Licitacoes_administrativas/Documentos/ANEXO%20%20Diretrizes%20para%20elabora%C3%A7%C3%A3o%20de%20or%C3%A7amentos%20de%20Linhas%20de%20Transmiss%C3%A3o.pdf). Acesso em junho de 2019

\_\_\_\_\_. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3ª Edição, 2008. Disponível em [http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008\\_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb](http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb) Acesso em abril de 2020.

ARÁN CARRIÓN, J.; ESPÍN ESTRELLA A, F.; AZNAR DOLS F.; ZAMORANO TORO, M.; RODRÍGUEZ, M.; RAMOS RIDAO A. “Environmental Decision-Support Systems for Evaluating the Carrying Capacity of Land Areas: Optimal Sites Selection for Grid-Connected Photovoltaic Power Plants. Renewable and Sustainable” **Energy Reviews**, v.12, pp. 2358–2380, 2008. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.011> > Acesso em abril de 2020

ARNETTE, A.N., ZOBEL, C.W., “Spatial analysis of renewable energy potential in the greater southern Appalachian mountains”, **Renewable Energy**, V 36, n11, pp. 2785–

2798. 2011. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.04.024> > Acesso em abril de 2020.

ASAKEREH, Abbas; SOLEYMANI, Mohsen; JAVAD Sheikhdavoodi, Mohammad. “A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran”, **Solar Energy**, v. 68, pp. 37–48, 2017 Disponível em: 155. 342-353. 10.1016/j.solener.2017.05.075. Acesso em setembro de 2019.

ASSAD, Eduardo Delgado; SANO, Edson Eyji. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. EMBRAPA. 2ª Edição. 1998.

ATLAS RIO SOLAR. **Atlas solarimétrico do Estado do Rio de Janeiro** / organização: IEPUC - Instituto de Energia da PUC-Rio; [realizado pela EGPEnergia e PUC-Rio]. - Rio de Janeiro : Ed. PUC-Rio, 2016. ISBN: 978-85-8006-213-7. Disponível em <https://www.portal-energia.com/downloads/atlas-rio-solar-portal-energia.pdf> Acesso em abril de 2020.

AYDIN, Nazli & KENTEL, Elcin & DUZGUN, Sebnem, “GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey”, **Energy Conversion and Management**, v. 70, pp.90–106, 2013. Disponível em 10.1016/j.enconman.2013.02.004. Acesso em abril de 2020.

AZEVÊDO, Verônica Wilma Bezerra. **Estudo de localização de usina solar termoeétrica no estado de Pernambuco**. Dissertação de Doutorado. UFPE. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares. 2016. Disponível em <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/17712/1/TESE%20N%20127%20-%20PROTEN%20DEN%20UFPE%20-%20VERONICA%20AZEVEDO.pdf> Acesso em setembro de 2019.

AZIZKHANI, Mostafa; VAKILI, Abdullah; NOOROLLAHI, Younes; NASERI, Farzin, “Potential survey of photovoltaic power plants using Analytical Hierarchy Process (AHP) method in Iran”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.75, pp.1198-1206, 2016. Disponível em: 75. 10.1016/j.rser.2016.11.103. Acesso em 2020.

BAHIA, L. H. N.. **Uma contribuição para a questão do desenvolvimento regional no Brasil, com base no emprego do modelo de localização múltipla**. COPPETEC COSENZA: Fruticultura irrigada agroindustrial no nordeste fluminense. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BANCO MUNDIAL (World Bank). **CO2 emissions from electricity and heat production, total (% of total fuel combustion)**, 2011. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/en.co2.etot.zs?end=2014&start=1960&view=chart>. Acesso em março de 2019

BANCO MUNDIAL (INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION). **Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants**. 2011. Disponível em [https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics\\_ext\\_content/ifc\\_external\\_corporate\\_site/sustainability-at-ifc/publications/publications\\_utility-scale+solar+photovoltaic+power+plants](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/publications_utility-scale+solar+photovoltaic+power+plants) Acesso em abril de 2020.

BARROS C. F. O., COSENZA C. A. N. **Usando Lógica Fuzzy em Mega-eventos de Esportes: Um Sistema de Avaliação de Impactos**. Registro de literalidade no Escritório de Direitos Autorais-EDA-BN Biblioteca Nacional-Rio de Janeiro. 2010.

BEISER, A. **Modern Physics. An introductory survey**. Londres, Inglaterra, 1968.

BELCHIOR, A. D. **Um Modelo Fuzzy para Avaliação da Qualidade de Software**. TESE de D. SC. COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro 1997. Disponível em <http://www.boente.eti.br/fuzzy/tese/tese-fuzzy-belchior.pdf> Acesso em abril de 2020.

BERGAMASCO, L., ASINARI, P., “Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: application to Piedmont Region, Italy”. **Sol. Energy** 85, pp.1041–1055, 2011. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/229227336\\_Scalable\\_methodology\\_for\\_the\\_photovoltaic\\_solar\\_energy\\_potential\\_assessment\\_based\\_on\\_available\\_roof\\_surface\\_area\\_Application\\_to\\_Piedmont\\_Region\\_Italy](https://www.researchgate.net/publication/229227336_Scalable_methodology_for_the_photovoltaic_solar_energy_potential_assessment_based_on_available_roof_surface_area_Application_to_Piedmont_Region_Italy) Acesso em abril de 2020.

BERTOLINO, A., STRIGINI, L., “On the use of testability measures for dependability assessment”, **IEEE Transaction on Software Engineering**, vol. 22, no 2, 1996. Disponível em <https://ieeexplore.ieee.org/document/485220/references> Acesso em abril de 2020.

BORGES, Leandro da Motta - **Dimensionamento e gestão de energia solar fotovoltaica para aplicação em sistemas automatizados isolados da rede elétrica**. Dissertação de Mestrado – UFJF – 2013. Disponível em <http://www.ufjf.br/labsolar/files/2011/05/Dimensionamento-e-Gest%C3%A3o-de-Energia-Solar-Fotovoltaica-para-Aplica%C3%A7%C3%A3o-em-Sistemas-Automatizados-Isolados-da-Rede-El%C3%A9trica.pdf> Acesso em abril de 2020.

BRASIL. **Lei 12.651/2012**. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm); Acesso em maio de 2019.

\_\_\_\_\_. **Lei 9478/1997**. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9478.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9478.htm) Acesso em 28/02/2019.

BURGI, Adriano Salvi. - **Avaliação do potencial técnico de geração elétrica termossolar no brasil a partir de modelagem em sig e simulação de plantas virtuais**. Dissertação de Mestrado, UFRJ, 2013. Disponível em <http://antigo.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/salvi.pdf> Acesso em abril de 2020.

CEPERJ. **Características e Histórico – Rio de Janeiro**, 2009. Disponível em <http://www.ceperj.rj.gov.br/Conteudo.asp?ident=80>. Acesso em maio de 2019.

\_\_\_\_\_. **Regiões do estado do Rio de Janeiro**, 2019. Disponível em <http://www.ceperj.rj.gov.br/Conteudo.asp?ident=81>. Acesso em maio de 2019.

\_\_\_\_\_. **O Estado do Rio de Janeiro e seu Ambiente**, 2019, Disponível em <http://www.ceperj.rj.gov.br/Conteudo.asp?ident=85>. Acesso em junho de 2019.

CHAMOVITZ, Ilan. **Aplicação do modelo de hierarquia fuzzy coppe-cosenza para a avaliação de grupos operativos em fóruns educacionais na internet**, Tese de Doutorado COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em <http://www.producao.ufrj.br/index.php/br/informacoess-academicas/teses-e-dissertacoes/doutorado/2010/272--237> Acesso em abril de 2020.

CHARABI, Y., GASTLI, A., “PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation”. **Renew. Energy** v. 36, pp2554–2561, 2011. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148111000760> Acesso em setembro de 2019.

CHEN C-R, HUANG C-C, TSUEI H-J. “A hybrid MCDM model for improving GIS-based solar farms site selection”. **Int J Photo**, v.14 pp. 1-9 2014. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/273597325\\_A\\_hybrid\\_MCDM\\_model\\_for\\_improving\\_GIS-based\\_solar\\_farms\\_site\\_selection](https://www.researchgate.net/publication/273597325_A_hybrid_MCDM_model_for_improving_GIS-based_solar_farms_site_selection) Acesso em setembro de 2019.

CLEMENTE, A. **Economia Regional e Urbana**. São Paulo: Ed. Atlas, 1994.

CNT (Confederação Nacional de Transportes). **Anuário CNT do Transporte – Estatísticas Consolidadas**. 2018. Disponível em <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2019/> Acesso em abril de 2020.

COHON JL, CROPPER ML, CULLEN MR, DRAKE EM, English MR, Field CB, Hidden cost of energy: unpriced consequences of energy production and use. NRC (US National Research Council), **National Academy Press**. Disponível [www.nap.edu/catalog/12794.html](http://www.nap.edu/catalog/12794.html); 2010. Acessado em 08 março de 2019

CORREIA, M. F. Z. **Proposta de Aplicação da Lógica Fuzzy nos Materiais Cirúrgicos do Almoxarifado Central do HCUFF para Auxiliar a Tomada de Decisão Concernente ao Controle de Estoques**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. COPPE – UFRJ. 2016. Disponível em <http://www.pep.ufrj.br/index.php/br/teses-e-dissertacoes/teses-e-dissertacoes/mestrado/2016-1/229--198> Acesso em setembro de 2019.

COSENZA, CARLOS ALBERTO NUNES ; DAS NEVES, CESAR ; LIMA, Fernando Rodrigues, “A hierarchical model for biodiesel plant location in Brazil. Proceedings of the Institution of Civil Engineers”-**Energy** , v. 1, p. 1-13, 2017. Disponível em <https://doi.org/10.1680/jener.16.00023> Acesso em abril de 2020

CRISTELLOTTI, Marco. **Localização de Curtumes no Brasil Usando o Modelo COPPE-COSENZA**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em [http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe\\_m/MarcoCristellotti.pdf](http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/MarcoCristellotti.pdf) Acesso em abril de 2020.

CRISTÓBAL San, Ramón José. **Multi criteria analysis in the renewable energy industry**, IX. Springer; 2012.

CRUZ, A. A. P. **Usina Solar Fotovoltaica de Juiz de Fora. Juiz de Fora (MG)**, 2012. Trabalho Final de Curso (Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia,

Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012. Disponível em <http://www.ufjf.br/labsolar/files/2011/05/Usina-Solar-Fotovoltaica-de-Juiz-de-Fora.pdf> Acesso em abril de 2020.

D'OTTAVIAN, Ítala Maria Loffredo e FEITOSA, Hércules de Araujo – “Sobre a história da lógica, a lógica clássica e o surgimento das lógicas não-clássicas”. In: V Seminário Nacional de História da Matemática”, UNESP, Rio Claro, 2003. Disponível em: [https://arquivos.cruzeirosulvirtual.com.br/materiais/disc\\_2011/2sem\\_2011/logicaformal/un\\_II/complementar\\_II.pdf](https://arquivos.cruzeirosulvirtual.com.br/materiais/disc_2011/2sem_2011/logicaformal/un_II/complementar_II.pdf) Acesso em março de 2019

DERNONCOURT, FRANCK. **Introduction to Fuzzy Logic**. MIT. 2013.

DNIT. **Custo médio gerencial 2019**, 2009. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/servicos/custo-medio-gerencial/custos-medios-ger.janeiro-09.pdf>. Acessado em maio de 2019.

DOMINGUES, Cristiane; SIMÕES, Luciana. (2008), “O SIG na gestão pública: análise crítica de um caso bem-sucedido – desafios e perspectivas”, **Exacta**. V.5. pp.353-360. Disponível em: < 10.5585/exacta.v5i2.1185 > Acesso em abril de 2020.

DUBEY, S. SARAIVA, J. N. SESHADRI, B, “Temperature dependente photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world - A review”, **Energy Procedia**, vol. 33, pp. 311–321, 2013. Disponível em DOI: 10.1016/j.egypro.2013.05.072 Acesso em abril de 2020.

ELIAS, Karine Murta. **Torre de transmissão de energia elétrica: novo design e os desafios da inserção no contexto urbano**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas Escola de Engenharia da UFMG. 2015. Disponível em <http://pos.dees.ufmg.br/defesas/1005M.PDF> Acesso em abril de 2020.

ENCE (Escola Nacional de Ciências Estatísticas). **Introdução ao Ambiente SIG QGIS Básico**. 2018. Disponível em: [http://geoftp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/outros\\_documentos\\_tecnicos/introducao\\_sig\\_qgis/Introducao\\_ao\\_ambiente\\_SIG\\_QGIS\\_2edicao.pdf](http://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/outros_documentos_tecnicos/introducao_sig_qgis/Introducao_ao_ambiente_SIG_QGIS_2edicao.pdf) - Acesso em abril de 2020.

EPE (EMPRESA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO). **Balanco Energético Anual de 2018. 2018 – A**. Disponível em <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018> Acesso em abril de 2020.

\_\_\_\_\_. **Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica. 2018 – B**. Disponível em <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-456/NT%20PR%20007-2018%20Premissas%20e%20Custos%20Oferta%20de%20Energia%20El%C3%A9trica.pdf> Acesso em abril de 2020.

\_\_\_\_\_. **Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no Horizonte 2050. 2018 – C**. Disponível em <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico->

[456/NT%20PR%20007-2018%20Premissas%20e%20Custos%20Oferta%20de%20Energia%20El%C3%A9trica.pdf](#) Acesso em abril de 2020.

\_\_\_\_\_. **Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica. (2018 - D).** Disponível em <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-456/NT%20PR%20007-2018%20Premissas%20e%20Custos%20Oferta%20de%20Energia%20El%C3%A9trica.pdf> Acesso em abril de 2020.

\_\_\_\_\_. **Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no Horizonte 2050. (2018 – E).** Disponível em <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-456/NT%20PR%20007-2018%20Premissas%20e%20Custos%20Oferta%20de%20Energia%20El%C3%A9trica.pdf> Acesso em abril de 2020

\_\_\_\_\_. **Cenários Econômicos para o PNE 2050 (2018 – F).** Disponível em [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/PNE2050\\_Premissas%20econ%C3%B4micas%20de%20longo%20prazo.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/PNE2050_Premissas%20econ%C3%B4micas%20de%20longo%20prazo.pdf) Acesso em abril de 2020.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 – Ano Base 2016. (2017 – A).** Disponível em <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf> Acesso em abril de 2020

\_\_\_\_\_. **Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL. Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024. (2017 – B).** Disponível em [http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica\\_0056\\_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/) Acesso em abril de 2020.

ESCRIBANO H, Andrés; RAMIREZ, Javier; LÁZARO, Emilio G.; VILLAVARDE, Pedro M. Garcia; ORTEGA, Maria J. Ruiz; REQUENA, Gloria P, “Influence of solar technology in the economic performance of PV power plants in Europe. A comprehensive analysis”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 82, n.1, pp. 1364-0321, 2016. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.061> Acesso em abril de 2020.

FEARNSIDE, P. M. “Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil’s Curuá-Una dam”. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 10, pp. 675-691, 2005. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/225823021\\_Do\\_Hydroelectric\\_Dams\\_Mitigate\\_Global\\_Warming\\_The\\_Case\\_of\\_Brazil's\\_CuruA-una\\_Dam](https://www.researchgate.net/publication/225823021_Do_Hydroelectric_Dams_Mitigate_Global_Warming_The_Case_of_Brazil's_CuruA-una_Dam) Acesso em abril de 2020.

FIRJAN (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO). **Retratos Regionais – Perfil Econômico Regional.** 2018. Disponível em

<https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/retratos-regionais-1.htm>. Acesso em maio de 2019.

FUJIMOTO, R. Y., 2005, **Diagnóstico automático de defeitos em rolamentos baseado em Lógica Fuzzy**. Dissertação de M.Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. Disponível em [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-07012006-111536/publico/Dissert\\_Mestrado\\_Fujimoto\\_Vfinal.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-07012006-111536/publico/Dissert_Mestrado_Fujimoto_Vfinal.pdf) Acesso em abril de 2020.

FUNAI. **Terras indígenas: o que é?** 2019. Disponível em <http://www.funai.gov.br/index.php/2014-02-07-13-24-32>, Acesso em maio de 2019.

\_\_\_\_\_. **Serviços de Proteção aos Índios – SPI**, 2019. Disponível em <http://www.funai.gov.br/index.php/2014-02-07-13-24-32>, Acesso em abril de 2020.

GARCÍA-CASCALES, M. Socorro; SÁNCHEZ-LOZANO, J.M. “Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain”. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.24 pp. 544-556, 2013 Disponível em 24. 544. 10.1016/j.rser.2013.03.019. Acesso em abril de 2020

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: EDUSP, 225p, 2003.

GOMIDE, A. C. F., GUDWIN, R.; TANSCHKEIT, R. “Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações”, **Sixth International Fuzzy Systems Association World Congress/ Tutorials - IFSA95**, pp. 01 – 38, 2019. Disponível em <http://www.calhau.dca.fee.unicamp.br> Acesso em setembro de 2019.

GRECCO, Cláudio Henrique dos Santos. **Avaliação da Resiliência em Organizações que Lidam com Tecnologias Perigosas: O Caso da Expedição de Radiofármacos**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2012. Disponível em <https://proqualis.net/sites/proqualis.net/files/000002100b7TIQA.pdf> Acesso em abril de 2020.

HAAREN R.V, FTHENAKIS, V, “GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): evaluating the case for New York State”, *Renew. Sustain. Energy Rev*, v. 15, n.7, pp. 3332e3340, 2011. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211100147X> Acesso em setembro de 2019.

HULD, T.; AMILLO, A.M.G, “Estimating PV module performance over large geographical regions: The role of irradiance, air temperature, wind speed and solar spectrum”, **Energies**, v. 8, pp. 5159–5181, 2015. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/279171402\\_Estimating\\_PV\\_Module\\_Performance\\_over\\_Large\\_Geographical\\_Regions\\_The\\_Role\\_of\\_Irradiance\\_Air\\_Temperature\\_Wind\\_Speed\\_and\\_Solar\\_Spectrum](https://www.researchgate.net/publication/279171402_Estimating_PV_Module_Performance_over_Large_Geographical_Regions_The_Role_of_Irradiance_Air_Temperature_Wind_Speed_and_Solar_Spectrum) Acesso em setembro de 2019.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em fevereiro de 2019

\_\_\_\_\_. **Atlas Escolar**. 2019. Disponível em <https://atlascolar.ibge.gov.br/mapas-atlas/mapas-do-brasil>. Acesso em junho de 2019.

IEA (International Energy Agency). **Sees Great Potential for Solar, Providing up to a Quarter of World Electricity by 2050**, 2010. Disponível em <https://www.iea.org/newsroom/news/2010/may/2010-05-11-1.html> Acesso em abril de 2020.

\_\_\_\_\_. **Data and Statistics**. Disponível em <https://www.iea.org/statistics/balances/>) Acesso em fevereiro de 2019.

\_\_\_\_\_. **Renewables 2018**, IEA, Paris, Disponível em <https://www.iea.org/reports/renewables-2018> Acesso em abril de 2020.

INCRA. **Comunidade Quilombola**. 2019. Disponível em <http://www.incra.gov.br/quilombola>. Acesso em maio de 2019.

INGLESI-LOTZ, Roula, “The Impact of Renewable Energy Consumption to Economic Growth: A Panel Data Application”, **Energy Economics**, v. 53, pp. 1-316 2015. Disponível em < 10.1016/j.eneco.2015.01.003 > Acesso em abril de 2020.

IPEA. **Presença do Estado no Brasil: federação, suas unidades e municipalidades**. 2009. [http://www.ipea.gov.br/presenca/index.php?option=com\\_content&view=article&id=28&Itemid=18](http://www.ipea.gov.br/presenca/index.php?option=com_content&view=article&id=28&Itemid=18). Acesso em junho de 2019.

IRENA (2018) – **Renewable Power Generation Costs in 2017**. 2017. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable-power-generation-costs-in-2017> . Acesso em março de 2019.

JAIN R, MEHTAK, Mittal SK, “Modeling impact of solar radiation on site selection for solar PV power plants in India”, **Int J Green Energy**, v.8, pp. 486–98, 2009. Disponível <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15435075.2011.576293> Acesso em setembro de 2019.

JANG, J. S. R.; GULLEY, N., 1995. **Fuzzy Logic Toolbox User's Guide**. The Math Works Inc.

LABFUZZY. **Modelos E Sistemas**. COPPE – UFRJ. Disponível em <http://www.labfuzzy.coppe.ufrj.br/modelos.html> - Acesso em março de 2019.

LIMA, Fernando Rodrigues ; COSENZA, C.A.N. ; NEVES, Cesar das ; ALMEIDA, F.R. . “Sistema de informações gráficas georeferenciadas para estudos de localização de plantas de Biodiesel no Centro-Sul brasileiro”. In: **XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 1 2006, Fortaleza. Anais do ENEGEP. Disponível em

[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006\\_tr560372\\_7994.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_tr560372_7994.pdf) Acesso em abril de 2020.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. 2005. **Geographic Information Systems and Science**. John Wiley & Sons Ltd, Toronto. 2nd Edition, 2005.

LOVEGROVE, K. ; STEIN, W. **Concentrating solar power technology**.. Cap. 4. 1st Edition Principles, Developments and Applications. Cambridge, UK: Woodhead, 2012

LUBITZ, William, “Effect of manual tilt adjustments on incident irradiance on fixed and tracking solar panels”, **Applied Energy**, v.88, pp. 1710-1719, 2011. Disponível em 10.1016/j.apenergy.2010.11.008. Acesso em abril de 2020.

MARTINS, F. R., ABREU, S. L., PEREIRA, E. B, “Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil”, **Energy Policy, Guildford**, v. 48, p. 640-649, 2012. Disponível <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512005113> Acesso em setembro de 2019.

MARTINS, F. R., PEREIRA, E. B., ABREU, S.L. “Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project”, **Solar Energy**, v. 81, pp. 517–528, Set. 2007. Disponível em [http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/periodicos/SolarEnergy\\_2007\\_v81\(4\)\\_p517-528.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/periodicos/SolarEnergy_2007_v81(4)_p517-528.pdf) Acesso em setembro de 2019.

MARTINS, Guilherme Weber. Uma contribuição aos estudos de localização industrial: determinando o potencial de transporte aéreo de uma região com base no modelo de análise hierárquica coppe-cosenza Dissertação de Mestrado– COPPE – UFRJ – 2010. Disponível em [http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe\\_m/GuilhermeWeberMartins.pdf](http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/GuilhermeWeberMartins.pdf) Acesso em abril de 2020.

MEKHILEF S, SAIDUR R, SAFARI A, “A review on solar energy use in industries”, **Renew Sustain Energy Rev**; v. 15, pp1777–90, 2011. Disponível em 10.1016/j.egypro.2017.03.068 Acesso em abril de 2020.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **O desafio do conhecimento**. São Paulo: Hucitec, 1993.

Ministério do Meio Ambiente. 2019. Disponível em <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao>. Acessado em maio de 2019

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Áreas Protegidas**, 2019. Disponível em <https://www.mma.gov.br/areas-protegidas.html>. Acesso em abril de 2020.

MIRHOSSEINI, M., SHARIFI, F., SEDAGHAT, A., “Assessing the wind energy potential locations in province of Semnan in Iran”, **Renew. Sustain. Energy Rev**, v.15, pp. 449– 459, 2011. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110003163> Acesso em setembro de 2019.

MIT. **The Future of Solar Energy**, 2015. Disponível em: <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2015/05/MITEI-The-Future-of-Solar-Energy.pdf>. Acesso em março de 2019.

MORAGA, Claudio, “Introduction to Fuzzy Logic”. **Facta universitatis - series: Electronics and Energetics**, v.18, pp. 319-328, 2005. Disponível em 10.2298/FUEE0502319M. Acesso em abril de 2020.

MORATO, Rúbia Gomes. Machado, Reinaldo Paul Pérez. **Notas de Aula**. USP (Universidade de São Paulo). 2017. Disponível em <https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=71661> Acesso em abril de 2019.

MORÉ, J. D. **Aplicação da lógica fuzzy na avaliação da confiabilidade humana nos ensaios não destrutivos por ultra-som**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2004. Disponível em <http://www.metalmat.ufrj.br/index.php/br/pesquisa/producao-academica/teses/2004/77--68/file> Acesso em abril de 2020.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). **Global Temperature**. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/> Acesso em março de 2018

NEMET, G. F, “Beyond the learning curve: factors influencing cost reductions in photovoltaics”. **Energy Policy**, v. 34, p. 3218-3232, 2006. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421505001795> Acesso em setembro de 2019.

NEVES, C. ; COSENZA, C.A.N. ; LIMA, F. R. “Estudo de competitividade do biodiesel da mamona em relação ao da soja no nordeste”. In: **XI Congresso Brasileiro de Energia**, Rio de Janeiro. Anais do XI CBE, v. II. p. 725-736, 2006.

NIÑO, Laura Marina Valencia, **Seleção De País Destino Com Base Em Método Fuzzy De Tomada De Decisão Multi-Critério: Estudo De Caso De Exportação De Farinha De Mandioca**, Tese de Mestrado, COPPE – UFRJ, 2011. Disponível em <http://www.pep.ufrj.br/index.php/en/theses-and-dissertations/dissertation/2011-1/365--321> Acesso em abril de 2020.

NREL (United States National Renewable Energy Laboratory). **Best Research-Cell Efficiency Chart**. 2018. Disponível em (<https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html/>). Acesso em abril de 2019

NREL. **A Retrospective Analysis of the Benefits and Impacts of U.S. Renewable Portfolio Standards**, 2016. Disponível em [www.nrel.gov/publications](http://www.nrel.gov/publications). Acesso em maio de 2019.

ONG SOS Mata Atlântica. **Mata Atlântica**. 2019. Disponível em <https://www.sosma.org.br/causas/mata-atlantica/>. Acesso em maio de 2019.

PANWAR, N.L, KAUSHIK, S. C., KOTHARI, S., “Role of renewable energy sources in environmental protection: a review”, **Renew Sustain Energy Rev**, v.15, pp.1513–24,

2011. Disponível em  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110004065>  
Acesso em setembro de 2019.

PEREIRA R. C. A., BARROS C. F. O., IGNÁCIO A. A.V. “Modelo de localização hierárquica de usinas de pirólise”. **XVII – SPOLM – Simpósio de pesquisa operacional e Logística da Marinha**, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em  
<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/modelo-de-localizacao-hierrquica-de-usinas-de-pirlise-9886> Acesso em abril de 2020.

PEREIRA, Enio Bueno. MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna. RUTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, INPE. 1ª Edição. 2006.

PEREIRA, Enio Bueno. MARTINS, Fernando Ramos. GONÇALVES, André Rodrigues. COSTA, Rodrigo Santos. LIMA, Francisco J. Lopes. RÜTHER, Ricardo. ABREU, Samuel Luna. TIEPOLO, Gersom Máximo. PEREIRA, Silvia Vitorino. SOUZA, Jefferson Gonçalves. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, INPE. 2ª Edição. 2017.

PEREIRA, Ruam Carlos Alves. BARROS, Carlos Frederico Oliveira. PEREIRA, Valdecy, “Aplicação e análise do modelo fuzzy hierárquico COPPE-COSENZA em uma decisão de localização”, **Revista ENGEVISTA**, V. 20, n.1, p. 79-98, Fevereiro 2018. Disponível em <https://doi.org/10.22409/engevista.v20i1.1009> Acesso em abril de 2020.

PEREIRA, Alexandrino Tadeu Felonta. **Projeto, construção e análise de um sistema de posicionamento automático de painel solar fotovoltaico**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2016. Disponível em  
[http://www.ufjf.br/eletrica\\_energia/files/2016/09/TCC\\_ALEXANDRINO-PEREIRA](http://www.ufjf.br/eletrica_energia/files/2016/09/TCC_ALEXANDRINO-PEREIRA)  
Acessp em abril de 2020.

PRATI, Ronaldo. **Sistemas Fuzzy**. Notas de Aula, 2018. Disponível em:  
<http://professor.ufabc.edu.br/~ronaldo.prati/InteligenciaArtificial/AulaFuzzy.pdf>  
Acesso em março de 2018

PORTAL G1. **Com investimento de R\$ 22 mi, empresa anuncia instalação da primeira usina de energia solar em Uberaba, 2018**. Disponível em:  
<https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/concursos-e-emprego/noticia/2018/11/24/com-investimento-de-r-22-mi-empresa-anuncia-instalacao-da-primeira-usina-de-energia-solar-em-uberaba.ghtml>Acesso em abril de 2018

RADZIEMSKA, E. “The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells”, **Renewable Energ**, v. 28, pp.1–12, 2003. Disponível em  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148102000150> Acesso em setembro de 2019.

RAMALHO FILHO, Antonio. **Aptidão agrlcola das terras do Brasil: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliiação**, Rio de Janeiro : Embrapa Solos,

1999. Disponível em <file:///Users/CLARA/Desktop/Aptidaoagricula.pdf> Acesso em abril de 2020.

RAMEDANI Z, OMID M, KEYHANI A., “Modeling solar energy potential in Tehran province using artificial neural networks”, *Int J Green Energy*, v.10:pp. 427–41, 2013. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/236345200\\_Modeling\\_Solar\\_Energy\\_Potential\\_in\\_a\\_Tehran\\_Province\\_Using\\_Artificial\\_Neural\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/236345200_Modeling_Solar_Energy_Potential_in_a_Tehran_Province_Using_Artificial_Neural_Networks) Acesso em setembro de 2019.

RAMPINELLI, G. A., 2007. Análise da Distribuição de Tensões Elétricas em uma Associação de Módulos de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Dissertação de Mestrado, PROMEC, UFRGS.

RAZYKOV, T.M., FERKIDES, C.S., MOREL, D., STEFANAKOS, E., ULLAL, H.S., UPADHYAYA, H.M., “Solar photovoltaic electricity: current status and future prospects”, *Sol. Energy*, v. 85 n(8), pp.1580–1608, 2011. Disponível em [https://www.academia.edu/9580138/Solar\\_photovoltaic\\_electricity\\_Current\\_status\\_and\\_future\\_prospects](https://www.academia.edu/9580138/Solar_photovoltaic_electricity_Current_status_and_future_prospects) Acesso em abril de 2020.

RELVA, Stefania Gomes. **Método de Caracterização da Irradiação Para Geração Fotovoltaica: Uma Análise Sistêmica da Modelagem da Energia Primária**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo (USP) – Escola Politécnica. Disponível em <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-17032017-141345/pt-br.php> Acesso em abril de 2020.

REN21. **Renewables Global Futures Report**, 2017. Disponível em [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/10/GFR-Full-Report-2017\\_webversion\\_3.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/10/GFR-Full-Report-2017_webversion_3.pdf) Acesso em fevereiro de 2019.

RHEINGANTZ, P. A. **Aplicação do Modelo de Análise Hierárquica COPPETECCOSENZA na avaliação de edifícios de escritório**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisas em Engenharia, Rio de Janeiro.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999.

ROSS, Timothy J., **Fuzzy Logic With Engineering Applications**, 3ª Edição, Editora Wiley, 2010

ROSSI, Giovanni Massimo Maria. **Considerações adicionais sobre os modelos de hierarquia localizacional usando lógica e matemática fuzzy**. Tese de Doutorado. COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em <http://www.producao.ufrj.br/index.php/en/theses-and-dissertations/doutorado/2013-1/81--72/file> Acesso em abril de 2020.

SAATY, TL. **The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation**. New York: McGraw-Hill; 1980.

SAMPAIO, Priscila Gonçalves Vasconcelos, GONZÁLEZ, Mario Orestes Aguirre. "Photovoltaic solar energy: Conceptual framework," **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, vol. 74(C), pages 590-601, 2017.. Disponível em : [http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws\\_home/600126/description#description](http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/600126/description#description) Acesso em abril de 2020.

SCHLECHT, M., MEYER, R. "Site selection and feasibility analysis for concentrating solar power (CSP) systems". **Woodhead Publishing Series in Energy**, pp. 91-119, 2012. Disponível em <https://doi.org/10.1533/9780857096173.1.91> Acesso em abril de 2020.

SEBRAE. **Panorama do Rio de Janeiro: Mercado de Trabalho, Desigualdade, Pobreza e Empreendimento**. 2017. Disponível em <http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/RJ/Menu%20Institucional/Nota45.pdf> Acesso em maio de 2019.

SEDRA, A. S. **Microelectronic circuits**. (The Oxford series in electrical and computer engineering), 6th ed ed. New York: Oxford University Press, 2010.

SHARMA, V., CHANDEL, S. S. "Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: A review", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, pp. 753–767, Ago. 2013. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113004917> Acesso em abril de 2020.

SILVA, Klebson; FERNANDEZ, Elisabete Camilo; LIMA, Carlos André Dantas de; FAGUNDES, Wendell Sanatana. "Tendências e Perspectivas dos Sistemas de Informações Geográficas no ensino". 4º GEO ALAGOAS. **Simpósio sobre as Geotecnologias e Geoinformação do Estado de Alagoas**. 2016. Disponível em <http://dados.al.gov.br/dataset/335fcc77-1d45-4ad6-9542-c29330187507/resource/fa27126c-7c08-4c72-85a4-14edfe8560e8/download/tendenciaseperspectivasdossistemasdeinformacoesgeograficasnoensino.pdf> Acesso em abril de 2020.

SIMIONI, Tássio. **O Impacto da Temperatura para o Aproveitamento do Potencial Solar Fotovoltaico do Brasil**. COPPE-UFRJ. Dissertação de Mestrado. 2017. Disponível em [http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/T%C3%A1ssio\\_Simioni.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/T%C3%A1ssio_Simioni.pdf) Acesso em 2019.

SINDHU, Sonal; NEHRA, Vijay; LUTHRA, Sunil. "Solar energy deployment for sustainable future of India: Hybrid SWOC-AHP analysis". **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, pp. 1138-1151, 2016. Disponível em 10.1016/j.rser.2016.10.033, Acesso em abril de 2020.

SINGH, J.M. **On Farm Energy Use Pattern in Different Cropping Systems in Haryana, India** (MS. Thesis). International Institute of Management, University of Flensburg, 2002.

STIVARI, S. M. S; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. On the climate impact of the local circulation in the Itaipu lake área. **Climatic Change**, v.72(1-2), pp. 103-121, 2005. Disponível em 10.1007/s10584-005-5923-2 Acesso em abril de 2020.

TAHRI, Meryem & MUSTAPHA, Hakdaoui & MAANAN, Mohamed. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.51, pp. 1354–1362. Disponível e 10.1016/j.rser.2015.07.054. Acesso em abril de 2020.

TANAKA, Kazuo – **An Introduction to Fuzzy Logic For Practical Applications** – Springer, 1997

TANSCHHEIT, R. **Sistemas fuzzy**. Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/sumar/ensino/sistemas-fuzzy/sistemas-fuzzy/ICA-Sistemas%20Fuzzy.pdf> Acesso em abril de 2020.

THIRUGNANASAMBANDAM M, INIYAN S, GOIC R. Are view of solar thermal technologies. J. Renew. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**; v. 14, pp.312–22, 2010. Disponível em doi:10.1016/j.rser.2009.07.014.. Acesso em abril de 2020.

TIEPOLO, G. M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. 2015. 288p. (Tese doutorado). Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – PPGEPS. Curitiba, 2015.

TOLEDO, O. M., COSENZA Carlos Alberto Nunes. “Metodologia de Avaliação de desempenho Baseada em Lógica Fuzzy”. In: **XXXII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia COBENGE**, 2004, Brasília. Disponível em [http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/15/artigos/02\\_197.pdf](http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/15/artigos/02_197.pdf) Acesso em abril de 2020.

TOLMASQUIM, Marício Tiommo. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016.

TSOUTSOS, T.; FRANTZESKAKI, N.; GEKAS, V. “Environmental impacts from the solar energy Technologies”. **Energy Policy**, v.33, pp. 289–296, 2005. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421503002416> Acesso em setembro de 2019.

TYAGI, Vineet, A.A. Rahim, Nurul; Abd Rahim, Nasrudin, Selvaraj, Jeyraj. “Progress in solar PV technology: Research and achievement”. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, pp. 443-461, 2013. Disponível em 10.1016/j.rser.2012.09.028. Acesso em abril de 2020.

UNION OF CONCERNET SCIENTISTS. **Concentrating Solar Power Plants**, 2015. Disponível em <https://www.ucsusa.org/clean-energy/renewable-energy/concentrating-solar-power-plants>. Acesso em abril de 2018

UNITED NATIONS (UN). **Adoption of the Paris Agreement. In Proceedings of the Conference of the Parties**, Paris, France, 2015. Disponível em [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf) Acesso em setembro de 2019.

UYAN, M. “GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey, Renew. Sustain”. **Energy Rev**, v. 28, pp. 11e17, 2013. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.042>. Acesso em abril de 2020

VAAN, B. V, RABL, A., “The learning potential of photovoltaics: implications for energy policy”, **Energy Policy**. 32 pp. 1545e1554, 2004. Disponível em [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00126-5](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00126-5) Acesso em abril de 2020.

VAAN, B. V., **Technology Learning for Energy Policy Making**, ECN, 2007.

VASCONCELLOS, Liliana & GUEDES, Luis. E-surveys: Vantagens e limitações dos questionários eletrônicos via internet no contexto da pesquisa científica. **X Semead--Seminários em Administração Programa de Pós-Graduação em Administração**. 9-10, 2007. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/319774242\\_E-Surveys\\_Vantagens\\_e\\_Limitacoes\\_dos\\_Questionarios\\_Eletronicos\\_via\\_Internet\\_no\\_Contexto\\_da\\_Pesquisa\\_Cientifica](https://www.researchgate.net/publication/319774242_E-Surveys_Vantagens_e_Limitacoes_dos_Questionarios_Eletronicos_via_Internet_no_Contexto_da_Pesquisa_Cientifica) Acesso em abril de 2020.

VERGARA, Walter. ALATORRE, Claudio. ALVES, Leandro. “Rethinking Our Energy Future”, **GFLAC Regional Forum. Banco Interamericano de Desenvolvimento**, No. IDB-DP-292, 2013. Disponível em <https://www.imf.org/external/np/seminars/eng/2013/caribbean/pdf/rethinking.pdf> Acesso em abril de 2020.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R.; FILHO, E. R. “Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays”. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 24, n. 5, p. 1198–1208, 2009. Disponível em <https://www.nipe.unicamp.br/docs/publicacoes/comprehensive.pdf> Acesso em abril de 2020.

VINUTO, Juliana. “A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate em aberto”. **Temáticas**, v.22, (44), pp. 203-220, Campinas, 2014. Disponível em [https://pdfs.semanticscholar.org/cd8e/3ecb215bf9ea6468624149a343f8a1fa8456.pdf?\\_ga=2.138987059.1207383671.1588289066-993763406.1588289066](https://pdfs.semanticscholar.org/cd8e/3ecb215bf9ea6468624149a343f8a1fa8456.pdf?_ga=2.138987059.1207383671.1588289066-993763406.1588289066) Acesso em abril de 2020

WAGNER, A.. **Extração de Conhecimento a partir de Redes Neurais aplicada ao Problema da Cinemática Inversa na Robótica**. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) Porto Alegre: Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, 2003.

WEBER, Leo e KLEIN, Pedro Antonio Trierweiler. **Aplicação da Lógica Fuzzy em Software e Hardware**. Canoas: Ed. Ulbra, 2003.

XAVIER DA SILVA, J. . **Geoprocessamento para análise ambiental**. 1a ed. Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, 2001. v. 1. 228 p.

YUN-NA, W., YI-SHENG, Y., TIAN-TIAN, F., LI-NA K., WEI L., LUO-JIE F., “Macro-site selection of wind/solar hybrid power station based on Ideal Matter-Element Model”, **Int. J. Electr. Power & Energy Syst**, v. 50, pp. 76e84, 2013. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061513000847> Acesso em setembro de 2019.

YELMEN, B.; ÇAKIR, M.T. “Influence of temperature changes in various regions of Turkey on powers of photovoltaic solar panels”. **Energy Sources Part A Recover. Util. Environ. Eff**, v. 38, pp. 542–550, 2016 Disponível em <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567036.2011.551925> Acesso em setembro de 2019

YERLI, Bihter; KAYMAK, Mustafa K.; IZGI, Ercan; ÖZTOPAL, Ahmet; ŞAHIN, Ahmet D, “Effect of derating factors on photovoltaics under climatic conditions in Istanbul”. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 44, pp. 1400-1404. 2010. Disponível em <http://connection.ebscohost.com/c/articles/60741594/effect-derating-factors-photovoltaics-under-climatic-conditions-istanbul> Acesso em abril de 2020.

ZADEH, L.A. (1965) **Fuzzy Sets. Information and Control**, vol. 8 pp. 338–353, 1965. Disponível em [http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X) Acesso em abril de 2020.

ZAHEDI, A. “A review of drivers, benefits, and challenges in integrating renewable energy sources into electricity grid”. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v.15, n.9 pp. 775-4779, 2011. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032111003194> Acesso em abril de 2020.

ZILLES, R. Geração distribuída e sistemas fotovoltaicos conectados à rede. **Assembléia Geral Ordinária dos Associados da COGEN**, USP, Instituto de Eletrotécnica e Energia - Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos, 2011, Disponível em: [http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/workshop/2011/Geracao\\_Distribuida\\_Sist\\_Fotovoltaicos\\_29032011.pdf](http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/workshop/2011/Geracao_Distribuida_Sist_Fotovoltaicos_29032011.pdf) Acesso em abril de 2020.

ZILLES, R.; MACEDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede Elétrica**. 1. Ed. São Paulo: Oficinas de Textos v.1. 208p. 2012. Disponível em <http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/degustacao-ok.pdf> Acesso em abril de 2020.

ZOGHI, Mahmood; EHSANI, Amir H.; SADAT, Mahdis; AMIRI, Mohammad J.; KARIMI, Spedieh. Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN. **Renew Sustain Energy Rev**, v. 68, n.2, pp. 1364-0321, 2015. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014> Acesso em abril de 2020.

## APÊNDICE

### Localização de Usina Solar Fotovoltaica

Este questionário faz parte da minha dissertação de mestrado que tem como objetivo determinar as melhores localizações de uma usina solar fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro.

Ao respondê-lo, você me ajudará a determinar o grau de importância dos critérios relevantes para a localização desta usina, variando do crítico ao irrelevante, onde:

- Crítico: quando a ausência do fator impede a usina de se localizar neste ponto
- Condicionante: quando a ocorrência do fator é importante, sendo que sua ausência pode comprometer (mas não impedir) a decisão de localização;
- Pouco condicionante: quando a presença do fator interfere de algum modo, mas não compromete a decisão de localização;
- Irrelevante: ou seja, a ausência do fator não gera nenhum constrangimento à implantação da usina solar.

Qualquer dúvida peço, por gentileza, que entre em contato comigo:

Marco Pereira de Souza - (21) 99915-3994 - marcopsh@hotmail.com /  
arcopg@gmail.com

Desde já, muito obrigado por responder esta pesquisa e fique certo que a sua participação permanecerá anônima.

**Email address:**

---

**Nome:**

---

**Titulação:**

( ) Nível médio / ( ) Nível Superior / ( ) Mestrado / ( ) Doutorado ou Pós-doutorado

**Tempo de experiência com energia solar:**

( ) 1 até 4 anos / ( ) 5 até 8 anos / ( ) 9 até 12 anos / ( ) mais de 12 anos

**Descreva, resumidamente, a sua experiência com energia solar:**

---

---

**De acordo com a classificação mostrada acima, eleja a importância dos critérios abaixo para a determinar a melhor localização de uma usina solar fotovoltaica.**

	Pouco			
	Crítico	Condicionante	Condicionante	Irrelevante
Irradiação solar	( )	( )	( )	( )
Inclinação do terreno	( )	( )	( )	( )
Orientação do terreno (azimute)	( )	( )	( )	( )
Temperatura	( )	( )	( )	( )
Acessibilidade do local	( )	( )	( )	( )
Proximidade a centros urbanos (demanda)	( )	( )	( )	( )
Proximidade a infraestrutura de transmissão	( )	( )	( )	( )
Aptidão agrícola do terreno	( )	( )	( )	( )

**Você poderia indicar uma ou mais pessoas com conhecimento na área para responder este questionário?**

---

---