

Análise da localização de um usina solar fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro utilizando o método analítico de hierarquias

Marco Pereira de Souza (COPPE-UFRJ)
marcopsh@hotmail.com

Luis Claudio Bernardo Moura (COPPE-UFRJ)
slmoura10@ig.com.br

Carlos Navarro Fontanillas Brasil (COPPE-UFRJ)
navarro.ufrj@gmail.com

Carlos Alberto Nunes Cosenza (COPPE-UFRJ)
cosenzacoppe@gmail.com

Harvey José Santos Ribeiro Cosenza (UFF)
harveycosenza@gmail.com

A energia solar fotovoltaica está se tornando uma alternativa viável e não poluente para a geração de energia elétrica frente aos 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, foi utilizada para gerar os critérios que puderam ser aplicados no SIG (Sistema de Informações Geográficas). A revisão de artigos que utilizaram o Método Analítico de Hierarquias proporcionou o grau de importância para os critérios selecionados. 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, com o potencial mais reduzido na região serrana, devido a menor insolação e declividade maior.

Palavras-chave: Energia Solar, Usina, Localização, Rio de Janeiro



1. Introdução

A energia é fator primordial para o desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida das sociedades atuais (SINGH, 2002). Conseqüentemente, obter esse recurso de maneira sustentável e competitiva é crucial (TSOUTSOS *et. al.* 2005).

De acordo com Pereira *et al.* (2006) e Santos *et al.* (2015) o aumento da demanda de energia somado à redução da oferta de combustíveis convencionais e à crescente preocupação ambiental são incentivos a pesquisar e desenvolver fontes alternativas de energia menos poluentes e renováveis.

O Banco Mundial (2019), através de relatórios disponíveis em seu site, afirma que o CO₂ proveniente da geração de energia elétrica, inclusive no Brasil, é um dos grandes responsáveis pelas mudanças climáticas. A ONU (Organização das Nações Unidas) afirmou que o investimento em energias renováveis para diminuir a utilização dos combustíveis fósseis é a melhor maneira de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa (UN, 2015).

A energia solar tem destaque neste cenário pois pode ser encontrada em qualquer local da Terra e compõe 99,8% de toda a energia que chega na superfície, tornando-a uma fonte de energia acessível e inexaurível (RAMEDANI *et al.*, 2013, AL-SHAMISI *et al.*, 2013 e JAIN, 2009).

Segundo a IRENA (*International Renewable Energy Agency*), a energia solar fotovoltaica vem se tornando cada vez mais competitiva devido à redução do seu custo (IRENA, 2018). É esperado que os custos de investimento de sistemas fotovoltaicos devam reduzir cerca de 30% entre 2020 e 2050 (EPE, 2018 - C) e, de acordo com a IRENA (2018), em 2020 espera-se que as grandes usinas fotovoltaicas gerem energia a um custo de aproximadamente U\$0,06 dólar por kwh, competindo com as fontes tradicionais de energia.

O Brasil contava, em 2018, com apenas 0,13% da sua capacidade de geração proveniente da energia solar (EPE, 2018 - A), embora o potencial de geração seja consideravelmente superior ao de países do hemisfério norte, quando comparados os níveis de irradiação solar (MARTINS *et al.*, 2007). Vale destacar que se espera que a demanda de energia elétrica cresça cerca de 200% até 2050 no país (EPE, 2018 – C).

Com base nesta realidade, este estudo tem como objetivo definir as melhores localizações para uma usina solar fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro. Segundo a Fundação CEPERJ (Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro), o Rio de Janeiro tem área de 43.752,8 km² (CEPERJ, 2019). A sua população é, de acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) de 17,2 milhões de

pessoas (IBGE, 2019). Com relação a sua economia a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN) afirma que o PIB per capita é 25% superior à média brasileira (FIRJAN, 2018).

Fica evidente, portanto, a necessidade de se investir em pesquisas na área da energia fotovoltaica e, nesse sentido, este artigo visa contribuir para este fim. Para se conhecer a localização ótima da usina solar fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro, será utilizado o método analítico de hierarquias, a lógica *fuzzy* e os sistema de informação geográficas (SIG). Esta escolha justifica-se pois a localização de usinas solares tem sido objeto de diversos estudos e o SIG, em combinação com as ferramentas de análise de decisão multicritério, são uma combinação frequente devido a possibilidade de aliar os dados quali-quantitativamente (ASAKEREH *et al.*, 2017).

2. Metodologia

Para determinar a localização de uma usina solar fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro serão seguidas as seguintes etapas:

- Revisar artigos acadêmicos para seleção dos fatores de localização;
- Alocar peso aos fatores de localização através dos artigos que utilizaram o método analítico de hierarquias;
- Determinar as zonas de restrição (locais onde a usina solar não poderá se localizar);
- Utilizar a lógica *fuzzy* para determinar as funções de pertinência dos fatores de localização selecionados;
- Gerar no SIG todas as camadas dos fatores de localização escolhidos;
- Gerar no SIG uma camada final ponderando os pesos de todos os fatores, mostrando as regiões mais propícias para a usina.

Vale destacar que, em alguns casos, os locais com maior incidência de luz solar não são as melhores localizações em virtude de outros fatores, que têm papel significativo na localização destas usinas. É necessário 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 maximizar o seu desempenho (CHEN *et al.* 2014, VAN HAAREN *et al.* 2011 e YUN-NA *et al.* 2013).

2.1. Método analítico de hierarquias

O método analítico de hierarquias é uma das ferramentas mais utilizadas para eleger alternativas, de maneira estruturada, diante de diversos objetivos. Este método permite a combinação de dados quantitativos e qualitativos, o que oferece uma estrutura robusta para lidar com problemas complexos (AL GARNI *et al.*, 2017).

De uma maneira simples, o método funciona através da comparação par a par dos critérios selecionados para a determinação do peso final de cada um desses critérios. Ao final há um teste de consistência para avaliar se o julgamento dos especialistas está condizentes (SAATY, 1980).

2.2. Lógica *fuzzy*

A lógica binária admite apenas os opostos (verdadeiro e falso). Portanto, não admite intervalos de verdade entre esses dois extremos. Ou seja, 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).

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 *et al.*, 1999) as palavras “bonito” e “novo”, que dependem do julgamento do indivíduo.

Um conjunto *fuzzy* A em um universo U é definido por uma função de pertinência μ_A que assume valores em um intervalo [0,1], que determina o grau em que um determinado elemento pertence a um conjunto (GOMIDE *et al.*, 1995). 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.

Portanto, a utilização da lógica *fuzzy* se faz necessária para determinar a localização de uma usina solar fotovoltaica devido à sua flexibilidade diante aos mais diversos fatores de localização que serão elencados.

2.3. Sistema de informações geográficas

Um SIG é um sistema projetado para trabalhar com dados referenciados por coordenadas espaciais ou geográficas. Esses sistemas são utilizados para armazenamento, gerenciamento, análise e exibição de dados geograficamente referenciados, sendo ferramentas valiosas para planejamento e tomada de decisão em múltiplos contextos nos quais dados georreferenciados desempenham um papel relevante (SANCHEZ-LOZANO *et al.*, 2014), além de serem cada vez mais utilizados para a determinação da localização ótima de projetos de energia renovável (LEWS *et al.*, 2014).

3. Desenvolvimento

3.1. Revisão de artigos

Foram revisados 20 artigos acadêmicos, conforme mostrado na tabela 1, que abordam a localização de usinas solares fotovoltaicas, sendo que a maior parte deles utiliza a combinação de SIG com o método analítico de hierarquias, tendência confirmada por Pohekar (2004).

Tabela 1 - Lista de artigos

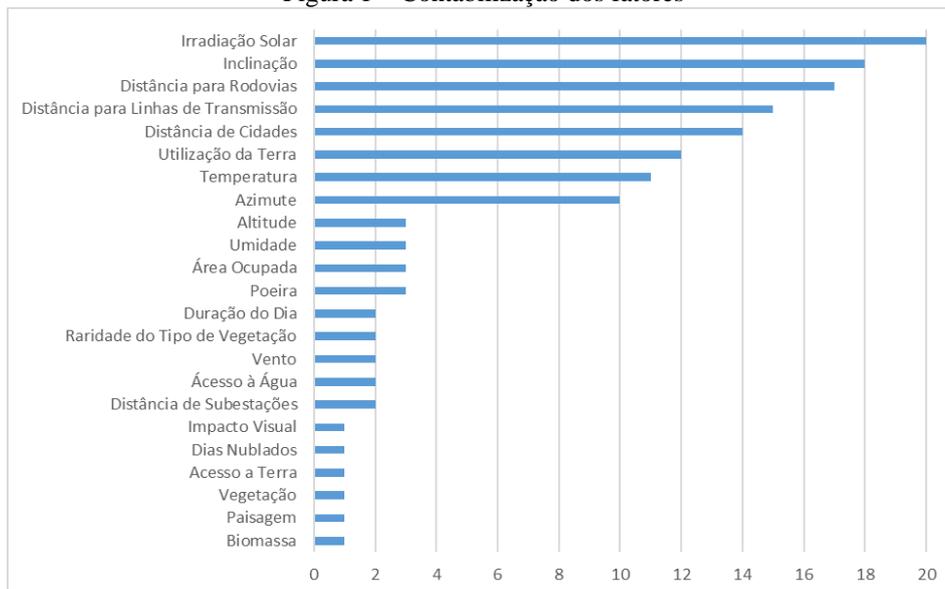
Revista	Quantidade
<i>2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)</i>	1
<i>Applied Energy</i>	2
<i>Energies</i>	1
<i>Energy</i>	1
<i>Energy Conversion and Management</i>	1
<i>Energy Strategy Reviews</i>	1
<i>Environmental Earth Sciences</i>	1
<i>International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS</i>	1
<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	6
<i>Renewable Energy</i>	3
<i>Solar Energy</i>	2

Fonte: Autores (2020)

3.2. Seleção dos fatores de localização

A escolha dos fatores de localização neste artigo, definiu-se com base no levantamento dos artigos referidos, considerando aqueles fatores presentes em 40% ou mais dos artigos analisados, isto é, oito 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. A figura 1 mostra a contabilização dos fatores.

Figura 1 – Contabilização dos fatores



Fonte: Autores (2020)

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

- **Irradiação Solar:** o Banco Mundial (2011) afirma que altos índices de irradiação solar é o fator mais básico para se desenvolver um projeto de usina solar fotovoltaica em uma região. Em uma determinada área, quanto maior a irradiação solar, maior é o potencial de geração fotovoltaica de energia elétrica (ARNETTE *et al.* 2011).
- **Temperatura média:** dentre os fatores de perda para a geração de energia solar fotovoltaica destaca-se a redução da eficiência elétrica com o aumento da temperatura de operação (SIMIONI, 2017).
- **Proximidade a Linhas de Transmissão:** é crucial utilizar 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 elevados e proporcionais ao seu comprimento (AZEVEDO, 2016).
- **Proximidade a Rodovias:** 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).

- **Proximidade de Centros Urbanos:** a EPE (2018-B) afirma que a geração de energia 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.
- **Inclinação do terreno:** de acordo com o Banco Mundial (2011), o terreno plano ainda reduz significativamente os custos de instalação e manutenção.
- **Azimute:** o Banco Mundial (2011) afirma que, no hemisfério Sul, os painéis devem ser voltados para o norte a fim de receberem a maior radiação solar possível.
- **Utilização da terra:** os artigos revisados consideraram a “utilização da terra” como a fertilidade do solo. Isto é, solos férteis e voltados para a agricultura, se convertem em um fator restritivo para a localização de uma usina solar fotovoltaica.

Todos os artigos consideraram zonas de restrição, isto é, regiões em que a usina fotovoltaica não poderia se localizar, seja por questões legais ou por uma restrição física. Neste quesito tem-se as seguintes restrições para a localização de uma usina solar fotovoltaica:

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

3.3. Importância dos fatores de localização

Dos 20 artigos, nove foram excluídos para a análise da importância dos fatores de localização pois não utilizaram o método analítico de hierarquias ou, quando utilizaram, agruparam os fatores de localização, tornando inviável isolá-los para a determinação da importância individual.

A partir dos 11 artigos restantes foi feita a média aritmética dos pesos de cada fator de localização e, depois, estes valores foram corrigidos para a soma totalizar 100%, conforme demonstra a tabela 2.

Tabela 2 – Peso dos fatores

Irradiação Solar	Temperatura	Inclinação	Azimute	Distância para Rodovias	Distância para Linhas de Transmissão	Distância de Cidades	Utilização da Terra	Total
42,41%	11,34%	13,69%	8,50%	5,33%	9,12%	5,68%	3,92%	100%

Fonte: Autores (2020)

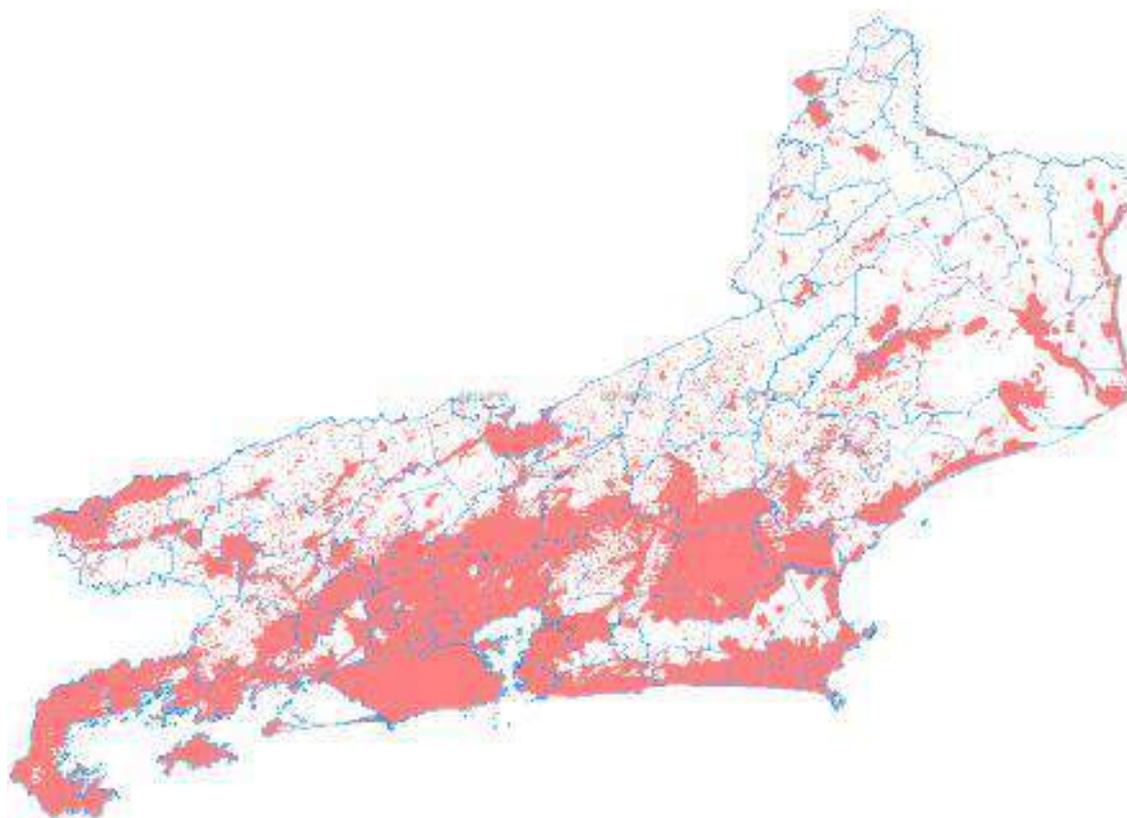
Analisando a tabela 2 percebe-se que a irradiação solar corresponde a cerca de 42% da importância para a localização de usinas fotovoltaicas. Os fatores que dependem da intervenção humana, majoritariamente relativos à presença ou não de infraestrutura, como a distância de rodovias e linhas de transmissão, somam 20,13%. Isto é, os fatores relativos ao meio ambiente e geografia correspondem a aproximadamente 80% da importância, enquanto fatores humanos e de infraestrutura representam cerca de 20% dessa fração.

4. Aplicação do Método

4.1. Delimitação da zona de restrição

Com base nas zonas de restrição elencadas no item 3.2 foi possível determinar as regiões em que a usina fotovoltaica não poderá ser localizada, conforme mostrado na figura 2:

Figura 2 – Zonas de restrição



Fonte: Autores (2020)

Analisando a figura 2, percebe-se a impossibilidade de localizar a usina na maior parte da região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, devido ao elevado grau de urbanização e, também, a impossibilidade da localização em grande parte da Região Serrana e da Costa Verde, em virtude das zonas de conservação ambiental.

Em seguida é necessário averiguar a disponibilidade dos fatores de localização nas zonas onde é possível localizar a usina solar.

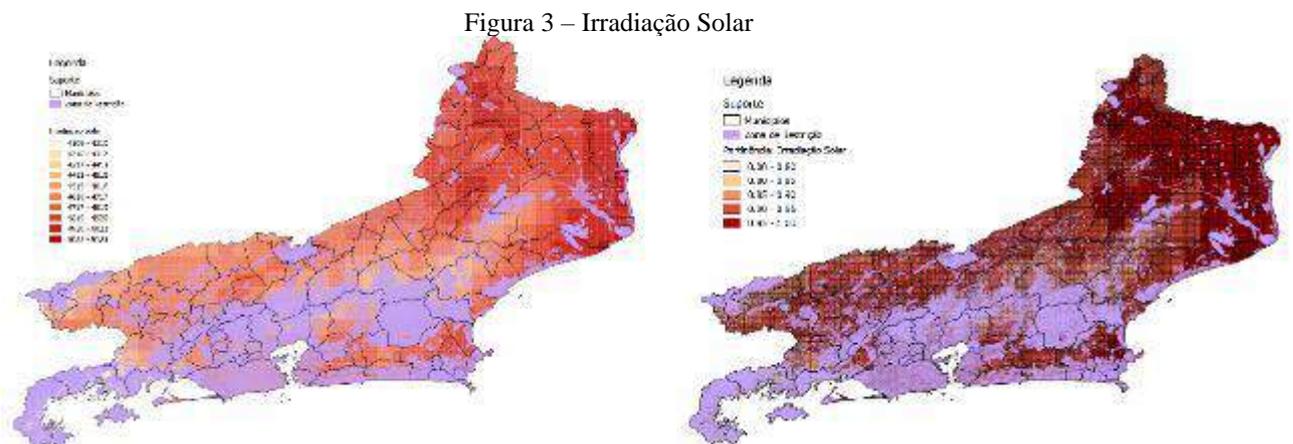
A lógica *fuzzy* e as funções de pertinência foram usadas para criar todas as camadas, que representam cada fator de localização a ser utilizado no SIG. Cada camada tem um valor entre zero e um. Quanto maior o valor, maior é a adequação do fator de localização para a instalação da usina solar fotovoltaica. Usando os pesos de cada fator de localização, com base nos estudos anteriores, forma-se a camada final em que se tem as melhores localizações para a usina solar fotovoltaica. Vale ressaltar que a definição das funções de pertinência *fuzzy* foram desenvolvidas a partir dos fatores de localização escolhidos através da análise dos artigos revisados.

4.2. Aplicação aos fatores selecionados

- Irradiação solar:

$$\mu(X) = \frac{X}{5200}$$

onde x = irradiação solar



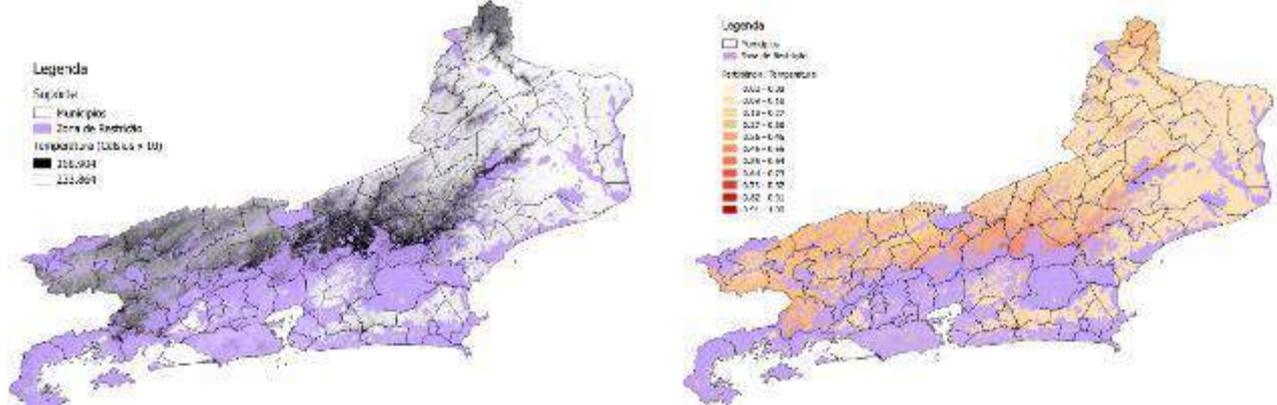
Fonte: Autores (2020)

- **Temperatura média:**

$$\mu(X) = 1 - 0,334X$$

onde X = temperaturas superiores a 9°C.

Figura 4 – Temperatura Média



Fonte: Autores (2020)

- **Proximidade a linhas de transmissão:**

$$\mu(X) = 1 \text{ para } 0 < X < 5\text{km}$$

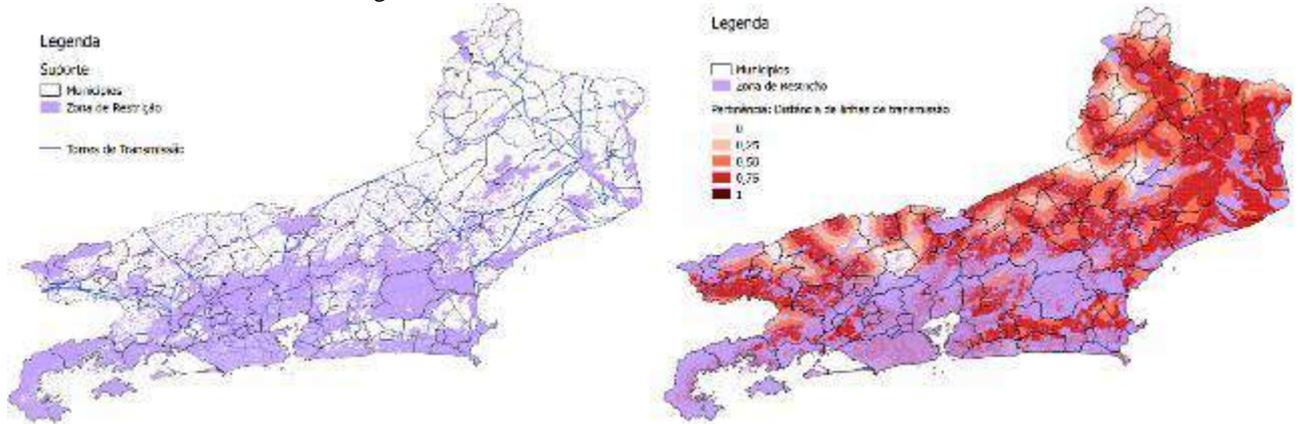
$$\mu(X) = 0,75 \text{ para } 5 < X < 10\text{km}$$

$$\mu(X) = 0,5 \text{ para } 10 < X < 15\text{km}$$

$$\mu(X) = 0,25 \text{ para } 15 < X < 20\text{km}$$

$$\mu(X) = 0 \text{ para } X > 20\text{km}$$

Figura 5 – Proximidade a Linhas de Transmissão



Fonte: Autores (2020)

- **Proximidade a Rodovias:**

$$\mu(X) = 1 \text{ para } 0 < X < 2,5\text{km}$$

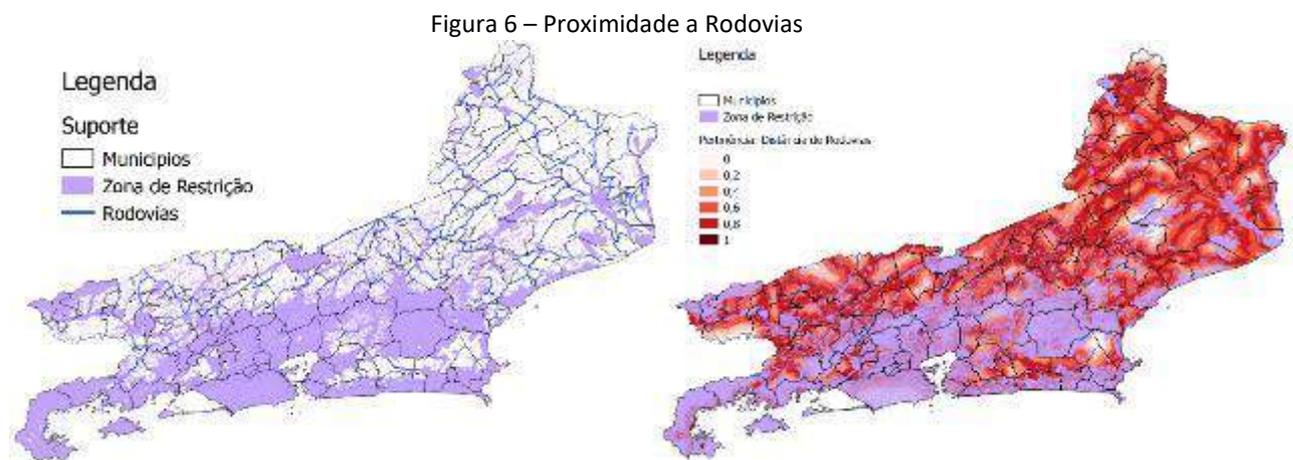
$$\mu(X) = 0,8 \text{ para } 2,5 < X < 5\text{km}$$

$$\mu(X) = 0,6 \text{ para } 5 < X < 7,5\text{km}$$

$$\mu(X) = 0,4 \text{ para } 7,5 < X < 10\text{km}$$

$$\mu(X) = 0,2 \text{ para } 10 < X < 12,5\text{km}$$

$$\mu(X) = 0 \text{ para } X > 12,5\text{km}$$



Fonte: Autores (2020)

- **Proximidade de centros urbanos:**

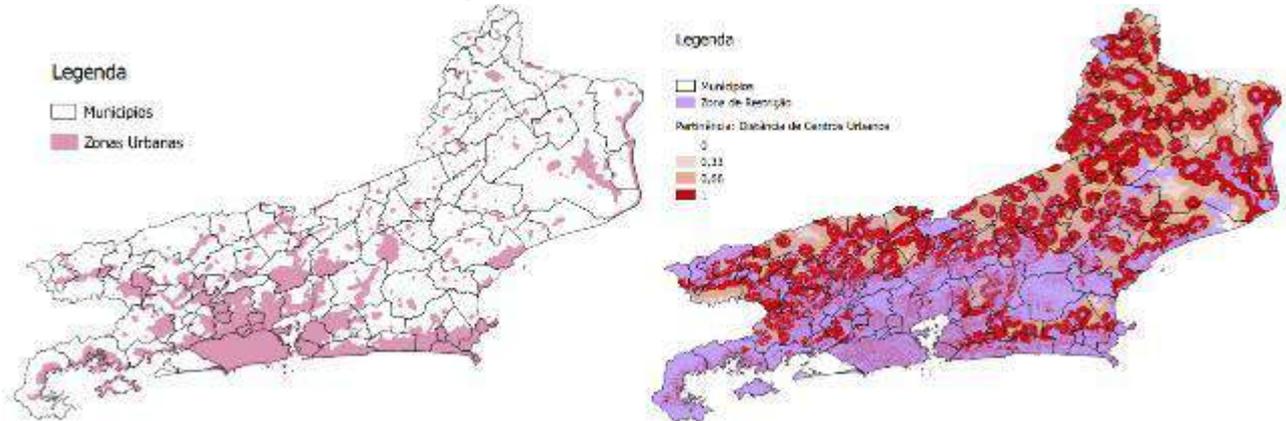
$$\mu(X) = 1 \text{ para } 0 < X < 5\text{km}$$

$$\mu(X) = 0,66 \text{ para } 5 < X < 10\text{km}$$

$$\mu(X) = 0,33 \text{ para } 10 < X < 15\text{km}$$

$$\mu(X) = 0 \text{ para } X > 15\text{km}$$

Figura 7 – Distância de centros

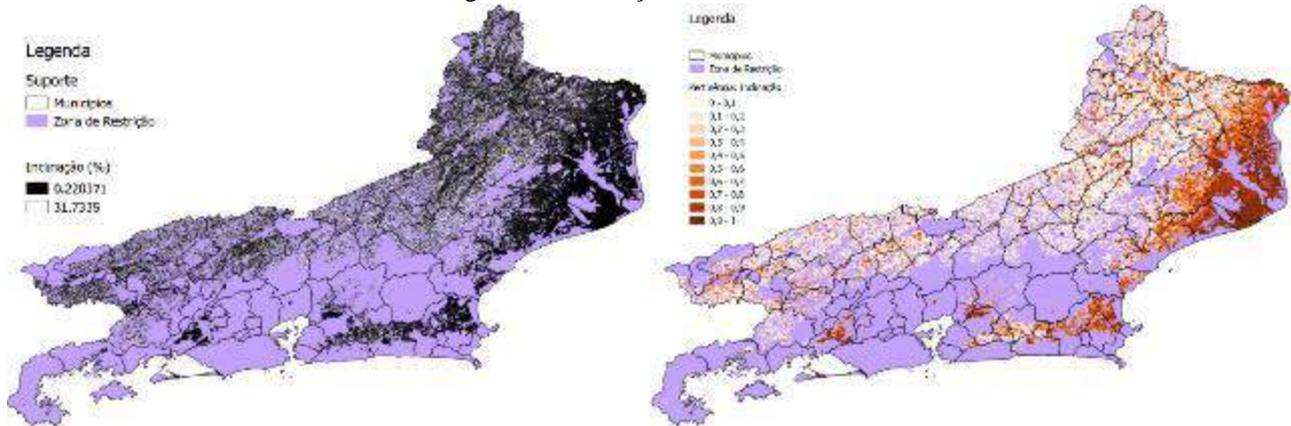


Fonte: Autores (2020)

- Inclinação do terreno:**

$\mu(X) = 1 - X$, onde X é percentual de inclinação. Se $x > 10$, $\mu(X) = 0$

Figura 8 – Inclinação do terreno



Fonte: Autores (2020)

- Azimute:**

Se inclinação do terreno $< 2\%$, $\mu(X) = 1$

Azimute = Norte, $\mu(X) = 1$

Azimute = Nordeste, $\mu(X) = 0,7$

Azimute = Noroeste, $\mu(X) = 0,7$

Azimute = Leste, $\mu(X) = 0,5$

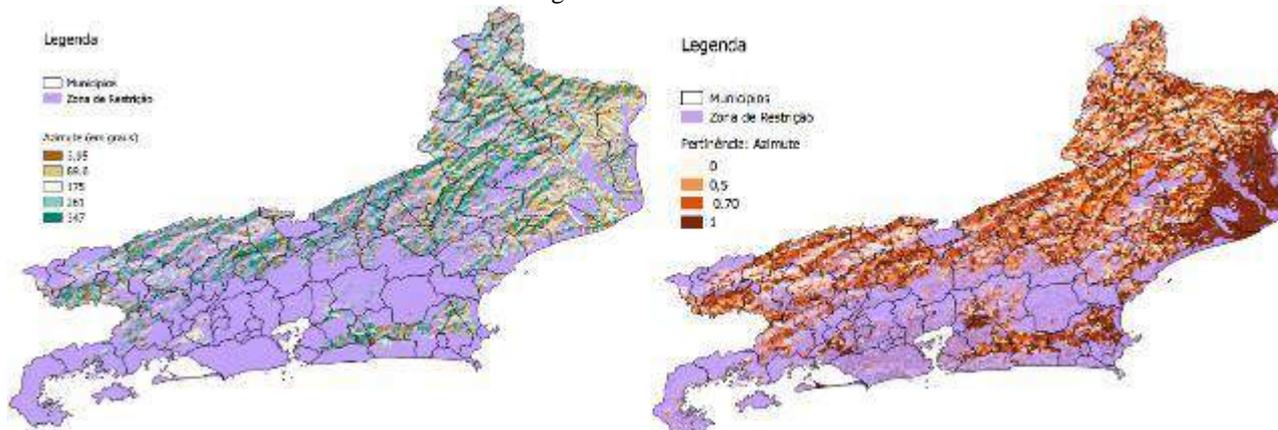
Azimute = Oeste, $\mu(X) = 0,5$

Azimute = Sudeste, $\mu(X) = 0,3$

Azimute = Sudoeste, $\mu(X) = 0,3$

Azimute = Sul, $\mu(X) = 0$

Figura 9 – Azimute



Fonte: Autores (2020)

- **Utilização da terra:**

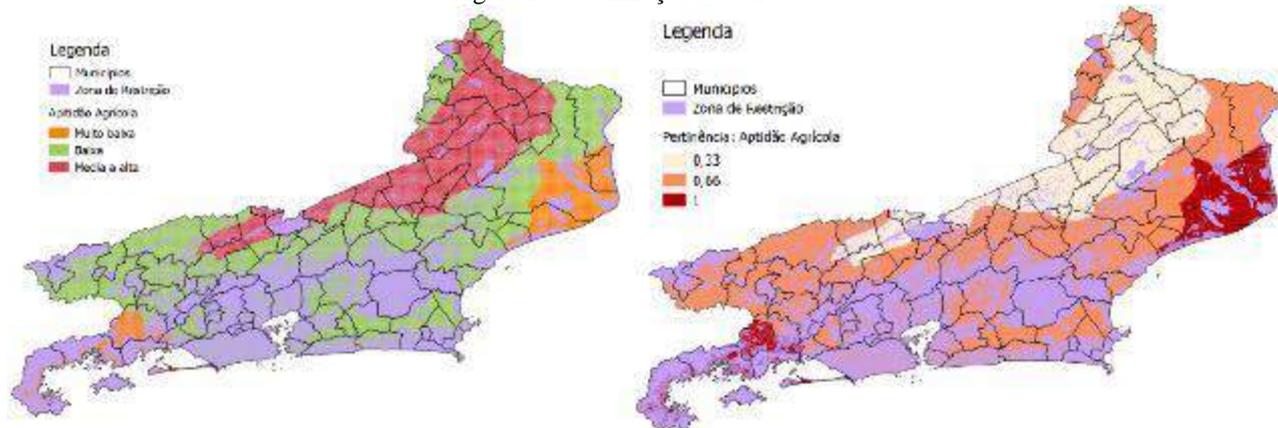
Aptidão Agrícola = Muito Baixa, $\mu = 1$

Aptidão Agrícola = Baixa, $\mu = 0,66$

Aptidão Agrícola = Média a Alta, $\mu = 0,33$

Aptidão Agrícola = Alta, $\mu = 0$

Figura 10 – Utilização da terra

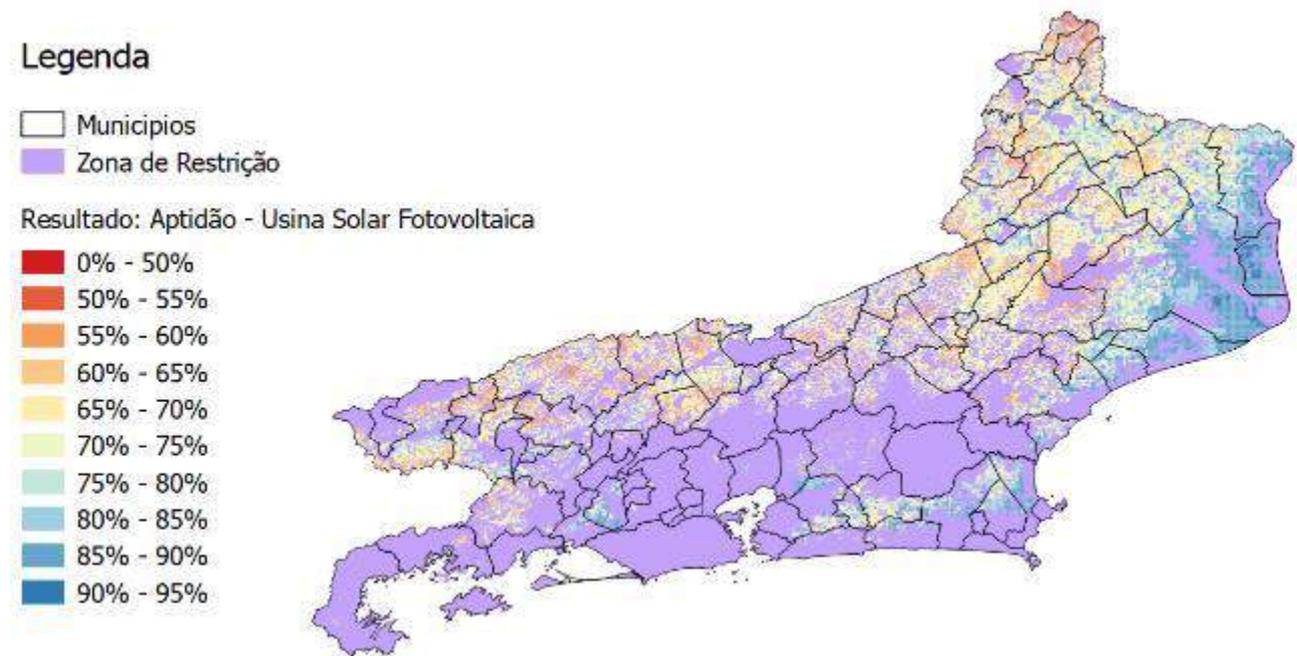


Fonte: Autores (2020)

5. Resultados

Os oito fatores de localização selecionados foram comparados de acordo com a sua importância relativa, estimada através da revisão dos artigos que utilizaram o Método Analítico de Hierarquias e o nível de disponibilidade em que se encontravam, obtido pelas funções de pertinência *fuzzy* para gerar o mapa de aptidão da usina solar fotovoltaica (figura 11).

Figura 11 – Resultado final



Fonte: Autores (2020)

Analisando esta figura percebe-se que a região mais propícia para receber projetos de grande porte de energia solar fotovoltaica é o município de Campos dos Goytacazes e arredores (aptidão maior que 90%). Outras regiões bastante propícias são uma área próxima da região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro e outra no interior da Região dos Lagos, ambas com aptidão maior do que 80%. A Região Serrana do estado teve os menores índices para a aptidão da usina solar fotovoltaica, assim como as cidades de Resende, Volta Redonda e arredores. Outro fator que chamou atenção foi a extensão da zona de restrição, que ocupa parte considerável do Estado. Isto se deve, em especial, pelas unidades de conservação ambiental e as zonas urbanas do Estado.

6. Conclusão

Nesse estudo, as melhores regiões para a localização de uma usina solar fotovoltaica foram definidas utilizando a combinação do método analítico de hierarquias, SIG e lógica fuzzy. Foram analisados oito fatores de localização (variando de fatores ambientais a infraestruturais) com peso maior para a irradiação solar. Os resultados mostraram que o Rio de Janeiro, apesar de apresentar uma ampla região onde não é possível instalar a usina solar fotovoltaica, devido a restrições ambientais (unidades de conservação) e zonas urbanas, possui um bom potencial para a instalação de usinas solares fotovoltaicas, em especial na Região Norte Fluminense.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, HIME E OLIVEIRA JR. **Lógica Difusa: Aspectos Práticos e Aplicações**. 1ª Edição. Editora Interciência. 1999.

AL GARNI, HASSAN; AWASTHI, ANJALI. **Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia**. In: Applied Energy. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191731437X?via%3Dihub> Acesso em setembro de 2019.

AL-SHAMISI MH; ASSI, AH; HEJASE, HAN. **Artificial Neural Networks for Predicting Global Solar Radiation in Al Ain City – UAE**. Int. J. Green Energy; 10:443–56. 2013. Disponível em <https://doi.org/10.1080/15435075.2011.641187> Acesso em setembro de 2019.

ARNETTE, A.N.; ZOBEL, C.W. **Spatial Analysis of Renewable Energy Potential in the Greater Southern Appalachian Mountains**. Renewable Energy 36, 2785–2798. 2011. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148111001960> Acesso em setembro de 2019.

ASAKEREH, ABBAS; SOLEYMANI, MOHSEN; JAVAD SHEIKHDAVOODI, MOHAMMAD. (2017). **A GIS-Based Fuzzy-AHP Method for the Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in Khuzestan Province, Iran**. Solar Energy. 155.342-353.10.1016/j.solener.2017.05.075. 2017. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X17304851> Acesso em setembro de 2019.

AZEVÊDO, V W B. **Estudo de Localização de Usina Solar Termoeletrica 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.

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

_____. **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 Acesso em abril de 2020.

CEPERJ. **Regiões do estado do Rio de Janeiro**, s/d. Disponível em <http://www.ceperj.rj.gov.br/Conteudo.asp?ident=81>. Acesso em maio 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 2014. 2014. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/273597325_A_hybrid_MCDM_model_for_improving_GIS-based_solar_farms_site_selection Acesso em setembro de 2019.

CORREIA, M. F. Z. **Proposta de Aplicação da Lógica Fuzzy nos Materiais Cirúrgicos do Almoarifado Central do HCUFF para Auxiliar a Tomada de Decisão Concernente ao Controle de Estoques**. Tese 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.

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

SANTOS, I. F. S.; FILHO, G. L.; BARROS, R. M. **Análises Econômicas, de Sensibilidade e Elasticidade em Projetos de Energias Renováveis no Brasil**. Revista Brasileira de Energia. Volume 21, Nº2. 2015. Disponível em <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/345/326> 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%20E1%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%20E1%C3%A9trica.pdf> 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.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R.; TANSCHUIT, RICARDO. **Conceitos Fundamentais da Teoria de Conjuntos Fuzzy, Lógica Fuzzy e Aplicações.** Sixth International Fuzzy Systems Association World Congress/ Tutorials - IFSA95, pages 01 – 38, July 1995. Disponível em <http://www.calhau.dca.fee.unicamp.br> Acesso em setembro de 2019.

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

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

JAIN, R. MEHTAK; MITTAL S.K. **Modeling Impact of Solar Radiation on Site Selection for Solar PV Power Plants in India.** Int J Green Energy. 8:486–98. 2009. Disponível em <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15435075.2011.576293> Acesso em setembro de 2019.

LEWS, S. M, FITTS, G., KELLY, M, DALE, L. **A fuzzy logic-based spatial suitability model for drought-tolerant grass in the United States.** Comput Electron Agric 2014; 103:39–47. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169914000416?via%3Dihub>

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.

PEREIRA, Enio Bueno. MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna. RUTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE. 1ª Edição. 2006.**

POHEKAR, S.D. & RAMACHANDRAN, M. (2004). **Application of Multi-criteria Decision Making To sustainable Energy Planning - A Review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. 8. 365-381. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032104000073> Acesso em setembro de 2019.

- RAMEDANIR, Z; OMIDO, M, KEYHANI, A. **Modeling solar energy potential in Tehran province using artificial neural networks**. Int J Green Energy 2013; 10:427–41. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/236345200_Modeling_Solar_Energy_Potential_in_a_Tehran_Province_Using_Artificial_Neural_Networks Acesso em abril de 2020
- TANSCHUIT, Ricardo. **SISTEMAS FUZZY**, PUC-RJ, 2004, Disponível em <http://www2.ica.ele.puc-rio.br/Downloads%5C41/LN-Sistemas%20Fuzzy.pdf>. Acesso em março de 2019.
- ROSS, Timothy J., *Fuzzy Logic With Engineering Applications*, 3a Edição, Editora Wiley, 2010
- SAATY TL. **The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation**. New York: McGraw-Hill; 1980.
- SANCHEZ-LOZANO, J.M. & ANTUNES, Carlos & GARCIA-CASCALES, M. Socorro & DIAS, Luis. (2014). **GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain**. Renewable Energy. 66. 478-494. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114000093> Acesso em setembro de 2019.
- SINGH, J.M., 2002. **On Farm Energy Use Pattern in Different Cropping Systems in Haryana, India** (MS. Thesis). International Institute of Management, University of Flensburg.
- TSOUTSOS, T.; FRANTZESKAKI, N.; GEKAS, V. **Environmental impacts from the solar energy technologies**. Energy Policy, Volume 33, Issue 3, February 2005, Pages 289-296. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421503002416> Acesso em setembro de 2019.
- UNITED NATIONS (UN). **Adoption of the Paris Agreement. In Proceedings of the Conference of the Parties**, Paris, France, 30 November–11 December 2015. Disponível em https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf Acesso em setembro de 2019.
- VAN HAAREN, V. Fthenakis, **GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): evaluating the case for New York State**, Renew. Sustain. Energy Rev. 15 (7) (2011) 3332e3340. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211100147X> Acesso em setembro de 2019.
- 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. 50 (2013) 76e84, Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061513000847> Acesso em setembro de 2019.