

## ZONEAMENTO PARA EXPLORAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (PV) NO CEARÁ ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Diego Andrade Almeida(\*), Lígia de Nazaré Aguiar Silva, Juana Angélica Felipe Fernandes, Eliê Regina Fedel Marques, Laura Charry Cediel

\* IFCE Campus Maracanaú, diego\_aalmeida@hotmail.com

### RESUMO

Este estudo visa identificar áreas adequadas para alocação e aproveitamento da energia solar PV no Estado do Ceará avaliando fatores e condições que possam interferir na escolha de localidades geográficas analisando múltiplos critérios envolvidos nessa tomada de decisão. Foi utilizado o Método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchic Process – AHP) como ferramenta para tomada de decisão multicritério (MCDM) com o objetivo de categorizar as áreas disponíveis para exploração de recursos solares. Os pesos de cada variável foram estabelecidos com referência ao trabalho executado por Aly, Jensen e Pedersen (2017). O primeiro passo da análise SIG é excluir as áreas que não são adequadas para a instalação de grandes usinas de energia solar. Isto foi realizado tomando como base critérios de exclusão (CE), os quais objetivam inicialmente reduzir a área útil disponível para exploração. Os seguintes CE foram utilizados nesta pesquisa: áreas protegidas (CE1), uso e ocupação do solo (CE2), topografia (CE3), corpos hídricos (CE4) e expansão urbana (CE5). Estes fatores são notadamente compreensivos quando se comparado com a literatura relevante e especializada (Dawson e Schlyter, 2012; Castillo et al. 2016; Hermann et al., 2014).

### PALAVRAS-CHAVE

Energia Solar, Gestão Ambiental em Atividades de Energia, Eficiência Energética, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

### INTRODUÇÃO

Para Pereira et al. (2008), o Brasil possui uma grande disponibilidade de recursos energéticos e suas fontes renováveis podem assumir grande participação na produção e uso da energia, dando ao país vantagens consideráveis em termos econômicos e ambientais. Não obstante, o país ainda caminha lentamente para construção de uma matriz energética mais sustentável e racional dos seus recursos. Sob a ótica local, o estado do Ceará se destaca no cenário nacional com uma média de radiação solar de 5,5 kWh/m<sup>2</sup>.dia (média brasileira é de 4,9 kWh/m<sup>2</sup>.dia), sendo o maior participante nas potências outorgadas de unidades geradoras fotovoltaicas de energia elétrica (PICANÇO; ROLIM, 2016; IBGE, 2016).

É certo que qualquer meio de aproveitamento energético causa de forma direta ou indireta impactos ao meio ambiente e, portanto, critérios de sustentabilidade são apenas atenuadores, uma vez que “a alteração da paisagem natural é basicamente comum a todos eles” (PINHO et al., 2008). Priorizar a viabilidade ambiental e econômica na instalação de usinas solares é uma boa ferramenta para desenvolver sua expansão segundo um planejamento estratégico ordenado.

Mapear áreas adequadas para exploração de fontes renováveis por sua vez envolve o uso de uma variedade de fontes de dados em que os pesos são atribuídos a critérios geográficos. Para isso, o uso de sistema de informação geográfica (SIG) associado a técnicas de análise de tomada de decisão multicritério se configura como excelente ferramenta para identificação de áreas com potencial real para exploração de energias renováveis. A adequação para instalações de energia solar é pouco estudada no Ceará, uma vez que, embora existam algumas avaliações de recursos solares, há escassez de estudos sobre a aplicação desse potencial às condições espaciais e critérios de exclusão que impeçam sua instalação.

*2 linhas em branco, fonte Times New Roman, tamanho 10*

### OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo identificar áreas adequadas para alocação e aproveitamento da energia solar PV no Estado do Ceará avaliando fatores e condições que possam interferir na escolha de localidades geográficas analisando múltiplos critérios envolvidos nessa tomada de decisão.

### METODOLOGIA

Neste trabalho foi aplicada uma análise combinada entre SIG e a técnica MCDM com vistas a identificar locais apropriados para instalação de energia solar de pontos de tecnologia do tipo PV no Ceará conforme metodologia proposta por Aly, Jensen e Pedersen (2017).

O primeiro passo da análise SIG é excluir as áreas que não são adequadas para a instalação de grandes usinas de energia solar. Isto foi realizado tomando como base critérios de exclusão (CE), os quais objetivam inicialmente reduzir a área útil disponível para exploração. Os seguintes CE foram utilizados nesta pesquisa: áreas protegidas (CE1), uso e ocupação do solo (CE2), topografia (CE3), corpos hídricos (CE4) e expansão urbana (CE5). Estes fatores são notadamente compreensivos quando se comparado com a literatura relevante e especializada (Dawson e Schlyter, 2012; Castillo et al. 2016; Hermann et al., 2014).

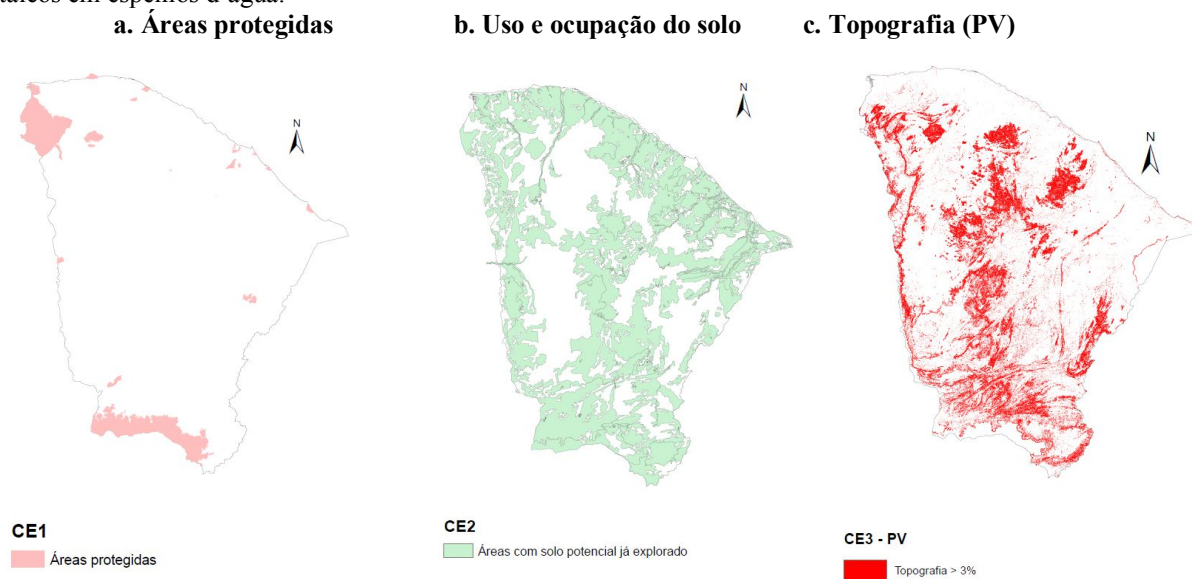
Depois de excluir as áreas inadequadas para instalações de energia solar em larga escala, a técnica MCDM foi usada para identificar locais ótimos para instalações solares do tipo PV. Os critérios de classificação e seus respectivos níveis foram identificados com base em importantes revisões da literatura (BREWER et al., 2015; DAWSON; SCHLYTER, 2012; VAFAEIPOUR et al., 2014). Foram identificados sete critérios de classificação (CC): recursos solares (CC1), disponibilidade de água (CC2), proximidade com rodovias (CC3), proximidade com rede elétrica (CC4), proximidade com cidades com mais de 250.000 habitantes (CC5), proximidade com cidades com 100 mil a 250.000 habitantes (CC6) e proximidade a centros econômicos de demanda (CC7).

Esta pesquisa tem como objetivo identificar áreas adequadas para alocação e aproveitamento da energia solar PV no Estado do Ceará avaliando fatores e condições que possam interferir na escolha de localidades geográficas analisando múltiplos critérios envolvidos nessa tomada de decisão. Foi utilizado o Método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchic Process – AHP) como ferramenta para tomada de decisão multicritério (MCDM) com o objetivo de categorizar as áreas disponíveis para exploração de recursos solares. Os pesos de cada variável foram estabelecidos com referência ao trabalho executado por Aly, Jensen e Pedersen (2017).

**RESULTADOS**

O Ceará possui poucas áreas protegidas as quais são encontradas nas regiões de maiores altitudes, compostas por serras e chapadas (Figura 1a). É evidenciado, no entanto, uma grande parcela da área total do estado ocupada por solos com potencial para fins agrícolas em exploração (Figura 1b). Esta pesquisa concentrou-se em adotar este critério completamente exclusivo com o intuito de mostrar áreas adequadas sem competir com outras atividades econômicas para avaliação do potencial solar do estado.

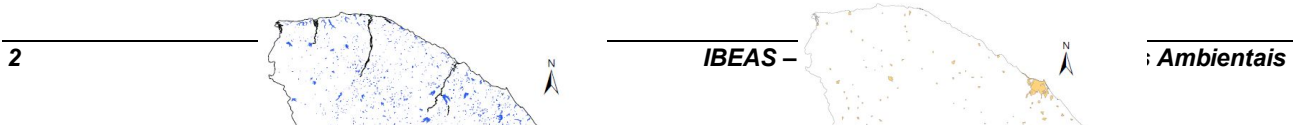
Os rios e suas APP's apresentam uma contribuição mínima de áreas inadequadas para exploração solar (Figura 1d). No entanto, existe uma extensa rede disseminada de reservatórios cujo uso do espelho d'água para aproveitamento da energia solar pode contribuir para oferta de energia elétrica sustentável e eletrificação rural de comunidades e pequenos aglomerados populacionais. Além, estações de tratamento de água conectadas a reservatórios demandam uma grande quantidade de energia para funcionamento de filtros e bombas, podendo ser beneficiadas com a instalação de painéis fotovoltaicos em espelhos d'água.



**Figura 1 – Áreas de exclusão para mapeamento do potencial de energia solar no Ceará. Fonte: Autor do Trabalho.**

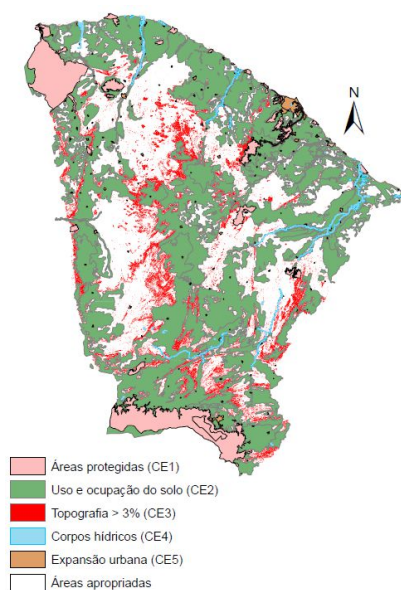
**d. Recursos Hídricos**

**e. Expansão Urbana**



**Figura 1 – Áreas de exclusão para mapeamento do potencial de energia solar no Ceará. Fonte: Autor do Trabalho.**

Após aplicação dos critérios de exclusão para zoneamento para exploração fotovoltaica, observou-se uma efetiva redução da área total do Ceará em virtude majoritariamente do uso e ocupação de terras para fins agrícolas (Figura 2). O objetivo deste estudo, no entanto, é avaliar o potencial de exploração em áreas adequadas sem competir com a vocação econômica de outras atividades exercidas na ocupação do solo. Foi possível identificar um conjunto de áreas adequadas de 62.110 km<sup>2</sup> (aproximadamente 58% do total do território cearense) para exploração fotovoltaica (Figura 3). Maiores disponibilidades foram encontradas nos municípios localizados na região do Sertão de Inhamuns, Sertão Central e parte do Litoral Leste-Jaguaribe.



**Figura 2 – Máscara de exclusão para instalações do tipo PV em grande escala no estado do Ceará. Fonte: Autor do Trabalho.**



**Figura 3 – Áreas adequadas para instalações do tipo PV em grande escala no estado do Ceará. Fonte: Autor do Trabalho.**

As áreas adequadas foram classificadas conforme a influência das variáveis de classificação: Mais adequadas, adequadas, moderadamente adequadas e pouco adequadas. Para instalações fotovoltaicas, foram designados 17.391 km<sup>2</sup> como mais adequado, 13.664,31 km<sup>2</sup> foram designados como adequados, 6.211,05 km<sup>2</sup> foram designados como moderadamente adequados e 24.844,2 km<sup>2</sup> foram designados como pouco adequados (Figura 3). O grande entrave, no entanto, para a classe pouco adequadas ser majoritária foi a condição das linhas de transmissão existentes. Os sertões de Inhamuns e Crateús apresentam boas condições de potencial, mas sua viabilidade tem sido reduzida drasticamente pela infraestrutura energética existente no estado.

## CONCLUSÕES

Identificar a melhor localização para a instalação de uma usina de energia solar é estritamente importante para avaliar a sustentabilidade de áreas e viabilizar elevados investimentos iniciais. Vários critérios técnico-econômicos foram usados para identificar os locais mais adequados para instalações de energia solar no Ceará. Uma combinação de análise SIG e técnica MCDCM foi aplicada para identificar a energia solar em grande escala em pontos ótimos no estado.

A seleção cuidadosa dos critérios de decisão, exclusão e classificação refletem bem o contexto local (por exemplo, para tomadas de decisão de órgãos públicos e privados) foram a chave para obter resultados confiáveis. A pesquisa identificou cinco critérios de exclusão (áreas protegidas, uso e ocupação do solo, topografia, recursos hídricos e expansão urbana) para localizar áreas inadequadas. Dois critérios de decisão foram considerados. Sob o critério de decisão de acessibilidade, foram identificados três critérios de classificação (ou seja, proximidade a estradas, linhas de transmissão e subestações).

O estado do Ceará possui níveis de radiação ideais para exploração PV, portanto não se configurando como critério de exclusão para locais com baixa radiação. Assim, foi identificada uma área adequada de 62.110,5 km<sup>2</sup> para exploração fotovoltaica. Esta foi classificada de acordo com critérios que viabilizassem locais ainda mais específicos segundo critérios econômicos. Para instalações fotovoltaicas, foram designados 17.391 km<sup>2</sup> como mais adequado, 13.664,31 km<sup>2</sup> foram designados como adequados, 6.211,05 km<sup>2</sup> foram designados como moderadamente adequados e 24.844,2 km<sup>2</sup> foram designados como pouco adequados. Há locais com enorme potencial de exploração (Sertão de Crateús e Inhamuns) mas que carecem de infraestrutura energética (principalmente subestações e linhas de transmissão) para viabilizar de forma comercial a exploração da radiação solar em grande escala.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALY, Ahmed; JENSEN, Steen Solvang; PEDERSEN, Anders Branth. Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis. **Renewable Energy**, Elsevier, v. 113, p.159-175, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.077>.
2. BREWER, Justin et al. Using GIS analytics and social preference data to evaluate utility-scale solar power site suitability. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 81, p.825-836, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.04.017>
3. CASTILLO, Carolina Perpiña; SILVA, Filipe Batista e; LAVALLE, Carlo. An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28. **Energy Policy**, [s.l.], v. 88, p.86-99, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.10.004>.
4. DAWSON, Lucas; SCHLYTER, Peter. Less is more: Strategic scale site suitability for concentrated solar thermal power in Western Australia. **Energy Policy**, [s.l.], v. 47, p.91-101, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.025>.
5. HERMAN, S., Miketa, A., Fichaux, N., 2014. Estimating the Renewable Energy Potential in Africa. **IRENA-KTH Working Paper**, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi.
6. IBGE. **Logística de energia: 2015: Redes e fluxos do território**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.
7. PEREIRA, Amaro Olimpio et al. Energy in Brazil: Toward sustainable development?. **Energy Policy**, [s.l.], v. 36, n. 1, p.73-83, jan. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2007.08.022>.
8. PICANÇO, Jurandir; ROLIM, Joaquim. **Panorama Atual das Energias Renováveis**. Fortaleza: FIEC, 2016.
9. PINHO, João Tavares et al. **Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.
10. VAFAEIPOUR, Majid et al. Assessment of regions priority for implementation of solar projects in Iran: New application of a hybrid multi-criteria decision making approach. *Energy Conversion and Management*, [s.l.], v. 86, p.653-663, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.083>.