

INDICAÇÃO DE LOCALIZAÇÃO PARA CENTRAIS GERADORAS SOLAR FOTOVOLTAICA A PARTIR DE CRITÉRIOS APLICADOS EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Debora Cristiele Kummer – deborakummer@usp.br

Marcelo Eduardo Giacaglia

Universidade de São Paulo, Departamento de Arquitetura e Urbanismo

Bruna Borges Hegele

Ísis Portolan dos Santos

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Arquitetura e Urbanismo

Resumo. Na última década, devido a diminuição nos preços dos módulos fotovoltaicos, observou-se um crescimento exponencial no número de instalações de Centrais Geradoras Solar Fotovoltaica (UFV) no contexto mundial, passando de 136,57 GW (2013) para 1.046,61 GW em 2022. Contudo, devido à vasta área de terra que essas instalações exigem, pesquisas em diferentes países tem destacado a importância de se realizar análises que incorporem diferentes critérios para identificar as localizações mais adequadas para a construção desses sistemas. Nessa perspectiva, este artigo revisou sistematicamente pesquisas que aplicam a metodologia de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) combinada com Sistema de Informação Geográfica (SIG) para identificar a localização de UFV. Com isso, objetivou-se entender o contexto geral desses estudos, quais os métodos AMD e os critérios que são utilizados com maior frequência para auxiliar nessa tomada de decisão. Para isso, selecionou-se as bases de dados Scopus, Web of Science e ScienceDirect, no período temporal desde o ano de 2014 até setembro de 2023. A sistematização do material foi realizada no software Parsifal e, após avaliação, foram selecionados 38 artigos para a extração dos dados. Os resultados indicam que o continente asiático tem realizado o maior número de estudos neste âmbito. Já o método AMD do tipo Analytical Hierarchy Process - AHP tem sido o mais utilizado, enquanto as questões técnicas e econômicas são os critérios, comumente, considerados mais relevantes na seleção de local. Por fim, dentre as lacunas identificadas, observou-se que a metodologia revisada tem sido aplicada com maior ênfase em áreas de menor extensão territorial, e que apesar do uso frequente do método AHP, há uma série de outros métodos AMD que podem vir a ser melhor explorados. Além disso, o critério social foi pouco abordado nos estudos apesar da sua relevância no tripé da sustentabilidade ambiental, social e econômica.

Palavras-chave: Energia Renovável, Apoio Multicritério à Decisão (AMD), Software Parsifal.

1. INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica (FV) teve um aumento de 191,45 Gigawatts (GW) (crescimento de 22%) em 2022, atingindo um total de 1.046,61 GW a nível global, sendo esse o maior crescimento dentre todas as tecnologias renováveis. A expansão na Ásia foi de 112 GW em 2022 (para comparação, em 2021 foram adicionados 75 GW). Grandes aumentos de capacidade ocorreram na China (86,0 GW), na Índia (13,5 GW) e o Japão também adicionou 4,6 GW, um pouco mais do que em 2021. Fora da Ásia, os Estados Unidos acrescentaram 17,6 GW de capacidade solar em 2022, o Brasil aumentou 9,9 GW e os Países Baixos e a Alemanha adicionaram 7,7 GW e 7,2 GW, respectivamente (IRENA, 2023). Nesse período, o Brasil entrou no ranking dos dez países com maior capacidade de energia solar FV instalada, ocupando a oitava posição (Tab. 1), chegando ao fim de 2022 com um total de 24 GW.

Observa-se que todos os valores mencionados acima contabilizam as instalações FV de Geração Centralizada ou também chamadas de Centrais FV em escala de utilidade com 5MW ou mais de potência, e as instalações de Geração Distribuída (GD) que se referem as instalações de pequeno e médio porte com capacidade instalada de até 5 MW. Com ênfase nas instalações em escala de utilidade, o Ministério de Minas e Energia (MME) anunciou que, entre os meses de janeiro e setembro de 2023, houve o maior incremento da capacidade de geração solar centralizada da história do Brasil, 3 GW (superando os 2,5 GW do ano anterior). São mais de 18 mil usinas solares instaladas no território nacional, capazes de produzir uma potência de 10,3 GW (MME,2023 e SIGA, 2023).

Tabela 1 - Países com as maiores potências instaladas de energia solar FV (GW), em 2022.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em IRENA (2023).

China	Estados Unidos	Japão	Alemanha	Índia	Austrália	Itália	Brasil	Holanda	Coreia do Sul
393	113	78,8	66,5	63,1	26,7	25	24	22,5	20,9

O crescimento na instalação de sistemas de energia FV na forma de geração centralizada é imprescindível para a ampliação e diversificação das fontes de energia elétrica de origem renovável, tanto a nível nacional quanto mundial. No entanto, a escolha de um local adequado para essas instalações de grande porte tem sido uma questão crítica, visto que, múltiplos fatores como questões econômicas, sociais, ambientais, técnicas e políticas afetam a viabilidade e/ou eficiência do sistema. Giamalaki e Tsoutsos (2019) argumentam que os sistemas fotovoltaicos de grande escala estão ligados a necessidades significativas de área para a sua operação, causando impactos visuais, potencial ocupação de terras aráveis e perturbação do ecossistema local (flora e fauna).

Shriki *et al.* (2023) salientam que considerar todos estes critérios para decidir onde colocar estas instalações é um problema complexo no qual podem surgir conflitos de interesses entre as partes. Mensour *et al.* (2019) entendem que para resolver problemas complexos e conflitantes de planejamento energético, os métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) são considerados uma das melhores e mais populares ferramentas para uma tomada de decisão eficiente. Gomes e Gomes (2019) definem AMD como um conjunto de procedimentos e métodos de análise que procuram assegurar a coerência, a eficácia e a eficiência das decisões tomadas em função das informações disponíveis, antevendo cenários e possíveis alternativas.

Nessa perspectiva, Lindberg *et al.* (2021) enfatizam que, na maior parte dos casos, os problemas de seleção de local são espaciais, dessa forma, ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) são combinadas com técnicas AMD para efetuar as análises. Sánchez-Lozano *et al.* (2013) entendem SIG como um instrumento que envolve elementos de *hardware* e software utilizados para consulta, análise e edição de dados, desenvolvimento, manipulação e armazenamento de informações espaciais em geral. Logo, SIG são sistemas que trabalham com bancos de dados de informações geográficas para a resolução de problemas complexos de planejamento e gestão (Sánchez-Lozano *et al.*, 2013).

Conforme Uyan (2017) nos últimos anos, o uso de métodos AMD tornaram-se populares para estudos de seleção de locais, e a sua combinação com o método SIG pode fornecer resultados substanciais para tomadores de decisão em diferentes áreas do conhecimento. Fard *et al.* (2022) também destacam que a combinação de AMD e SIG permite a seleção de locais de maneira precisa e robusta, e que tem se tornado cada vez mais utilizada para a análise de seleção de locais em contextos diversos.

Os métodos AMD-SIG já foram aplicados com sucesso em diferentes projetos como, por exemplo, a análise do nível de conservação ambiental da bacia do Rio Melchior, no Distrito Federal, Brasil (Gomes e Bias, 2018); no desenvolvimento de um projeto ferroviário na cidade de Yichang, província de Hubei, na China; na identificação da localização mais adequada para a instalação de aterros sanitários na província de Azuay, no Equador (Mora e Peláez, 2020). Sendo viável ainda outras aplicações, desde que o problema possua múltiplas e complexas alternativas, e que seja relevante identificar a dimensão e/ou localização de um dado fenômeno na superfície terrestre.

Na última década, surgiram diversos estudos voltados ao setor de energia elétrica e de fontes alternativas renováveis como o realizado por Konstantinos, Georgios e Garyfalos (2019) para identificar a localização de parques de energia eólica na região da Macedônia Oriental e Trácia, na Grécia; a análise de Guler *et al.* (2021) para o território da Turquia visando a localização mais adequada de instalações de energia de biomassa; o estudo de Haddad *et al.* (2021) para mapear as áreas de maior adequação para a implantação de centrais de energia solar concentrada (também chamada de energia heliotérmica) na Argélia, entre outros.

As análises AMD-SIG voltadas ao sistema solar FV também estão presentes na literatura com ênfase no problema de definição dos locais mais adequados para a instalação das centrais FV em escala de utilidade. Contudo, há variações entre os estudos no que diz respeito aos critérios utilizados, à escala espacial da área analisada e a metodologia aplicada de um modo geral. Além disso, diferentes métodos AMD são empregados, como o *Analytical Hierarchy Process – AHP* (Georgiou e Skarlatos, 2016 e Shriki *et al.*, 2023); *Elimination and Choice Translating Reality - ELECTRE* (Sánchez-Lozano *et al.*, 2016); *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions – TOPSIS* (Rediske *et al.*, 2020), *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation – PROMETHEE* (Almasad *et al.*, 2023), entre outros.

Assim, o objetivo desta Revisão Sistemática da Literatura (RSL) é avaliar diferentes estudos que abordam o problema de seleção de local para instalações FV de geração centralizada (montadas sobre o solo), que empregam análise geoespacial por meio de SIG-AMD. Com isso, busca-se entender o contexto geral dessas aplicações, onde esses estudos vêm sendo realizados, quais os métodos AMD e critérios que são utilizados com maior frequência, assim como as lacunas presentes nestes estudos. Por fim, espera-se contribuir para a consolidação do conhecimento sobre os métodos AMD-SIG no contexto da sua aplicabilidade na energia solar FV em escala de utilidade.

2. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Este estudo foi conduzido com a utilização do software Parsifal, o qual incorpora o método de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sugerido por Kitchenham e Charters (2007). Conforme os autores, o processo para realizar uma revisão sistemática consiste em planejar, conduzir e relatar a revisão. Essas etapas podem parecer sequenciais, contudo, é importante ressaltar que os roteiros de revisões sistemáticas apresentam uma natureza iterativa ao longo da análise. Na sequência, são apresentadas as etapas mencionadas, bem como a descrição do processo realizado para esta revisão.

2.1 Planejamento

Nesta abordagem, a etapa de planejamento se divide em três práticas principais: 1. Elaboração do protocolo; 2. Elaboração da lista de verificação (*checklist*) para a avaliação da qualidade e 3. Elaboração do formulário de extração de

dados. Sobre a elaboração do protocolo (Etapa 1), a especificação de uma ou mais questões de pesquisa é a parte mais importante, pois são essas questões que irão orientar todo o restante da revisão. Nesse sentido, esta pesquisa possui três perguntas norteadoras: i) Qual o panorama atual dos artigos que têm como objetivo a análise da seleção de locais para a instalação de centrais geradoras solar fotovoltaica (UFV); ii) Quais os métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) que são utilizados para investigar a locação adequada de UFV; iii) Quais os critérios que são usados com maior frequência para caracterizar e selecionar a localização de centrais FV.

Feito isso, partiu-se para a seleção dos artigos junto das bases de dados que nesta pesquisa são: *Scopus*, *Web of Science* e *ScienceDirect*. Foi realizada ainda a pesquisa na base SciELO (tanto com os termos em português quanto em inglês), porém, não houve o retorno de nenhum resultado. Os termos utilizados na pesquisa foram: *photovoltaic solar*, *multi-criteria decision* e *geographic information system*, os quais estão presentes no título, no resumo ou nas palavras-chave. Quanto ao limite temporal, não foi especificado o ano inicial, deixando em aberto para obter todos os resultados possíveis; já a data final da análise foi setembro de 2023. Somado a isso, limitou-se a artigos primários, revisado por pares e na língua inglesa.

Esses critérios foram codificados de acordo com o formato de cada base de dados, mas a string geral consiste em: (TITLE-ABS-KEY (photovoltaic AND solar) AND TITLE-ABS-KEY (multi-criteria AND decision) AND TITLE-ABS-KEY (geographic AND information AND system)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")). Além dos critérios de seleção utilizados nas bases de dados, elaborou-se também os critérios de inclusão e de exclusão para a seleção da literatura relevante sobre o tema. Os critérios de inclusão são: analisar somente energia solar fotovoltaica; trabalhar com centrais FV em escala de utilidade; trabalhar com métodos AMD-SIG. Já os critérios de exclusão são: não trabalhar com SIG-AMD; fora do escopo; analisar outras fontes de energia ou energia FV em conjunto de outras fontes; estudos duplicados e artigos pagos.

A lista de verificação para a avaliação da qualidade dos artigos (Etapa 2) foi elaborado com três questões, entendidas como determinantes na seleção de bons estudos primários para a avaliação posterior, sendo elas: i) A pesquisa trabalha somente com energia solar FV e em escala de utilidade? ii) A pesquisa trabalha com Sistema de Informação Geográfica (SIG) e métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) combinados? iii) A pesquisa é clara quanto ao uso dos critérios restritivos e de ponderação utilizados para a seleção de locais para instalação de UFV? Já o formulário de extração dos dados (Etapa 3) foi elaborado com base nas três questões norteadoras, e resultou na busca dos seguintes dados: 1. Nome da revista; 2. Ano da Publicação; 3. Autores; 4. País; 5. Escala territorial; 6. Dimensão da área estudada; 7. Quais métodos AMD utilizou; 8. Quantos métodos AMD utilizou; 9. Quais os critérios restritivos; 10. Quais os critérios de ponderação e seus respectivos pesos; 11. Qual a forma de obtenção dos pesos.

2.2 Condução

Essa etapa é subdividida em seis práticas, a saber: 1. Pesquisa nas bases de dados; 2. Importação dos estudos; 3. Seleção dos estudos; 4. Avaliação da qualidade; 5. Extração dos dados e 6. Análise dos dados. Inicialmente, foram importados os estudos (em formato *BibTeX*) obtidos nas bases de dados selecionadas na etapa de planejamento (*Scopus*, *Web of Science* e *ScienceDirect*), resultando num total de 130 artigos. A primeira atividade de seleção dos estudos consistiu em eliminar os arquivos duplicados, sendo encontrado um total de 55 artigos duplicados. Com os 75 artigos restantes, iniciou-se o processo de avaliação dos títulos e resumos, em que foram eliminados mais 26 artigos com base nos critérios de exclusão mencionados na Etapa de Planejamento.

Posteriormente, realizou-se a leitura, na íntegra, de 49 artigos e, no processo de avaliação da qualidade dos materiais, houve a exclusão de mais 11 artigos que não se enquadraram nos critérios estabelecidos. Por fim, elencou-se um total de 38 artigos para a análise sistemática dos dados (Apêndice - A), sendo 14 da base de dados *Scopus*, 17 da *Web of Science* e 7 da *ScienceDirect*. Na sequência, preencheu-se o formulário de extração de dados (elaborado na etapa de planejamento) para cada um dos 38 artigos. Destaca-se, que ao final desta etapa, os dados foram exportados do software Parsifal no formato *.XLS*, viabilizando o manuseio das informações extraídas no software *Excel*. A partir disso, realizou-se a sistematização dos dados em forma de texto e material gráfico (tabelas, quadros e gráficos), de modo a permitir análises e comparações entre os estudos revisados.

2.3 Relato

Por último, a etapa de relato consiste em, efetivamente, materializar o estudo sistemático por meio de relatórios, artigos e/ou capítulos de dissertações e teses. O intuito desta etapa é disseminar os resultados obtidos a partes potencialmente interessadas e contribuir com a ciência para uma abordagem de estudo mais ampla que, por vezes, permite observações que não são possíveis por meio de análises isoladas (Kitchenham e Charters, 2007). Dessa forma, ao longo desta seção, está apresentada a compilação e análise dos dados, de modo a responder as três questões norteadoras da RSL.

Qual o panorama atual dos artigos que têm como objetivo a análise da seleção de locais para a instalação de centrais geradoras solar fotovoltaica (UFV)? Com base na extração dos dados da amostra de artigos revisados, identificou-se que esses estudos começaram a se desenvolver na última década e ganharam maior proporção a partir de 2020. O ano de 2023 possuía seis publicações até o fim de setembro, logo, há indicativos que irá superar os anos de 2020, 2021 e 2022, os quais possuem sete publicações cada. As 38 pesquisas estão disponíveis em 22 revistas, entre essas destaca-se a *Renewable Energy* com oito artigos; a *Renewable and Sustainable Energy Reviews* com quatro artigos; *Energies* e *Energy* com três artigos cada; *Solar Energy* e *Journal of Cleaner Production*, cada qual com duas publicações

– as demais revistas possuem um artigo cada. A lista completa com a nomenclatura das revistas e o ano de cada publicação podem ser consultadas no Apêndice – A.

Sobre os países que tem estudos, nessa perspectiva, realizados em seu território, a Fig. 1 destaca a Turquia e o Irã, ambos com quatro publicações, seguido pela Arábia Saudita e a Espanha com três estudos cada. Vale ressaltar também a participação do Brasil, da China e do Egito cada qual com duas publicações. Ao fazer uma análise mais geral de todos os países com base na delimitação dos continentes, percebeu-se que o território asiático é detentor do maior número de trabalhos (21) e desse total, dez são da região do Oriente Médio ou também conhecida como Ásia Ocidental (Arábia Saudita, Azerbaijão, Chipre, Israel e Turquia); outros sete são da região sul da Ásia (Índia, Irã, Paquistão e Afeganistão), três da região leste (China e Coreia do Sul) e um da região sudeste (Filipinas).

O continente Europeu, conta com seis pesquisas, cinco na região sul (Espanha, Portugal e Sérvia) e ao norte da Europa há um trabalho realizado na Irlanda do Norte, país que pertencente ao Reino Unido. Na África, dos cinco trabalhos analisados, quatro pertencem ao norte do continente (Egito, Líbia e Marrocos) e um na África Oriental na Ilha de Maurício. Na América do Sul, há cinco trabalhos publicados sendo dois no Brasil; já Chile, Equador e Peru possuem uma pesquisa cada. Ambos os trabalhos do Brasil foram realizados na região Sul, Furtado e Sola (2020) avaliaram todo o território do estado do Paraná (199.315 km²) e Rediske *et al.* (2020) fizeram um estudo que abrangeu 16 municípios na região central do estado do Rio Grande do Sul, totalizando 5.564 km².

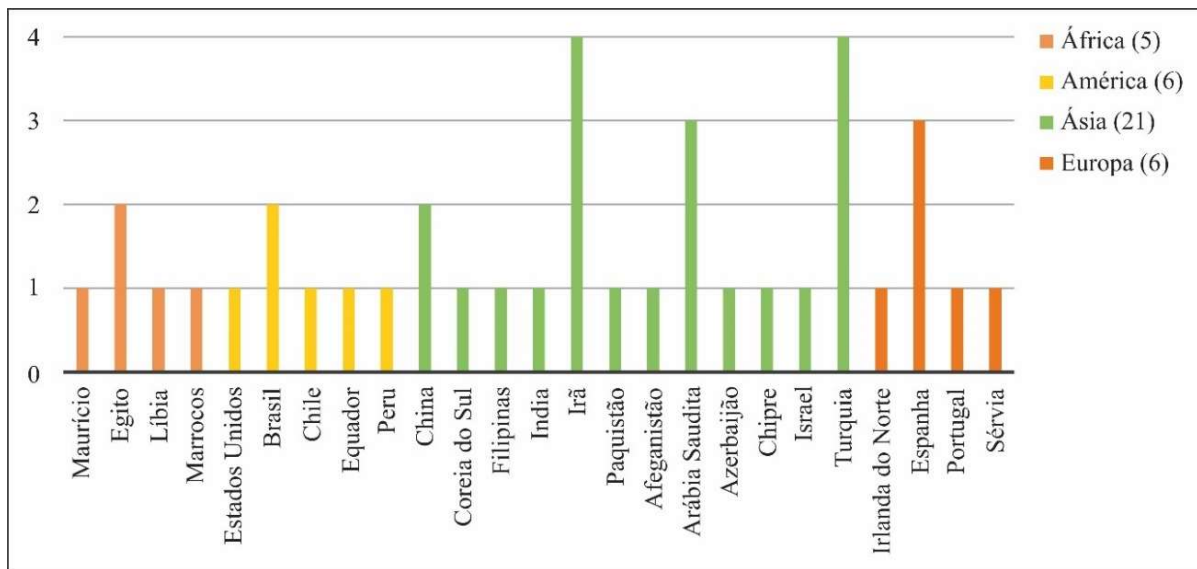


Figura 1 - Número de trabalhos conduzidos em países, segundo os continentes.

Na América do Norte, há apenas uma pesquisa realizada nos Estados Unidos da América, e não foram identificados trabalhos pertencentes ao continente da Oceania (Austrália, Nova Zelândia etc.). Retomando a Tab. 1, percebe-se que dos dez países com maior potência FV instalada quatro são da Ásia (China, Japão, Índia e Coreia do Sul), três da Europa (Alemanha, Itália e Holanda), dois da América (Estados Unidos e Brasil) e um da Oceania (Austrália), nenhum país do continente Africano está no ranking – nota-se uma certa relação entre os continentes que possuem mais estudos (Ásia, América e Europa) com o número de países desses continentes que possuem as maiores potências FV instaladas.

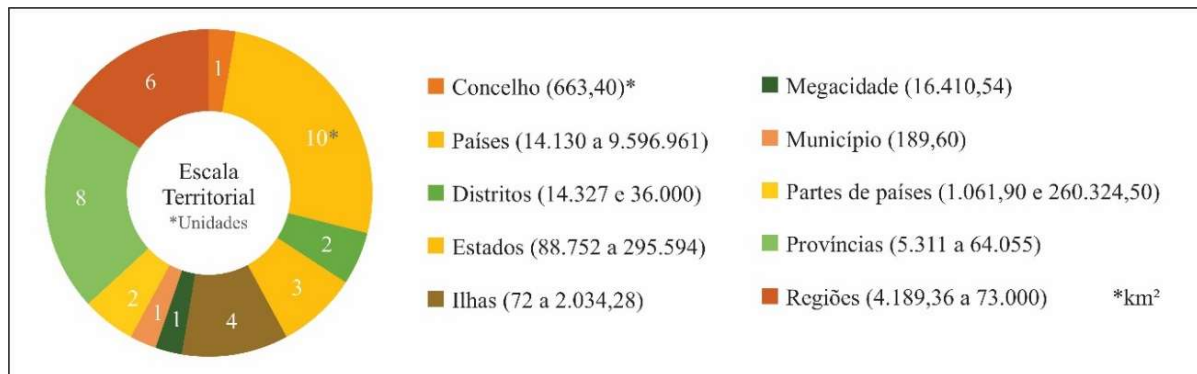


Figura 2 – Escala territorial das pesquisas analisadas.

Com relação a dimensão territorial, essa varia significativamente entre os estudos (Fig. 2). A menor área é a Ilha Ulleung, na Coreia do Sul, com 72 km² (Suh e Brownson, 2016), e a maior todo o território Chinês com 9.596.961 km²

(Qiu *et al.*, 2022). Salienta-se a análise realizada na Megacidade de Pequim, também na China, com 16.410,54 km² (Hashemizadeh e Dong, 2020); e o estudo no Município de Torre Pacheco, Região de Múrcia, no sudeste de Espanha com 189,60 km² (Sanchez-Lozano *et al.*, 2016).

Há ainda o estudo no Concelho de Ourique, na região de Alentejo, no Sul de Portugal com 663,4 km² (Rodrigues *et al.*, 2017). Concelho é equivalente a um município, contudo, no Brasil o município exerce a função de divisão territorial e autarquia local, enquanto em Portugal o concelho é a divisão territorial e o município a autarquia local (Taylor, 2023). Identificou-se também trabalhos que avaliaram partes de seus países como o estudo realizado no deserto ocidental, zona costeira do noroeste do Egito, com 1.061,9 km² (Habib *et al.*, 2020) e a análise em quatro regiões no norte do Chile (deserto do Atacama): Arica e Parinacota, Tarapacá, Antofagasta e Atacama (260.324,50 km²) (Suuronen *et al.*, 2017).

Quais os métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) que são utilizados para investigar a locação adequada de UFV? Há uma predominância na utilização do método *Analytical Hierarchy Process - AHP* (em português, Processo Hierárquico Analítico), com um total de 21 trabalhos que aplicaram o método de forma individual e mais 9 que utilizaram o *AHP* combinado a outros métodos AMD, ou seja, dos 38 trabalhos analisados, 30 fizeram uso do método *AHP*. Apesar de haver uma variedade de métodos AMD para auxiliar no processo de tomada de decisão (Tab. 2, entre outros), Al Garni e Awasthi (2017) entendem que as aplicações do SIG-*AHP* estão entre as abordagens mais utilizadas por ser uma técnica flexível que visa facilitar a resolução de problemas complexos de decisão.

Sanchez-Lozano *et al.* (2016) também destacam que o *AHP* é uma solução adequada, principalmente por ser amplamente aceito pela comunidade científica internacional como um instrumento poderoso e flexível para auxiliar no processo de tomada de decisão. Em suma, o *AHP* é um método que auxilia na tomada de decisões complexas qualitativas e quantitativas, baseado em matemática e psicologia, desenvolvido na década de 1970 pelo Prof. Thomas Saaty, então na Escola Whaston da Universidade da Pensilvânia. Conforme Gomes e Gomes (2019) este é um dos primeiros métodos dedicados à decisão multicritério e, possivelmente, o mais extensivamente utilizado em todo o mundo na atualidade.

Tabela 2 – Métodos AMD utilizados nos artigos revisados.

ARTIGOS	MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO	SIGLAS
[2] [5] [6] [7] [8] [9] [11] [12] [13] [15] [20] [21] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [31] [36] [38]	<i>Analytical Hierarchy Process</i>	<i>AHP</i>
[37]	<i>Analytical Hierarchy Process - Fuzzy</i> <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i> <i>TOPSIS - Triangular Fuzzy Number (TFN)</i> <i>TOPSIS - Fermatean Fuzzy (FF)</i>	<i>AHP - F</i> <i>TOPSIS</i> <i>TOPSIS-TFN</i> <i>TOPSIS-FF</i>
[29]	<i>Analytical Hierarchy Process</i> <i>Attraction Model of an Expansion Model</i>	<i>AHP</i> <i>AMEM</i>
[22]	<i>Analytical Hierarchy Process</i> <i>Analytical Network Process</i>	<i>AHP</i> <i>ANP</i>
[34]	<i>Analytical Hierarchy Process</i> <i>Analytical Network Process</i> <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>	<i>AHP</i> <i>ANP</i> <i>TOPSIS</i>
[4]	<i>Analytical Hierarchy Process</i> <i>Fuzzy Membership Function</i>	<i>AHP</i> <i>FMF</i>
[33]	<i>Analytical Hierarchy Process - Fuzzy</i> <i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i>	<i>AHP - F</i> <i>PROMETHEE II</i>
[3]	<i>Analytical Hierarchy Process</i> <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i> <i>ELimination and Choice Expressing Reality</i>	<i>AHP</i> <i>TOPSIS</i> <i>ELECTRE-TRI</i>
[17]	<i>Analytical Hierarchy Process</i> <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i> <i>Multi Attribute Utility Method</i>	<i>AHP</i> <i>TOPSIS</i> <i>MAUT</i>
[32]	<i>Analytical Hierarchy Process</i> <i>Entropy Method</i> <i>Combination Weighting Method</i>	<i>AHP</i> <i>EM</i> <i>CWP</i>
[16] [30]	<i>Best-Worst Method</i>	<i>BWM</i>
[14]	<i>Compex Proportional Assentement - Fuzzy</i>	<i>COPRAS-F</i>
[1]	<i>ELimination and Choice Expressing Reality</i> <i>Interactive Robustness Analysis and Parameters' Inference for Multicriteria</i> <i>Sorting Problems</i>	<i>ELECTRE-TRI</i> <i>IRIS</i>

ARTIGOS	MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO	SIGLAS
[35]	<i>Full Consistency Method</i>	<i>FUCOM</i>
[18]	<i>Rank Sum Weight Method</i>	<i>RS</i>
	<i>Inverse or Reciprocal Weights Method</i>	<i>RR</i>
	<i>Rank Order Centroid</i>	<i>ROC</i>
	<i>Point Allocation</i>	<i>PA</i>
[19]	<i>Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA)</i> <i>Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)</i>	<i>SWA'TEL</i>
[10]	Pesos variados para oito cenários diferentes	Outro

Dentre os outros métodos AMD identificados nesta revisão, vale destacar o *TOPSIS* utilizado em cinco estudos, seguido dos métodos *ANP*, *ELECTRE-TRI* e *BWM* que foram aplicados em duas pesquisas cada. Referente a combinação de métodos utilizados em onze estudos, isso se dá, principalmente, para se obter uma comparação entre os resultados com a aplicação de métodos diferentes, ou então, por uma complementação entre eles como é o caso do *AHP-TOPSIS*. Santos (2020) exemplifica que o método *TOPSIS* exige, desde o seu princípio, a aplicação de pesos para os diferentes critérios o que, por vezes, o torna subjetivo ou nem sempre o decisor está seguro na aplicação desses pesos. Com isso, recorre-se ao método *AHP* para gerar os pesos com o auxílio da Escala Fundamental de Saaty (Escala numérica de 1 a 9), e os pesos resultantes desse processo são então aplicados no *TOPSIS* gerando, por fim, a ordenação dos critérios.

Quais os critérios que são usados com maior frequência para caracterizar e selecionar a localização de centrais FV? No contexto dos métodos AMD, critério representa uma condição que possibilita quantificar ou avaliar, contribuindo para a tomada de decisão. Portanto, é a medida de evidência que, entre outras, serve de base para a decisão (Silva *et al.*, 2008). Os critérios podem ser de dois tipos: restritivos (exclusão) ou de ponderação (fatores). Os critérios restritivos nas análises AMD-SIG são dados espaciais que por motivos ambientais, de infraestrutura, históricos/culturais, legislação, dentre outros, limitam as alternativas consideradas na análise, identificando previamente o que é caracterizado como “não-apto”, ou seja, locais em que não é viável, ou permitida a instalação de UFV.

Os critérios de ponderação acentuam ou diminuem a aptidão de determinada alternativa conforme o objetivo da causa. Normalmente, essa aptidão é medida em uma escala contínua, de forma a abranger todo o espaço de solução inicialmente previsto (Silva *et al.*, 2008). Pode-se, por exemplo, identificar a distância das áreas com relação a rede elétrica, de modo que quanto maior a distância, menor será a aptidão do solo para localizar uma central FV, ou ainda, quanto maior for o índice de irradiação solar de dado local, maior será sua aptidão. Para apresentar os dados de forma mais eficiente, os critérios foram sistematizados em categorias, sendo descritos na sequência os critérios restritivos.

Na categoria dos critérios ambientais, identificou-se restrições referente as Áreas de Preservação Permanente (APP) as quais foram aplicadas em 30 estudos, apesar de cada local possuir suas particularidades, no geral, os estudos eliminaram áreas de preservação ambiental, parques nacionais e regiões estratégicas para proteção da biodiversidade da fauna e da flora. Em relação aos recursos hídricos, 30 estudos eliminaram locais com cursos de água (qualquer corpo de água fluente, como rios, córregos, riachos etc.) e massas de água (lagos, lagoas, açudes, represas e reservatórios), além de excluir também as áreas úmidas.

Com base em fatores geográficos, três estudos estipularam restrições à altitude, dado que áreas de maior altitude tendem a ser mais frias e as de menor altitude mais quentes. Dessa forma, a busca por locais de temperatura amena tende a contribuir com o desempenho do sistema FV. Sobre a declividade, 18 estudos trabalharam com o tema, não há um consenso na literatura sobre a declividade máxima a ser considerada. Nessa análise identificou-se uma variação de 5% até 25%, contudo, após especificar uma declividade máxima, o restante é eliminado da área em estudo. Esse critério é responsável por eliminar uma grande quantidade de áreas pois, basicamente, conforme as classes de declividade da Embrapa (1979) são consideradas apenas as áreas planas (0-3%), suave-ondulado (3%-8%) e ondulado (8%-20%) para a inserção de UFV.

A orientação das encostas foi considerada em cinco estudos. Esse critério torna-se relevante quando a restrição da declividade é mais flexível, ou seja, com valores mais elevados pois torna viável o aproveitamento das encostas que proporcionam maior desempenho nos módulos FV. As orientações mais adequadas são Norte (Hemisfério Sul) e Sul (Hemisfério Norte). O uso e cobertura do solo, como critério restritivo, foi considerado em 21 pesquisas. Esse item engloba locais com alto índice de vegetação (florestas), terras agrícolas (classificação da capacidade do solo), entre outros.

Outro critério responsável por eliminar áreas é a suscetibilidade a desastres, isto é, áreas com maior risco de serem afetadas por desastres naturais e/ou climáticos, zonas de incêndio, áreas sujeitas a tempestades de areia ou ainda locais onde há falhas ativas nas placas tectônicas. Oito estudos utilizaram esse critério. Foram aplicados também restrições com base no critério climático (4 estudos), dentre os critérios utilizados destaca-se a temperatura média, a média de dias nublados, a taxa de descarga atmosférica, a umidade relativa e a velocidade dos ventos. Há ainda oito estudos em que as áreas analisadas possuem baixos índices de irradiação solar, nesses casos houve a restrição de alguns locais com índices considerados insuficientes.

No que tange a infraestrutura, o sistema viário foi restringido em 23 estudos. Esse critério inclui áreas ocupadas por estradas, rodovias, ferrovias, assim como seus terrenos associados. Vinte e sete estudos eliminaram áreas urbanas e povoados rurais de uso residencial, industrial ou comercial. Com relação a infraestrutura do sistema elétrico, oito estudos

avaliaram a proximidade com linhas de transmissão e subestações. Áreas muito distantes foram eliminadas da análise. Além disso, o estudo de Shriki *et al.* (2023), eliminou locais em que a rede e as subestações já estavam saturadas.

Dentre outros critérios que foram utilizados, vinte e cinco estudos excluíram áreas consideradas de interesse, em que instalações aeroportuárias, pontos turísticos, sítios arqueológicos, áreas de elevado valor paisagístico, áreas de uso militar, dentre outras, foram eliminadas. Há ainda outros critérios restritivos pontuais que foram considerados em alguns estudos como, por exemplo, áreas de pedreiras (duas pesquisas), lote com área mínima para viabilizar a instalação de um central FV de grande porte (quatro pesquisas), áreas que causariam algum impacto visual (duas pesquisas).

Já os critérios de ponderação, nas análises AMD-SIG, são elementos espaciais que tem alguma interferência na escolha dos locais mais adequados para a instalação de centrais FV. Para esses, é necessário a atribuição de pesos de acordo com a importância/influência que cada um exerce nesse processo. Posteriormente, com os pesos identificados (por meio de métodos AMD), cabe realizar a sobreposição dessas camadas espaciais em software SIG para então identificar o índice de adequação da área em estudo.

Os critérios de ponderação identificados nesta revisão estão exemplificados na Fig. 3. Nesse caso, não houve uma categorização significativa nos dados, sendo que a nomenclatura apresentada é de fato a que foi utilizada nas pesquisas. Dessa forma, o critério climático se sobressai em relação aos demais com 21 menções, seguido do ambiental com 16 e o topográfico com 15. O item identificado como Outros faz referência aos seguintes critérios de ponderação: Técnico-econômico (duas pesquisas); Restrições territoriais (uma pesquisa), Recursos Obrigatórios (uma pesquisa); Recursos Essenciais (uma pesquisa); Critérios complementares (duas pesquisas); Critérios de Aptidão (uma pesquisa) Critérios de impacto (uma pesquisa) Critérios de produtividade (uma pesquisa).

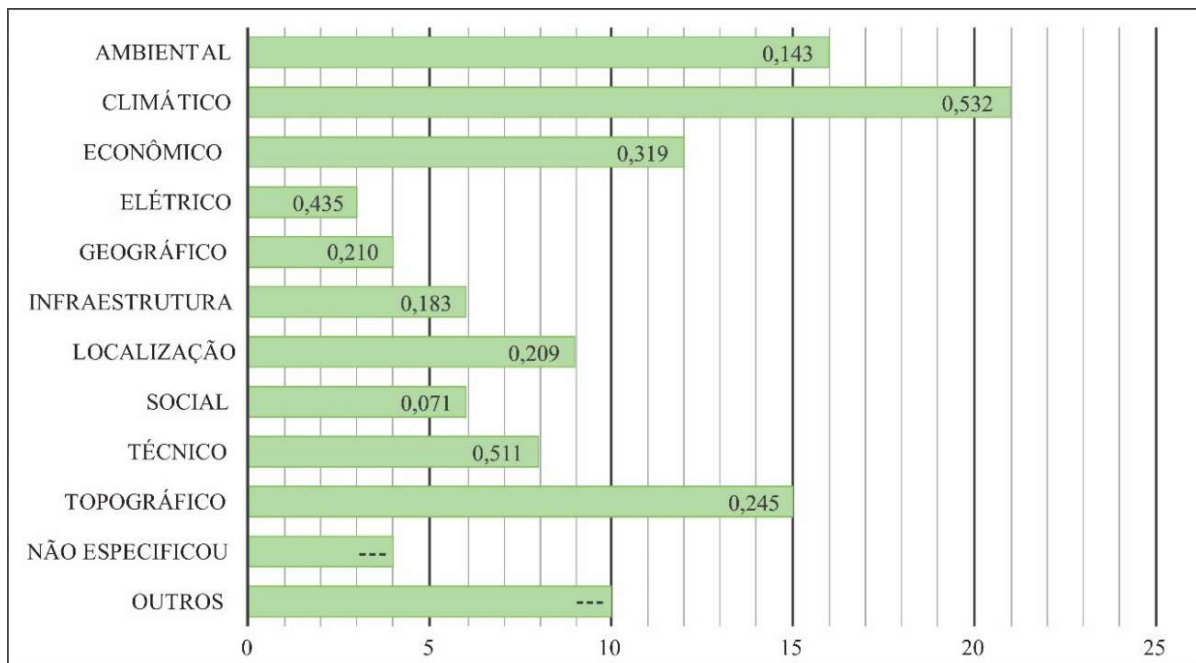


Figura 3 – Critérios de Ponderação utilizados nas pesquisas e seus respectivos pesos.

Como mencionado anteriormente, os métodos AMD exigem a aplicação de pesos sobre os critérios de ponderação, essa etapa é importante para o sucesso da análise. Assim, com base na revisão dos estudos, identificou-se que 17 pesquisas utilizaram a opinião de especialistas para determinar os pesos; 11 tiveram embasamento na literatura; sete estudos aplicaram tanto a opinião de especialistas quanto a literatura; duas pesquisas combinaram a opinião de especialistas de forma individual (cada um expõe sua ordem de importância) com a opinião de um grupo de especialistas (necessário chegar a um consenso para determinar o peso); e um estudo utilizou o peso reportado por um grupo de especialistas. Quanto ao número de especialistas necessários para fazer essas avaliações, houve variação desde um indivíduo até quatorze, contudo, a mediana e a moda dos estudos é de quatro especialistas. Conforme (Gül *et al.*, 2021 e Seker, 2019) de quatro a dez especialistas são suficientes para obter informações confiáveis para o processo de tomada de decisão.

Sendo assim, para obter o peso atribuído para cada critério, fez-se a mediana (Figura 3) entre os estudos analisados. Observa-se que, apesar das nomenclaturas diferentes, pode-se agrupar alguns critérios, assim, o grupo com características técnicas foi considerado o mais relevante, sendo eles: Climático (0,532); Técnico (0,511) e Elétrico (0,435), o critério Econômico aparece na sequência com o peso de 0,319. Após, vem o agrupamento que envolve questões Geográficas (0,210) e Topográficas (0,245); seguido pelo grupo relacionado a Localização (0,209) e Infraestruturas (0,183). Os critérios que receberam os menores pesos são o Ambiental (0,143) e o Social com 0,071. Entende-se que esses critérios, com destaque ao ambiental, são explorados com mais afinco nos critérios restritivos, o que justifica o menor grau de importância atribuído a eles nos critérios de ponderação. Ressalta-se ainda, que o ordenamento obtido com a mediana dos estudos revisados está coerente com o que foi observado na literatura.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na última década, a energia solar fotovoltaica tem se destacado no cenário mundial por ser uma fonte alternativa renovável, com custos cada vez mais competitivos, e quando seguido adequadamente os processos ao longo do ciclo de vida dos materiais, isto é, desde a aquisição das matérias-primas até a reciclagem e disposição final, se configura como uma fonte com baixo impacto ambiental. Entretanto, para garantir um desenvolvimento equilibrado e sustentável, é imprescindível que as UFV estejam localizadas em áreas apropriadas à sua instalação, uma vez que não se deve buscar apenas a máxima eficiência energética, mas também priorizar locais onde possam causar menores impactos sociais, ambientais e econômicos.

Para isso, a literatura mostra que diferentes critérios são considerados na seleção das melhores áreas para a execução de projetos de energia solar sustentáveis considerando aspectos ambientais, técnicos, econômicos e sociais. Na revisão observou-se que os principais critérios restritivos aplicados para eliminar áreas inadequadas para a instalação de UFV foram as Áreas de Preservação Permanentes (APP), locais com abrangência de recursos hídricos, sistema viário, áreas construídas, uso e cobertura do solo, áreas com declividade acentuada e locais de interesse de acordo com as particularidades de cada área em estudo.

Já os critérios de ponderação utilizados com maior frequência nas pesquisas foram questões relacionadas a fatores ambientais, climáticos, econômicos, técnicos, de localização e topográficos, sendo que os critérios climáticos (0,532) e técnicos (0,511) exercem a maior influência no processo de seleção. Os pesos, por sua vez, foram aplicados com base na opinião de especialistas e em revisão de literatura, com predomínio da aplicação do método de Apoio Multicritério à Decisão *AHP*. Nesse sentido, é razoável considerar a abordagem AMD para auxiliar no processo de tomada decisão, ciente de que há uma diversidade de métodos disponíveis na literatura, cada qual com suas especificidades sendo fundamental a adoção de uma abordagem que se adapte às condições do problema e garanta o sucesso dos resultados.

O SIG integrado à abordagem AMD vem se mostrando uma técnica eficiente no auxílio de processos com implicações socioambientais em uma base territorial. À medida que esse sistema foi se desenvolvendo, a sua aplicação tem-se expandido a vários campos, incluindo o das energias renováveis. As pesquisas direcionadas para a energia eólica e solar FV são mais recorrentes na literatura. Contudo, há também estudos com biomassa, energia geotérmica, energia solar concentrada ou ainda, uma combinação de duas ou mais fontes.

Por fim, identificou-se, com a revisão sistemática das 38 pesquisas elencadas, que em pesquisas futuras, o critério social pode vir a ser melhor explorado, bem como apostar na diversificação dos métodos AMD empregados nas análises. Além disso, há a possibilidade de explorar diferentes escalas territoriais, visto que a maior parte dos estudos se deu em áreas de menor extensão territorial (regiões, províncias e países de menor porte). Logo, a abordagem SIG-AMD, na perspectiva de seleção de locais para instalações FV em escala de utilidade, pode fornecer percepções úteis para a formulação de políticas que buscam um planejamento e gestão eficientes das fontes de energia elétrica renováveis.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- EMBRAPA, 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. In: Reunião Técnica de Levantamento de Solos, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula...Rio de Janeiro, 83p.
- Fard, M. B., Moradian, P., Emarati, M., Ebadi, M., Chofreh, A. G., Klemes, J., 2022. Ground-mounted photovoltaic power station site selection and economic analysis based on a hybrid fuzzy best-worst method and geographic information system: A case study Guilan province. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 169, p. 112923.
- Giamalaki, M.; Tsoutsos, T., 2019. Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/*AHP* approach. *Renewable Energy*, v. 141, p. 64–75.
- Gomes, L. F. A. M.; Gomes, C. F. S., 2019. Princípios e métodos para tomada de decisão: enfoque multicritério. 6. ed. São Paulo: Atlas, p. 360.
- Gomes, R. C., Bias, E. S., 2018. Integração do Método *AHP* e SIG como instrumento de análise do nível de conservação ambiental em bacias hidrográficas. *Geociências*. São Paulo, SP, v. 37, n.1, p. 167 – 182.
- Gül, M., Lo, H. W., Yücesan, M., 2021. Fermatean fuzzy TOPSIS-based approach for occupational risk assessment in manufacturing. *Complex & Intelligent Systems*, v.7, p. 2635-2653.
- Guler, D., Charisoulis, G., Battenfield, B. P., Yomralioglu, T., 2021. Suitability modeling and sensitivity analysis for biomass energy facilities in Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 23, p. 2183–2199.
- Haddad, B., Díaz-Cuevas, P., Ferreira, P., Djebli, A., Juan Pedro Pérez, J. P., 2021. Mapping concentrated solar power site suitability in Algeria. *Renewable Energy*, v. 168, p. 838-853.
- IRENA, 2023. Renewable capacity statistics 2023, International Renewable Energy Agency (IRENA). Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>. Acesso em: out. 2023.
- Kitchenham, B., Charters, S., 2007. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering, Version 2.3, EBSE Technical Report EBSE-2007-01.

- Konstantinos, I.; Georgios, T.; Garyfalos, A., 2019. A Decision Support System methodology for selecting wind farm installation locations using *AHP* and *TOPSIS*: Case study in Eastern Macedonia and Thrace region, Greece. *Energy Policy*, v. 132, p. 232-246.
- Lindberg, O., Birging, A., Widen, J., Lingfors, D., 2021. PV park site selection for utility-scale solar guides combining GIS and power flow analysis: A case study on a Swedish municipality. *Applied Energy*, v. 282, p. 116086.
- Mensour, O. N., El Ghazzani, B., Hlimi, B., Ihlal, A., 2019. A geographical information system-based multi-criteria method for the evaluation of solar farms locations: A case study in Souss-Massa area, southern Morocco. *Energy*, v. 182, p. 900-919.
- MME, 2023. Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023. Ministério de Mina e Energia (MME). Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023>. Acesso em: out. 2023.
- Mora, S.L.C., Peláez, J.L.S., 2020. Sanitary landfill site selection using multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process: A case study in Azuay province, Ecuador. *Waste Management & Research*, v.38, p. 1129-1141.
- Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., García-Cascales, M. S. 2013. Geographical Information Systems (GIS) and MultiCriteria Decision Making (AMD) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 24, p. 544–556.
- Seker, S., 2019. Site selection for solar power plants using integrated two-stage hybrid method based on intuitionistic fuzzy *AHP* and *COPRAS* approach. *Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making*, v. 1029, p. 616–624.
- Shriki, N., Rabinovici, R., Yahav, K., Rubin, O., 2023. Prioritizing suitable locations for national-scale solar PV installations: Israel's site suitability analysis as a case study. *Renewable Energy*, v. 205, p. 105-124.
- SIGA, 2023. Sistema de Informação de Geração da ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiJR9>. Acesso em: out. 2023.
- Silva, A. N. R.; Ramos, R. A. R.; Souza, L. C. L De.; Rodrigues, D. S. Mendes, J. F. G., 2008. SIG: Uma Plataforma para Introdução de Técnicas Emergente no Planejamento Urbano, Regional, e de Transportes. São Carlos: EdUFSCar, 227p.
- Song, T., Pu, H., Schonfeld, P., Zhang, H., Li, W., Peng, X., Hu, J., Liu, W., 2021. GIS-based multi-criteria railway design with spatial environmental considerations. *Applied Geography*, v. 131, p. 102449.
- Taylor, P., 2023. Termos Freguesia, Concelho e Distrito. Disponível em: <https://portugal.taylorimoveis.com/descomplicando-os-termos-freguesia-concelho-e-distrito/>. Acesso em: 13 out. 2023.
- Uyan, M., 2017. Optimal site selection for solar power plants using multi-criteria evaluation: A case study from the Ayrançi region in Karaman, Turkey. *Clean Technol. Environ. Policy* 19, 2231–2244.

LOCATION INDICATION FOR PHOTOVOLTAIC SOLAR POWER PLANTS BASED ON CRITERIA APPLIED IN A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM: A SYSTEMATIC REVIEW

Abstract. *In the last decade, due to the decrease in the price of photovoltaic modules, there has been an exponential growth in the number of installations of Photovoltaic Solar Generating Plants (PVGPs) worldwide, increasing from 136.57 GW (2013) to 1,046.61 GW in 2022. However, due to the large amount of land required for these installations, research in different countries has highlighted the importance of carrying out analyses that incorporate different criteria to identify the most suitable locations for the construction of these systems. This article systematically reviews research that applies the Multicriteria Decision Support (MDS) methodology combined with a Geographic Information System (GIS) to identify the location of UVFs. The aim is to understand the general context of these studies, which MDS methods and criteria are most frequently used to support this decision-making process. For this purpose, the databases Scopus, Web of Science and ScienceDirect were selected, from 2014 to September 2023. The material was systematized using Parsifal software and, after evaluation, 38 articles were selected for data extraction. The results show that the Asian continent has conducted the largest number of studies in this field. In addition, the Analytical Hierarchy Process (AHP) AMD method has been the most widely used, while technical and economic issues are the criteria generally considered most relevant in site selection. Finally, among the gaps identified, it was noted that the methodology reviewed has been applied with greater emphasis in areas of smaller territorial extension and that, despite the frequent use of the AHP method, there are several other AMD methods that could be better explored. It is also worth noting that the social criterion was little addressed in the studies analyzed, despite its relevance to the tripod of environmental, social, and economic sustainability.*

Keywords: *Renewable energy, Multicriteria decision support (MDS), Parsifal Software.*

APÊNDICE A - PESQUISAS UTILIZADAS NA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

	AUTORES	REVISTA	ANO
[1]	Sánchez-Lozano J.M.; Henggeler Antunes C.; García-Cascales M.S.; Dias L.C.	Renewable Energy	2014
[2]	Georgiou A.; Skarlatos D.	Geoscientific Instrumentation Methods and Data Systems	2016
[3]	Sánchez-Lozano, J.M.; García-Cascales, M.S.; Lamata, M.T.	Journal of Cleaner Production	2016
[4]	Suh, J.; Brownson, J.R.S.	Energies	2016
[5]	Al Garni H.Z.; Awasthi A.	Applied Energy	2017
[6]	Doljak, D.; Stanojevic, G.	Energy	2017
[7]	Rodrigues S.; Coelho M.B.; Cabral P.	International Journal of Renewable Energy Research	2017
[8]	Suuronen A.; Lensu A.; Kuitunen M.; Andrade-Alvear R.; Celis N.G.; Miranda M.; Perez M.; Kukkonen J.V.K.	Environmental Earth Sciences	2017
[9]	Doorga, J.R.S; Rughooputh, S.D.D.V; Boojhawon, R.	Renewable Energy	2019
[10]	Majumdar D.; Pasqualetti M.J.	Renewable Energy	2019
[11]	O. Nait Mensour and B. {El Ghazzani} and B. Hlimi and A. Ihlal	Energy	2019
[12]	Ghose, D.; Naskar, S.; Shabbiruddin; Sadeghzadeh M.; El Haj Assad, M.; Nabipour, N.	Sustainable Energy Technologies and Assessments	2020
[13]	Finn, T. ; McKenzie, P.	Renewable Energy	2020
[14]	Furtado P.A.X.; Sola A.V.H.	Energies	2020
[15]	Habib, S.M.; Suliman, A.E.R.E.; Al Nahry, A.H.; Rahman, E.N.A.	Remote Sensing Applications-Society and Environment	2020
[16]	Hashemizadeh A.; Ju Y.; Dong P.	International Journal of Environmental Science and Technology	2020
[17]	Rediske G.; Siluk J.C.M.; Michels L.; Rigo P.D.; Rosa C.B.; Cugler G.	Energy	2020
[18]	Tercan, E.; Saracoglu, B.O.; Bilgilioglu, S.S.; Eymen, A.; Tapkin, S.	Environmental Monitoring and Assessment	2020
[19]	Badi I.; Pamucar D.; Gigović L.; Tatomirović S.	International Journal of Green Energy	2021
[20]	Galvan J.P.D.	Mindanao Journal of Science and Technology	2021
[21]	Günen M.A.	Renewable Energy	2021
[22]	Naseri M.; Hussaini M.S.; Iqbal M.W.; Jawadi H.A.; Puya M.	Journal of Mountain Science	2021
[23]	Rios R.; Duarte S.	Renewable & Sustainable Energy Rev.	2021
[24]	Tercan E.; Eymen A.; Urfalı T.; Saracoglu B.O.	Land Use Policy	2021
[25]	Zambrano-Asanza S.; Quiros-Tortos J.; Franco J.F.	Renewable & Sustainable Energy Rev.	2021
[26]	Alhammad A.; Sun Q.; Tao Y.	Energies	2022
[27]	Elboshy B.; Alwetaishi M.; M. H. Aly R.; Zalhaf A.S.	Ain Shams Engineering Journal	2022
[28]	Gutiérrez J.; Velázquez J.; Aguiló M.L.; Herráez F.; Jiménez C.; Canelo L.E.; Hernando A.; Gómez I.; Rincón V.	Infrastructures	2022
[29]	Imamverdiev N.S.	Geography and Natural Resources	2022
[30]	Fard, M. B.; Moradian, P.; Emarati, M.; Ebadi, M.; Chofreh, A. G.;Klemeš, J.J.	Renewable and Sustainable Energy Rev.	2022
[31]	Noorollahi Y.; Ghenaatpisheh Senani A.; Fadaei A.; Simaee M.; Moltames R.	Renewable Energy	2022
[32]	Qiu T.; Wang L.; Lu Y.; Zhang M.; Qin W.; Wang S.; Wang L.	Renewable and Sustainable Energy Rev.	2022
[33]	Almasad A.; Pavlak G.; Alquthami T.; Kumara S.	Solar Energy	2023
[34]	Hasti F.; Mamkhezri J.; McFerrin R.; Pezhooli N.	Solar Energy	2023
[35]	Khan, A; Ali, Y; Pamucar, D	Environmental Science and Pollution Research	2023
[36]	Kocabaldır C.; Yücel M.A.	Renewable Energy	2023
[37]	Hooshangi,N.; Gharakhanlou, N. M.; Razin, S. R. G.	Journal of Cleaner Production	2023
[38]	Shriki, S.; Rabinovici, R.; Yahav, K.; Rubin,O.	Renewable Energy	2023