PROPOSTA METODOLÓGICA DE APOIO À DECISÃO PARA A SELEÇÃO DE MUNICÍPIO VISANDO A IMPLANTAÇÃO DE CENTRAIS GERADORAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Debora Cristiele Kummer
Universidade de São Paulo – Doutoranda em Arquitetura e Urbanismo (FAU-USP)
Rua do Lago, 876 – Butantã, São Paulo – SP
deborakummer@usp.br

Marie Xavier Clementino
Universidade de São Paulo – Mestranda em Engenharia Civil (Poli-USP)
Avenida Prof. Almeida Prado, trav. 2, 83 – Cidade Universitária, São Paulo – SP
marie.clementino@usp.br

José Geraldo Vidal Vieira
Universidade Federal de São Carlos – Prof. Dr. Dep. Engenharia de Produção
Rod. João Leme dos Santos, km 110 - Sorocaba– SP
jose-vidal@ufscar.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi identificar no estado de São Paulo a região, bem como o município mais adequado para receber a instalação de centrais geradoras de energia solar fotovoltaica (UFV), considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Para isso, fez-se uso do recorte territorial das Regiões Geográficas Intermediárias (RGI) e do método SMARTER, apoiado por processos de análise em Sistema de Informação Geográfica (SIG), e em revisão de literatura. Identificou-se que as RGI de Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Ribeirão Preto possuem os maiores índices de irradiação solar no estado. Com ênfase em Ribeirão Preto, e em quatro potenciais municípios dessa região obteve-se como resultado que o município de Barretos é o mais adequado para a instalação de UFV. Por fim, o estudo se demostrou coerente na análise de sensibilidade de modo que o município de Barretos se manteve na primeira posição mesmo em diferentes configurações do estudo.

PALAVRAS-CHAVE. Energia Solar Fotovoltaica, Tomada de Decisão Multicritério, SMARTER.

Tópicos: PO e energias renováveis; PO e seleção de municípios; PO apoiada por análise SIG.

ABSTRACT

The objective of this work was to identify the region in the state of São Paulo, as well as the most suitable municipality to receive the installation of photovoltaic solar energy generating centers (UFV), considering technical, economic and environmental aspects. For this, the territorial outline of the Intermediate Geographic Regions (IGR) and the SMARTER method were used, supported by analysis processes in the Geographic Information System (GIS), and in a literature review. It was identified that the IGR of Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente and Ribeirão Preto have the highest levels of solar irradiation in the state. With an emphasis on Ribeirão Preto, and on four potential municipalities in this region, it was obtained as a result that the municipality of Barretos is the most suitable for the installation of UFV. Finally, the study proved to be consistent in the sensitivity analysis, so that the municipality of Barretos remained in the first position even in different study configurations.

KEYWORDS. Photovoltaic Solar Energy. Multi-criteria Decision-Making. SMARTER.

Paper topics: OR and renewables energies; OR and selection of municipalities; OR supported by GIS analysis.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175018
https://proceedings.science/p/175018?lang=pt-br

1. Introdução

A energia elétrica é a segunda maior fonte energética consumida no Brasil, atrás apenas do petróleo e derivados (EPE, 2020), por suas características climáticas e territoriais o Brasil possui uma matriz de energia elétrica com 83,53% do total advinda de fontes renováveis (ANEEL, 2023). Entretanto, isso se dá devido ao uso de fontes hídricas que apesar de ser uma matriz menos poluente, acarreta uma grande dependência do sistema elétrico nacional por essa fonte. Fato esse que já causou diferentes crises de abastecimento motivadas por condições hidrológicas desfavoráveis, sendo a mais recente presenciada no ano de 2021, com uma das maiores estiagens vivenciadas na região Sul e Sudeste dos últimos 91 anos (ALBUQUERQUE, 2021).

Nessa perspectiva, o governo federal tem incentivado a diversificação da matriz elétrica nacional por meio de fontes alternativas renováveis como, por exemplo, as fontes de biomassa, eólica e solar. Com ênfase na energia solar fotovoltaica, no ano de 2011 ocorreu a instalação da primeira central geradora solar fotovoltaica (UFV) - também chamada de usina fotovoltaica - no Brasil, no estado do Ceará, com uma potência instalada de 1 megawatt (MW). Até maio de 2023, o Brasil contava com mais de 18.000 UFV, totalizando uma potência de 8.624,93 MW em operação, o que corresponde a cerca de 4,49% da matriz elétrica nacional (ANEEL, 2023).

Apesar do grande potencial de geração no país, ao optar por um sistema centralizado de energia solar fotovoltaica, uma das principais questões que se coloca é a escolha do local a ser implantado o sistema, visto que há um alto custo atrelado à instalação e a infraestrutura necessária para operação do sistema, assim como um uso extensivo do solo. Desse modo, para que o período de amortecimento do investimento seja mais breve, e os benefícios da geração de energia elétrica contribuam de forma mais efetiva, é necessário que o processo de escolha da área considere diferentes aspectos e particularidades do local nesse processo.

Assim, propôs-se neste artigo uma aplicação do método de tomada de decisão multicritério SMARTER (*Simple Multi-Attribute Rating Technique using Exploiting Rankings*) com a utilização do *software* V.I.S.A. (*Visual Interactive Sensitivity Analysis*) para identificar, dentre quatro municípios previamente selecionados no estado de São Paulo, qual o mais indicado para receber a instalação de centrais geradoras de energia solar fotovoltaica. A contribuição deste artigo é a estruturação de uma proposta metodológica que serve de auxílio para a prospecção de novos locais para a instalação de UFV, com base na avaliação de indicadores que otimizem o desempenho dessas instalações.

2. Método de tomada de decisão multicritério SMARTER

Proposto por Edwards e Barron (1994), o SMARTS (*Simple Multi-Attribute Rating Technique using Swings*) e o SMARTER são alguns dentre os diversos métodos desenvolvidos para obtenção da utilidade multiatributo. O SMARTS foi criado para corrigir deficiências do método original SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*), para isso o método incorpora a escala de valores das alternativas nos critérios à noção de importância e compensação entre os mesmos, a partir de um procedimento chamado de Swing para a elicitação dos pesos.

Já o SMARTER tem como objetivo definir os pesos de cada critério de acordo com as suas importâncias relativas (SCHARAMM; MORAIS, 2008). Desse modo, simplifica-se o procedimento de elicitação e utiliza-se para definição dos pesos um procedimento desenvolvido por Barron e Barrett (1994), denominado ROC (*Rank Order Centroid*), ou simplesmente ROC *weights*. Conforme Barron e Barrett (1996), entre 75 e 87% das vezes, dependendo dos detalhes da simulação, os ROC *weights* conseguem identificar a melhor opção com uma perda no valor da utilidade global abaixo de 2%.

Nessa perspectiva, diante da possiblidade de atribuir peso aos critérios de maneira simples e eficiente com embasamento em estudos já publicados e consolidados como referências na área, optou-se pelo método SMARTER para determinar a utilidade multiatributo das alternativas constantes nesta pesquisa. Para a utilização desse método, Edwards e Barron (1994) descrevem nove passos, citados simplificadamente a seguir no Quadro 1:

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175018
https://proceedings.science/p/175018?lang=pt-br

Quadro 1 - Sequência para a aplicação do método SMARTER

Ordem		Descrição
1°	Objetivos e decisores	Identificar o propósito do modelo e do(s) indivíduo(s) ou organização(ões) envolvidos.
2°	Estrutura da elicitação (Árvore de Valores)	Organizar os objetivos através de uma árvore de valor ou uma lista de atributos, para identificar os critérios potencialmente relevantes aos propósitos do modelo.
3°	Objetos da avaliação	Identificar quais são os objetos ou alternativas a serem avaliados no modelo, utilizando as informações levantadas nos dois passos anteriores.
4°	Matriz de alternativas por critérios	Elaborar uma matriz de avaliação de alternativas segundo os critérios. Caso disponíveis, os dados de entrada dessa matriz devem ser as pontuações ou medidas físicas relacionadas às utilidades ou valores. Do contrário, as entradas podem ser julgadas através da utilidade unidimensional.
5°	Opções dominadas	Colocar as alternativas numa escala ordinal, ranqueando-as. Em seguida, eliminar as opções ordinalmente e cardinalmente dominadas. O número de opções deverá ser reduzido sem afetar a escala de atributos.
6°	Utilidades unidimensionais	Os autores propõem quatro formas diferentes para determinar a função utilidade unidimensional, três delas são voltadas para as dimensões que possibilitam medidas quantitativas, e a quarta é direcionada para os casos em que a utilidade unidimensional é obtida a partir de medidas qualitativas.
7°	Elicitação: Troca de pesos (Primeira Etapa do *Swing*)	Fazer a troca das pontuações de algumas alternativas levando-se em consideração os critérios disponíveis, tendo como finalidade definir a ordem de importância destes.
8°	Elicitação: Exploração da ordenação dos critérios (Aplicação ROC *Weights*)	Os pesos são estabelecidos diretamente através da ordem de importância dos atributos, os quais já foram aferidos na etapa 7. É nesse passo que há diferenças de aplicação entre o SMARTS e o SMARTER, pois o primeiro aplica a Segunda Etapa do *Swing* (Elicitação das constantes de escalas), enquanto o SMARTER usa a abordagem ROC *Weights*.
9°	Decisão	Selecionar a alternativa que apresentar a melhor utilidade multiatributo.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Edwards e Barron (1994).

Assim, pode-se observar que o SMARTER busca simplificar o processo de atribuição de peso aos critérios (Passo 8) utilizado no SMARTS, e para isso elimina a segunda etapa do *Swing* (elicitação das constantes de escalas) e incorpora o procedimento ROC *Weights*. Para um maior aprofundamento nos aspectos teóricos desses métodos recomenda-se a leitura dos artigos de Edwards e Barron (1994) e Barron e Barrett (1996).

Por fim, como já mencionado, o presente estudo fez uso do método SMARTER, e para sua aplicação far-se-á uso do *software* V.I.S.A, ferramenta indicada para decisões com fatores múltiplos e difíceis de balancear; para decisões em que nenhuma opção atende perfeitamente a todos os critérios; ou para decisões em que mais de uma pessoa pode opinar sobre como a decisão é tomada (SIMUL8, 2023). A partir disso, será possível atender ao objetivo deste artigo que é identificar no estado de São Paulo a região, bem como o município mais adequado para receber a instalação de centrais geradoras de energia solar fotovoltaica.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175018
https://proceedings.science/p/175018?lang=pt-br

3. 3. Material e Métodos

O estado de São Paulo é composto por onze Regiões Geográficas Intermediárias (RGI) (IBGE, 2017), assim, inicialmente, realizou-se uma análise a nível estadual visando identificar dentre essas regiões aquelas que possuem os maiores níveis de irradiação solar. Observa-se na Figura 1, que as regiões a noroeste são as que recebem a maior incidência solar, sendo que Araçatuba (1) e São José do Rio Preto (8) estão inteiramente na área de maior potencial, e Presidente Prudente (6) e Ribeirão Preto (7) possuem na maior parte de seu território bons índices de irradiação solar.

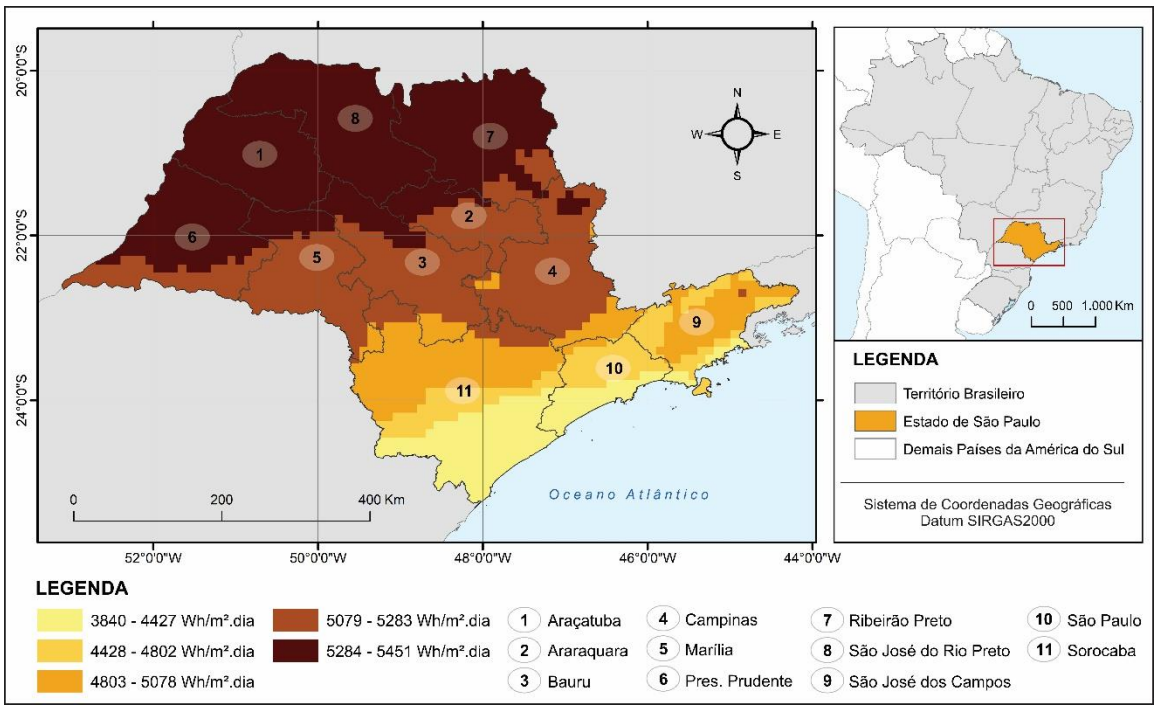

Figura 1 - Irradiação solar no plano inclinado (média anual) para o estado de São Paulo com a delimitação das Regiões Geográficas Intermediárias. Fonte: Autores, com base em IBGE (2020) e LABREN/CCST/INPE (PEREIRA et al., 2017).

Dessa forma, fez-se a seleção dessas quatro regiões para dar sequência a análise. Identificou-se, então, o número de habitantes dessas regiões, conforme a prévia dos dados do Censo Demográfico 2022, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). A RGI de Ribeirão Preto conta com 64 municípios e 2.564.547 habitantes, seguido por São José do Rio Preto (100 municípios e 1.627.577 hab.), Presidente Prudente (55 municípios e 873.202 hab.) e Araçatuba (44 municípios e 788.874 hab.).

A partir disso, elencou-se a região de Ribeirão Preto para aprofundar a pesquisa, visto que essa possui o maior número de habitantes e, por consequência, onde há uma maior demanda de energia elétrica. Conforme ANEEL (2022), possibilitar a adjacência entre a produção e o consumo da energia elétrica é um meio de reduzir tanto as perdas técnicas do sistema quanto econômicas e ambientais, já que exige uma menor distância e infraestrutura para o transporte da energia elétrica.

Por fim, dos 64 municípios que compõem a RGI de Ribeirão Preto selecionou-se aqueles que possuem mais de 100.000 habitantes. Atendem a esse critério os municípios de Ribeirão Preto (702.739 hab.), Franca (370.378 hab.), Sertãozinho (127.670 hab.) e Barretos (119.427 hab.) (IBGE, 2023), logo, esses quatro municípios compõem as alternativas a serem utilizadas no método SMARTER.

A fim de identificar os critérios e os subcritérios para a escolha do munícipio mais adequado para instalação de UFV conectadas à rede, realizou-se a revisão de literatura de 10

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175018
https://proceedings.science/p/175018?lang=pt-br

estudos os quais foram realizados em diferentes países, e publicados em periódicos de alto impacto (Apêndice A). Nessa análise, identificou-se quatorze critérios e trinta e cinco subcritérios que podem vir a ser considerados para identificar a melhor localização da UFV.

Com base nessa revisão e nas especificidades da área em estudo, adotou-se três critérios e dez subcritérios entendidos como determinantes na tomada de decisão. Esses critérios são apresentados na sequência, em ordem decrescente de importância de acordo com o ordenamento utilizado nos estudos analisados.

3.3.1 Critérios Técnicos

- Índices de Irradiação Solar

Apesar dos quatro municípios se concentrarem em uma região com bons índices de irradiação solar (plano inclinado - média anual), cabe realizar a análise para identificar a irradiação no território a nível municipal. Para isso, obteve-se o arquivo em formato *shapefile* junto ao Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN) / Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), (PEREIRA et al., 2017).

- Áreas planas e áreas com orientação das encostas para o norte

A orientação solar possui relação com os níveis de irradiação solar e, consequentemente, com o desempenho do sistema fotovoltaico. No hemisfério sul, visando o maior desempenho, recomenda-se que o módulo fique disposto ao norte com uma declividade próxima à latitude local. Assim, identificou-se quantos quilômetros quadrados (Km²) de área plana e orientada para o norte há em cada município. Os dados foram obtidos com o Modelo Digital de Elevação (MDE) das imagens do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS, 2011), com resolução média de 12,5 m.

- Número de Subestações

As subestações se caracterizam por distribuir a energia elétrica produzida nas usinas, pequenas centrais geradoras ou centrais geradoras. A energia, ao passar por uma subestação, pode ter sua tensão aumentada para diminuir as perdas técnicas no transporte de energia ou diminuída para viabilizar o transporte e suprimento da energia gerada às empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas de distribuição que atuam na região. Os dados foram obtidos em formato *shapefile* junto ao banco de dados de infraestrutura do MapBiomas Brasil (2021).

- Linhas de Transmissão

A implantação de UFV próximas às redes de transmissão de energia possibilitam ganhos econômicos e ambientais, pois a necessidade da instalação de longas linhas de transmissão torna-se um processo oneroso, com impactos técnicos e ambientais. Nesse sentido, identificou-se quantos metros de linhas de transmissão há em cada município. As linhas de transmissão foram obtidas em formato *shapefile* junto ao banco de dados de infraestrutura do MapBiomas Brasil (2021).

3.3.2 Critérios Econômicos

- Declividade de até 8%

A declividade das áreas possui um impacto, principalmente, no viés econômico e ambiental da instalação de UFV, uma vez que, em terrenos íngremes há uma maior dificuldade na instalação, ou então, a necessidade de grandes movimentações de terra para viabilizar o projeto. Não há um consenso na literatura, mas a maior parte dos estudos costumam adotar declividade de até 5° (aproximadamente 8,74%). O presente estudo irá adotar até 8% (suave-ondulado), com base na distribuição das classes de declividade sugerida pela Embrapa (1979), os dados foram obtidos com o MDE ALOS (2011).

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175018
https://proceedings.science/p/175018?lang=pt-br

- Concentração Populacional

A concentração populacional e o consumo de energia estão inter-relacionados. Além disso, a instalação de UFV próximas aos centros de maior consumo possuem influência nos aspectos técnicos já que tendem a reduzir as perdas no transporte da energia, e ambiental, diminuindo a infraestrutura necessária para a implantação e operação do sistema. Os dados referentes a população dos municípios foram obtidos junto ao IBGE (2023).

- Valor venal da terra rural

A instalação de UFV requer uma grande dimensão de terra, assim, o custo dessa terra pode vir a onerar significativamente o projeto. Nesse sentido, as áreas urbanas ficam restritas tanto pela viabilidade quanto pelo custo. Buscou-se então identificar o valor venal da terra rural para os quatro municípios em análise, para este estudo considerou-se áreas de "lavoura com aptidão boa". Os dados foram obtidos no Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2022).

3.3.3 Critérios Ambientais

- Temperatura Média Anual

Estudos como Wang *et al.* (2018), demonstram que os módulos FV começam a perder produtividade quando submetidos a temperaturas acima de 25°C, com isso cabe identificar locais com temperaturas mais amenas para instalar o sistema. Os dados de temperatura média anual também foram obtidos junto ao CLIMATEMPO (2022), também com base na observação de dados de um período de 30 anos.

- Precipitação Média Anual

Os módulos fotovoltaicos operam com a radiação direta e difusa em dias de sol, porém, em dias nublados ou de chuva apenas a radiação difusa opera, reduzindo drasticamente a produção de energia elétrica. Logo, os locais com menores índices de precipitação são mais indicados para instalar UFV. Para identificar a precipitação média anual dos municípios obteve-se os dados junto ao CLIMATEMPO (2022), que apresenta as médias climatológicas com base na observação de dados de um período de 30 anos.

- Altitude Máxima

A altitude tem relação com a temperatura de dado local, sendo que áreas de maior altitude tendem a ser mais frias e as de menor altitude mais quentes. Assim, como já mencionado, a busca por locais de temperatura amena tende a contribuir com o desempenho do sistema. Os dados com a altitude máxima foram obtidos com o MDE ALOS (2011).

Tabela 1 – Compilação dos critérios, subcritérios e alternativas

Critérios	Subcritérios	Unidades	Barretos	Franca	Ribeirão Preto	Sertãozinho
Técnicos	Irradiação Solar	Wh/m². dia	5.422	5.353	5.312	5.334
	Áreas planas e ao Norte	Km²	580,31	87,05	105,12	178,28
	Subestações	Unidade	0	0	1	0
	Linhas de Transmissão	m	28.449	36.119	33.744	0
Econômicos	Declividade até 8%	Km²	1.202,12	266,97	415,5	338,74
	População	Habitantes	119.427	370.378	702.739	127.670
	Custo da Terra	R$/ha	35.494,03	31.074,03	32.662,70	31.836,71
Ambientais	Temperatura Média	°C	24	22	23	24
	Precipitação Média	mm	122	133	122	112
	Altitude Máxima	m	638	1189	802	704

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175018
https://proceedings.science/p/175018?lang=pt-br

A Tabela 1 apresenta a compilação dos critérios e subcritérios para os municípios de Barretos, Franca, Ribeirão Preto e Sertãozinho (alternativas). Vale destacar que os dados obtidos no formato *shapefile* e MDE foram processados em *software* SIG (Sistema de Informação Geográfica). Por fim, com base nessas informações, é possível seguir a análise no *software* V.I.SA. com a construção de uma árvore de valor a partir dos critérios e subcritérios adotados, e seus respectivos pesos adotados com base na revisão de literatura.

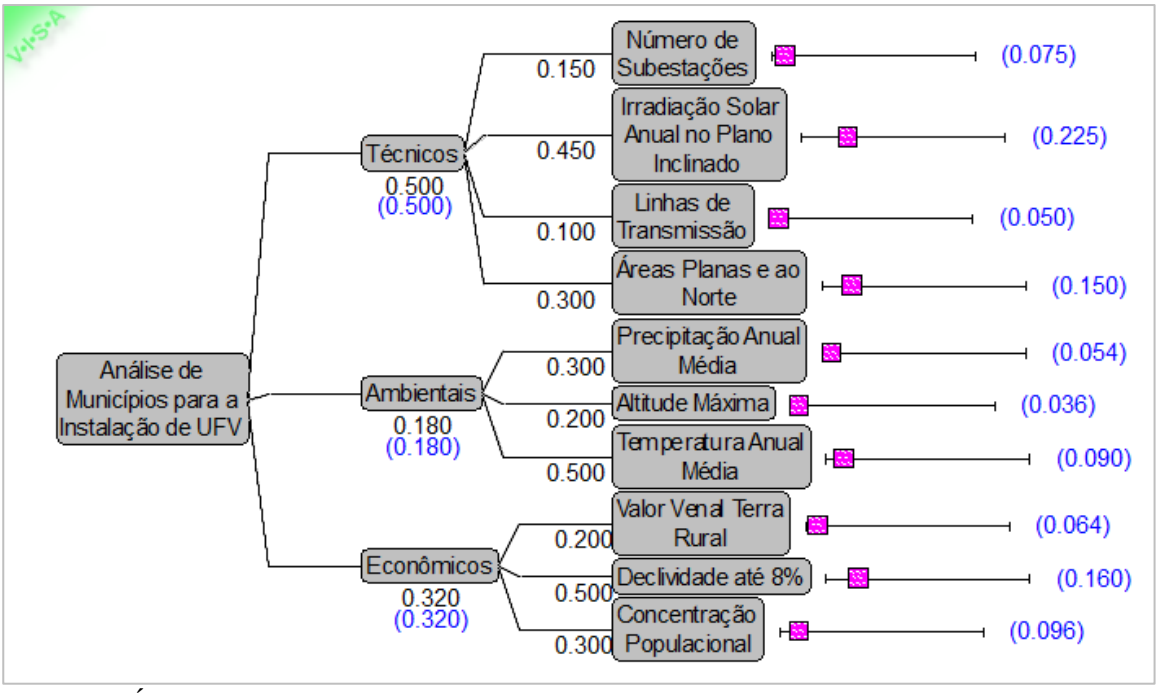

Figura 2 - Árvore de valor para análise de municípios para a instalação de UFV. Em preto: pesos atribuídos aos critérios e subcritérios avaliados; em azul: pesos cumulativos.

Na Figura 2, observa-se que o critério técnico teve um peso maior, seguido do critério econômico e ambiental, respectivamente. O critério técnico, salvo especificidades, recebe o maior peso neste e demais estudos analisados por ter uma relação direta com a produção e distribuição da energia elétrica. Quanto ao peso dos subcritérios deste item, o índice de irradiação solar (0.450) e a orientação solar norte (0.300) são priorizados por refletirem diretamente a produção de energia elétrica. Já as subestações (0.150) e as linhas de transmissão (0.100), são responsáveis por, em um segundo momento, transportar a energia produzida. As subestações recebem um peso maior devido ao seu custo de implantação, porém, não cabe grande discrepância entre ambas, visto que ao priorizar excessivamente as subestações se restringi significativamente os locais para implantação de UFV em todo território brasileiro, e também em nossa análise, pois somente Ribeirão Preto possui uma subestação.

A priorização do critério econômico (0.320) em detrimento do ambiental (0.180) se dá por duas questões principais, (i) devido à grande área de terras necessária para a implantação de UFV e (ii) os subcritérios ambientais analisados refletem questões de produção de energia e não de impactos diretos ao meio ambiente e seus componentes. Nesse sentido, no critério econômico as áreas de terra com declividade de até 8% receberam o maior peso (0.500), seguido da concentração populacional (0.300) e o valor venal da terra (0.200). Os subcritérios ambientais analisados dizem respeito basicamente as características climáticas dos municípios, que possuem uma correlação com a maior ou menor produção de energia elétrica pelo sistema. Assim, a variável de precipitação recebeu um peso maior (0.500), seguido temperatura média (0.300) e, por fim, a altitude máxima (0.200).

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175018
https://proceedings.science/p/175018?lang=pt-br

4. Resultados e Discussão

Para cada critério e subcritério adotado construiu-se uma curva de valor linear, atribuindo-se 0 (zero) e 100 (cem), respectivamente, ao pior e melhor desempenho. Para as alternativas (quatro municípios analisados) com base nos dados da Tabela 1, também se atribuiu valores nessa mesma escala. A partir disso, obteve-se como resultado, em uma escala de valor de 0 a 100, a seguinte configuração de prioridade: Barretos (47), Ribeirão Preto (40), Franca (31) e Sertãozinho com 30, como pode-se observar na Figura 3.

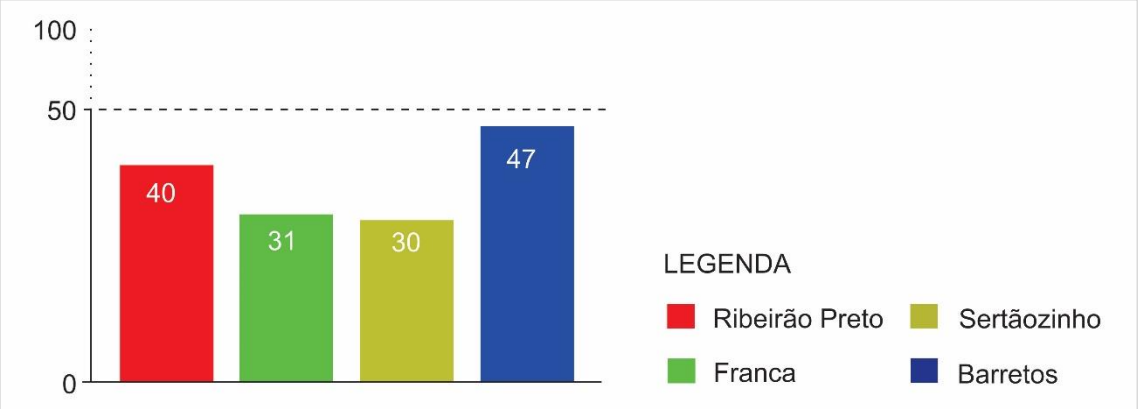

Figura 3. Ordenamento referente a árvore de valor – Ranking das alternativas.

Observa-se que dentre as quatro alternativas, ainda é possível subdividi-las em dois grupos, sendo Barretos e Ribeirão Preto com um maior índice de adequação e Franca e Sertãozinho os municípios menos favorecidos. O desempenho superior de Barretos se dá, principalmente, nos critérios técnicos em que possui o maior índice de irradiação solar e a maior área de terras planas e orientadas ao norte, assim como no critério econômico em que possui a maior área de terra com declividade de até 8%. Já o desempenho de Ribeirão Preto se evidência por ser o único município a possuir subestação e também por conter a maior população quando comparado aos demais.

Apesar de Franca possuir os melhores índices em quatro itens (maior extensão nas linhas de transmissão, maior altitude; menor custo da terra e menor temperatura), esses são subcritérios com um peso menor o que refletiu em um desempenho menos evidente. Sertãozinho, por sua vez, teve um desempenho superior apenas no menor índice de precipitação, entretanto, se manteve na segunda posição nos subcritérios de áreas planas e ao norte, declividade de até 8%, custo da terra, e em terceira posição nos índices de irradiação solar, população, temperatura e altitude, elevando seu desempenho e quase se igualando ao município de Franca.

Na Figura 4, pode-se analisar a comparação entre os critérios investigados para a tomada de decisão, ou seja, comparar apenas o critério técnico em detrimento do ambiental (a), ou o critério técnico em detrimento do econômico (b), ou ainda o critério ambiental comparado ao econômico (c). Observa-se que nas três análises o município de Barretos teve desempenho superior aos demais com destaque para as análises técnico vs. econômico e ambiental vs. econômico, em que esse desempenho é mais visível. Na análise técnico vs. ambiental, apesar de Franca e Ribeirão Preto estarem se equiparando Barretos ainda assim se sobressai em menor proporção, com isso é possível demonstrar que a análise foi robusta e convergente.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175018
https://proceedings.science/p/175018?lang=pt-br

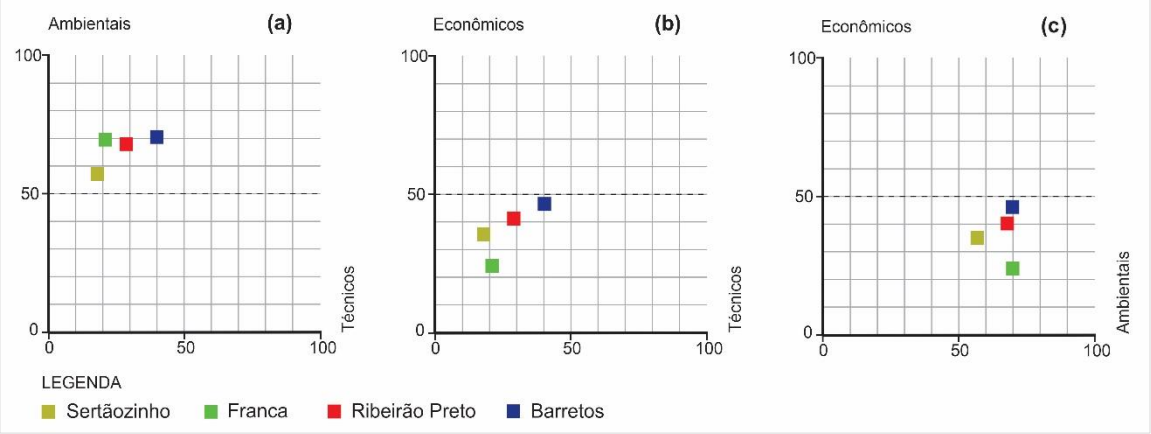

Figura 4. Comparações: (a) Técnico vs. Ambiental; (b) Técnico vs. Econômico; e (c) Ambiental vs. Econômico. Nota: Os valores das alternativas apresentadas nos eixos resultam das curvas de valor.

A análise de sensibilidade (Figura 5), demonstra quão robusta é a escolha das alternativas frente às mudanças de peso de cada critério. Contudo, pode-se notar que o município de Barretos também teve desempenho superior aos demais nas três análises (Figura 5 – a, b, c), com destaque ao critério técnico e econômico em que há uma vantagem mais acentuada, esse resultado demonstra que, com base nos critérios e subcritérios utilizados nesta análise, em todos os cenários a melhor opção para a implantação de uma UFV é o município de Barretos.

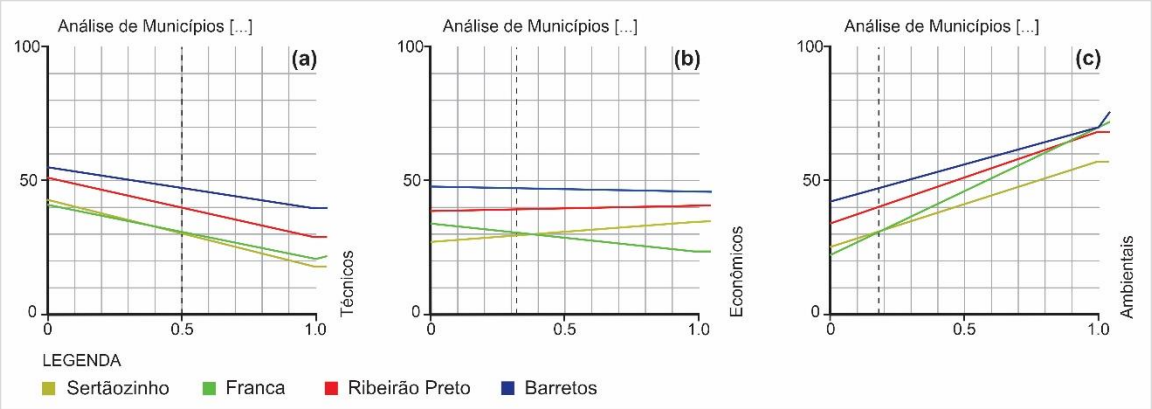

Figura 5. Análise de sensibilidade de seleções alternativas em relação aos critérios investigados. (a) Efeitos do Desempenho Técnico na escolha de alternativas; (b) Efeitos do Impacto Econômico na escolha de alternativas; e (c) Efeitos Ambiental na escolha de alternativas. Observação: A linha tracejada indica o peso da análise atual do critério avaliado.

Já no caso dos demais municípios, Ribeirão Preto apresentou um bom desempenho e se manteve na segunda posição tanto no critério técnico quanto no econômico, independentemente do peso aplicado. No critério ambiental, por sua vez, Ribeirão Preto ficaria na terceira posição somente se fosse aplicado um peso acima de 0.8 na escala de valor, logo, pode-se dizer que esse município é a segunda melhor opção para a instalação de centrais geradoras de energia solar fotovoltaica dentre as quatro alternativas analisadas.

Por fim, as variações mais significativas referente a troca de peso entre os critérios acontece entre os municípios de Franca e Sertãozinho, no critério técnico com um peso acima de 0.4 na escala de valor Franca apresenta um melhor desempenho, no critério econômico acima de 0.32 Sertãozinho possui um melhor desempenho, e no critério ambiental acima de 0.2 Franca se sobressai. Já com os pesos aplicados especificamente nesta análise (Figura 2) o município de Franca demonstra um melhor desempenho no critério técnico e ambiental, enquanto que Sertãozinho se destaca no critério econômico.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175018
https://proceedings.science/p/175018?lang=pt-br

5. Considerações Finais

A partir do que foi exposto ao longo deste estudo, observa-se que o território brasileiro apesar de ter sua matriz elétrica predominantemente renovável possui uma dependência significativa da fonte hídrica, o que por vezes compromete a segurança e a garantia de oferta energética no país. Assim, há a necessidade de ampliar e diversificar a matriz elétrica atual por meio de fontes de energia alternativas renováveis. Neste estudo, avaliou-se para o estado de São Paulo, o município mais apto a receber a instalação de centrais geradoras de energia solar fotovoltaica, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Para isso, inicialmente identificou-se que a região Noroeste, que contempla as RGI de Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Ribeirão Preto, apresenta os maiores índices de irradiação solar do estado. Posteriormente, com base nessas quatro RGI identificou-se que Ribeirão Preto apresenta a maior concentração populacional com destaque para os municípios de Barretos, Franca, Ribeirão Preto e Sertãozinho que possuem, cada um, mais de 100.000 habitantes. Dessa forma, esses quatro municípios foram elencados para compor as alternativas do método de tomada de decisão multicritério SMARTER.

Com relação à aplicação do método SMARTER, vale ressaltar que os critérios, subcritérios e os pesos utilizados têm como base a revisão de literatura de dez estudos os quais foram realizados em diferentes países, e publicados em periódicos de alto impacto. Além disso, utilizou-se de processos de análise em SIG para identificar os dados de irradiação solar, de áreas planas e orientadas ao norte, o número de subestações, as linhas de transmissão, a declividade de até 8% e a altitude máxima das alternativas.

Já os dados de concentração populacional, valor venal da terra rural, precipitação e temperatura média anual foram obtidos em bases de dados nacionais. Nessa perspectiva, uma vez estruturada a árvore de valor do presente estudo, para o processamento do método SMARTER utilizou-se o *software* V.I.S.A., sendo essa uma ferramenta intuitiva que viabiliza diferentes configurações dos dados e a realização da análise de sensibilidade. Como resultado, obteve-se uma análise robusta em que, para diferentes cenários, o município de Barretos se manteve como o mais favorável, com destaque para seu desempenho superior nos critérios técnicos e econômicos.

Com a segunda melhor performance tem-se o município de Ribeirão Preto com um bom desempenho também nos critérios técnicos e econômicos. Por fim, com um desempenho similar tem-se os municípios de Franca e Sertãozinho, sendo que Franca teve um desempenho superior no critério ambiental, Sertãozinho no critério econômico e no critério técnico apesar da proximidade de ambos Franca se sobressaiu brevemente com relação a Sertãozinho.

Sendo assim, justifica-se o ordenamento geral com Barretos, Ribeirão Preto, Franca e, por fim Sertãozinho. Cabe observar que está análise foi realizada a nível regional com municípios próximos e, consequentemente, alguns dados obtidos com pouca variação entre si. Entretanto, a metodologia proposta estende sua aplicabilidade a diferentes escalas territoriais, bem como para a análise de outras fontes de energia elétrica.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175018
https://proceedings.science/p/175018?lang=pt-br

Referências

ALOS (2011). **Alos Palsar Earthdata:** open access for open science. Disponível em: https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS. Acesso: 17 maio 2023.

ALBUQUERQUE, B. (2021). **Pronunciamento Nacional Ministro de Minas e Energia.** Ministério de Minas e Energia. Brasília, DF. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=_z_JxKMk33Q. Acesso: 17 maio 2023.

ANEEL (2022). **Perdas de Energia.** Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Brasília, DF. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/perdas-de-energia. Acesso: 22 maio 2023.

ANEEL (2023). **SIGA – Sistema de Informações de Geração.** Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Brasília, DF. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9. Acesso: 17 maio 2023.

BARRON, F. H.; BARRETT, B. E. (1996). **Decision quality using ranked attribute weights. Management Science**, v. 42, n. 11, p. 1515–1523.

CLIMATEMPO (2022). **Climatologia.** Disponível em: https://www.climatempo.com.br/climatologia/530/saopaulo-sp. Acesso: 17 maio 2023.

EDWARDS, W; BARRON, F. H. (1994). **SMARTS and SMARTER:** Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. Organizational Behavior and Human Decision Processes, v.60, p.306-325.

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.

EPE (2020). **Balanço Energético Nacional:** Ano base 2019. Relatório final. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, RJ.

IBGE (2022). **Prévia Censo Demográfico.** Instituto Nacional de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, RJ. 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html. Acesso: 17 maio 2023.

IBGE (2017). **Divisão Regional do Brasil.** Instituto Nacional de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html. Acesso: 17 maio 2023.

IBGE (2020). **Bases Cartográficas Contínuas.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas.html. Acesso: 17 maio 2023.

IEA (2022). **Calculadora do valor venal da terra rural.** Instituto de Economia Agrícola (IES). Disponível em: http://ciagri.iea.agricultura.sp.gov.br/calculadora. Acesso: 17 maio 2023.

MAPBIOMAS (2021). **Dados de Infraestrutura.** MapBiomas Brasil. Disponível em: https://mapbiomas.org/dados-de-infraestrutura?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 24 jul. 2022. Acesso: 17 maio 2023.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175018
https://proceedings.science/p/175018?lang=pt-br

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. (2017). **Atlas brasileiro de energia solar.** 2.ed. São José dos Campos: INPE, 80p. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html#mod. Acesso: 17 maio 2023.

SCHARAMM, F.; MORAIS, D. C. (2008). Aplicação do Método Multicritério Smarter na Seleção de fornecedores: Um estudo de Caso na construção civil. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **[Anais...]**.

SIMUL8, (2023). **V.I.S.A. Standard Edition Decision Making *Software*.** Disponível em: http://www.visadecisions.com/standard.php. Acesso em: 12 maio 2023.

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

APÊNCICE A - PESQUISAS UTILIZADAS COMO BASE NA REVISÃO DE LITERATURA

	Autores	**Ano**	**País de Estudo**
1	DOORGA, J.R.S.; RUGHOOPUTH, S.D.D.V.; BOOJHAWON, R.	2019	Ilha de Mauritus
2	GHASEMI, G.; NOOROLLAHI, Y.; ALAVI, H.; MARZBAND, M.; SHSHBAZI, M.	2019	Irã
3	ZHOU, J.; WU, Y.; WU, C.; HE, F.; ZHANG, B.; LIU, F.	2020	China
4	REDISKE, G.; SILUK, J.C.M.; MICHELS, L.; RIGO, P.D.; ROSA, C. B.; CUGLER, G.	2020	Brasil
5	ASANZA, S. Z.; TORTOS, J. Q.; FRANCO, J.F.	2021	Equador
6	GUNEN, M. A.	2021	Turquia
7	ELBOSHY, B.; ALWETAISHI, M.; M. H. ALY, R.; ZALHAF, A. S.	2022	Egito
8	QIU, T.; WANG, L.; LU, Y.; ZHANG, M.; QIN, W.; WANG, S.; WANG, L.	2022	China
9	HOOSHANGI, N.; GHARAKHANLOU, N. M.; RAZIN, S.R.G.	2023	Irã
10	ALMASAD, A.; PAVLAK, G.; ALQUTHAMI, T.; KUMARA, S.	2023	Arábia Saudita

DOI: 10.59254/sbpo-2023-175018
https://proceedings.science/p/175018?lang=pt-br