

Avaliação do potencial da geração de energia solar nas cinco macrorregiões da cidade de Campinas

DOI: 10.37702/2175-957X.COBIENGE.2025.6151

Autores: GABRIEL MATTANO DA SILVA, ARTHUR BARRIONUEVO JODAS BADARÓ

Resumo: Este estudo realizou uma avaliação do potencial de geração de energia solar fotovoltaica nas cinco macrorregiões de Campinas, SP, mediante a aplicação dos métodos multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process) e DEA (Data Envelopment Analysis) para identificação das regiões com maior eficiência e prioridade para implantação de sistemas fotovoltaicos. Foram integrados indicadores de qualidade da distribuição elétrica (DEC e FEC), dados socioeconômicos do Plano Municipal de Assistência Social, e informações de radiação solar provenientes das plataformas CRESESB e PVGIS. Adicionalmente, desenvolveu-se um medidor de radiação solar de baixo custo, baseado em Arduino e sensor PYR20 RS-485, cuja validação experimental apresentou uma diferença média de 13% em relação às bases oficiais. Os resultados indicaram a Região Noroeste como a de maior potencial solar e a Região Sul como a mais eficiente em termos de infraestrutura elétrica, reforçando a necessidade de políticas públicas direcionadas.

Palavras-chave: Energia solar; Eficiência energética; AHP; DEA; Medição de radiação solar; Campinas.

Avaliação do potencial da geração de energia solar nas cinco macrorregiões da cidade de Campinas

Resumo

Este estudo avalia o potencial de geração de energia solar fotovoltaica nas cinco macrorregiões de Campinas, SP. Utiliza métodos multicritério (AHP e DEA) para identificar regiões prioritárias à implantação de sistemas fotovoltaicos, além da análise técnica e socioeconômica. Os resultados destacam a Região Noroeste pelo seu alto potencial solar e a Região Sul pela melhor infraestrutura elétrica. Ao longo do estudo foi desenvolvido um medidor de radiação solar de baixo custo, que validado reforça sua aplicabilidade.

Palavras-chave: Energia solar; Análise multicritério; AHP; DEA; políticas públicas.

1. Introdução

A crescente demanda por energia e as limitações das fontes convencionais impulsionam a busca por alternativas sustentáveis. A energia solar destaca-se por sua abundância e viabilidade, sendo estratégica para a diversificação da matriz energética nacional.

Campinas é composta por cinco macrorregiões com características socioeconômicas distintas, oferece um cenário propício para a avaliação do potencial de aproveitamento da energia solar. Este estudo propõe uma análise integrada de indicadores técnicos, socioeconômicos e ambientais, visando subsidiar políticas públicas que promovam a democratização do acesso à energia limpa e sustentável.

2. Objetivos

Este trabalho de pesquisa teve por objetivo em sua proposta inicial avaliar o potencial de geração de energia solar fotovoltaica de cada conjunto elétrico da cidade de Campinas, considerando os aspectos técnicos e econômicos de cada macrorregião da cidade de Campinas associados a um conjunto elétrico abastecido pela CPFL.

Além desses objetivos, há a proposta de desenvolver um medidor de radiação solar de baixo custo, utilizando sensores comerciais em conjunto com a plataforma de desenvolvimento Arduino. Este dispositivo será responsável pela coleta dos dados, com o objetivo de auxiliar na pesquisa e validação dos valores disponíveis nas bases de consulta pública.

3. Metodologia

O presente estudo adotou uma abordagem exploratória-analítica com fundamentação em métodos quantitativos e multicritério, a fim de estabelecer um modelo de priorização para implantação de sistemas de geração fotovoltaica nas macrorregiões de Campinas. Foram utilizados os métodos AHP e DEA.

O AHP, desenvolvido por Thomas Saaty (8), permite converter julgamentos qualitativos em valores quantitativos com base em comparações par a par. No presente estudo, atribuiu-se pesos relativos aos critérios: renda, qualidade da distribuição de energia elétrica (DEC e FEC) e radiação solar.

O DEA, por sua vez, utiliza programação linear para avaliar a eficiência relativa de unidades tomadoras de decisão, comparando entradas (recursos) com saídas (resultados esperados). Também foi desenvolvido um medidor de radiação solar utilizando Arduino, sensor PYR20, datalogger e RTC, permitindo validar empiricamente os dados de plataformas públicas.



Figura 1 – Medidor de radiação solar de baixo custo. Fonte: elaboração própria.

As análises multicritério foram conduzidas com os métodos AHP (Analytic Hierarchy Process) e DEA (Data Envelopment Analysis), buscando avaliar e comparar a eficiência energética das macrorregiões.

4. Projeto do medidor de radiação solar

Para a validação dos dados coletados no CRESESB (3) e no PVGIS (4), a medição e coleta de informações acerca dos índices de radiação solar nas regiões estudadas faziam-se necessárias. Visto que os aparelhos radiômetros, essenciais para estas medições, possuem um alto custo de aquisição, a estratégia adotada foi a construção de um circuito em Arduino que fosse capaz de fornecer as mesmas informações de um medidor de radiação solar comercial.

Partindo do princípio exposto acima, o medidor construído tem um custo estimado de seiscentos reais, bem abaixo dos aparelhos comerciais, levando em conta o custo do sensor em si e do datalogger, que é o dispositivo responsável pelo armazenamento das medições. Para a sua construção foram utilizados a placa de desenvolvimento Arduino junto a shields e sensores amplamente disponíveis no mercado.

5. Resultados e Discussão

A aplicação do método AHP indicou a **Região Sul** da cidade de Campinas como a de melhor aproveitamento em termos de continuidade do fornecimento de energia elétrica, resultado corroborado pelo DEA, que atribuiu a essa região 100% de eficiência, Figura 2.

Em contrapartida, a **Região Noroeste** destacou-se pelo maior potencial de radiação solar, com valores médios de até **4,85 kWh/m². dia**, Figura 3. Esta região apresenta os maiores desafios relacionados à qualidade da distribuição elétrica e condições socioeconômicas.

Os resultados indicam a necessidade de políticas públicas que priorizem regiões com maior potencial solar, mas com infraestrutura deficiente, como forma de promover a inclusão social pela disponibilidade da energia solar.

O medidor desenvolvido apresentou uma diferença média de **13%** em relação aos dados fornecidos pelas plataformas CRESES B e PVGIS, validando sua utilização como ferramenta de apoio para medições em campo.

Posição	Região	Posição	Região	Eficiência
1º	Sul	1º	Sul	100%
2º	Norte	2º	Sudoeste	55%
3º	Sudoeste	3º	Leste	49%
4º	Leste	4º	Noroeste	26%
5º	Noroeste	5º	Norte	23%

Figura 2 - Comparativo das posições e eficiências das macrorregiões pelos métodos AHP (à esquerda) e DEA (à direita).

Fonte	Coordenadas	Irradiação [kWh/m ² .dia]
CRESESB	-22.801, -47.049	4,66
PVGIS	-22.832, -47.053	4,81
Medidor em desenvolvimento	-22.832, -47.053	4,02

Figura 3 - Comparação entre dados coletados com o medidor e as plataformas CRESESB e PVGIS.
 Fonte: elaboração própria

6. Aplicabilidade em Políticas Públicas e Cidades Inteligentes

Os resultados obtidos podem ser utilizados para priorizar regiões para instalação de energia solar e subsidiar ações governamentais no contexto de cidades inteligentes. O cruzamento entre dados técnicos e sociais permite orientar recursos públicos com maior efetividade.

O sensor desenvolvido, por sua vez, representa uma solução viável e replicável para medições de campo em larga escala de potenciais de energia solar, contribuindo para diagnósticos locais e formações técnicas na engenharia orientada à sustentabilidade.

7. Conclusão

A pesquisa demonstrou a viabilidade da energia solar como alternativa sustentável para as macrorregiões de Campinas, com destaque para a Região Noroeste, que apresenta alto potencial de radiação solar. Ao integrar dados técnicos, socioeconômicos e ambientais por meio dos métodos AHP e DEA, o estudo oferece uma base robusta para a formulação de políticas públicas orientadas à equidade energética.

A construção e validação de um medidor de radiação solar de baixo custo representa uma contribuição prática e acessível para a engenharia aplicada, permitindo medições em campo com confiabilidade e autonomia. Essa solução, de fácil replicação, fortalece o papel da engenharia no desenvolvimento de tecnologias voltadas à sustentabilidade e inclusão social. Em contextos urbanos cada vez mais conectados, a adoção de sensores como esse integráveis a redes de Internet das Coisas (IoT) pode compor sistemas de monitoramento em cidades inteligentes, ampliando a capacidade de gestão energética descentralizada.

Recomenda-se que políticas públicas priorizem não apenas as regiões com maior potencial solar, mas principalmente aquelas com infraestrutura elétrica deficiente e vulnerabilidade socioeconômica, de modo a garantir que a transição energética ocorra de forma justa, participativa e eficiente.

Referências Bibliográficas

1. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Boletim mensal de energia. Fevereiro de 2023. Disponível em: [@download/file](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/boletins-mensais-de-energia/2023-1/portugues/boletim-mensal-de-energiafevereiro_v3.pdf). Acesso em: 3 nov. 2023.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Painel de desempenho das distribuidoras de energia elétrica por município – Campinas/SP. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/relatoriosrig/\(S\(r2r4d4iqpyzygo2azgsmlpug\)\)/relatorio.aspx?folder=sfe&report=PainelMunicipio](http://www2.aneel.gov.br/relatoriosrig/(S(r2r4d4iqpyzygo2azgsmlpug))/relatorio.aspx?folder=sfe&report=PainelMunicipio). Acesso em: 20 dez. 2023.
3. CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO – CRESESB. Potencial Solar – SunData v 3.0. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 25 jan. 2024.
4. EUROPEAN COMMISSION. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Disponível em: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/. Acesso em: 29 jan. 2024.
5. CAMPINAS (SP). Prefeitura Municipal. Plano Municipal da Assistência Social – PMAS 2018–2021. Disponível em: https://www.campinas.sp.gov.br/arquivos/assistenciasocialseguranca-alimentar/pmas_18_21.pdf. Acesso em: 3 nov. 2023.

6. GOOGLE. Subestações de Campinas – Google My Maps. Disponível em: <https://www.google.com/maps/d/edit?hl=pt-BR&mid=17b4mHBEk1MHB2xaBZ7CANyQu46kqkXk&ll=22.894721499091858%2C-47.09646336873293&z=11>. Acesso em: 10 dez. 2023.

7. PORTAL CONTÁBEIS. Tabelas de salário mínimo de 1994 a 2023. Disponível em: <https://www.contabeis.com.br/tabelas/salario-minimo/>. Acesso em: 4 nov. 2023.

8. SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, v. 1, n. 1, p. 83–98, 2008.

9. MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; NETO, L. B. Curso de análise de envoltória de dados. In: XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2005. p. 20520–2547.

10. DE PAULA, J. F. S. et al. Confecção e análise de um piranômetro fotovoltaico de baixo custo. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS, 2020.

11. HOW2ELECTRONICS. Solar radiation measurement using pyranometer sensor & Arduino. Disponível em: <https://how2electronics.com/solar-radiation-measurement-usingpyranometer-sensor-arduino/>. Acesso em: 8 mar. 2024.

12. INFWIN. PYR20 Solar Radiation/Pyranometer Sensor – User Manual. Disponível em: <https://www.infwin.com/wp-content/uploads/UM-PYR20-Solar-RadiationPyranometerSensor.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2024.

