



03 a 05 de dezembro de 2025

As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

Potencial Energético Solar no Brasil: Uma Avaliação Baseada em Mineração de Dados

Gabriela Vasconcelos Barsaglini

Engenharia de Produção – UTFPR-LD

Rafael Henrique Palma Lima

Engenharia de Produção – UTFPR-LD

Bruno Samways dos Santos

Engenharia de Produção - UTFPR-LD

Resumo: O crescente impacto ambiental dos gases de efeito estufa no meio ambiente torna necessário e urgente a alteração da matriz energética para fontes mais sustentáveis. A geração de energia fotovoltaica se apresenta como uma forma ainda pouco explorada no Brasil e que agrega responsabilidade ambiental, econômica e social em sua produção, portanto, este artigo tem como objetivo agrupar os municípios brasileiros de acordo com suas capacidades de promover maior potencial energético solar, de forma a orientar a instalação mais eficiente de painéis solares, contribuindo para uma tomada de decisão mais estratégica e assertiva na expansão da energia solar no país. Para tanto, usou-se a clusterização K-means usando como base de dados a incidência de raios solares com cinco atributos diferentes de radiação. Para a validação do número de clusters usou-se o método do cotovelo, da silhueta e kneed. Ainda, como variável explicativa utilizou-se dados do potencial energético instalado no Brasil. Como resultado obteve-se 4 clusters, contendo um deles 217 cidades com alta radiação solar e baixa variabilidade, como também um segundo cluster com alto potencial elétrico já instalado. A partir desses resultados é possível orientar investidores quanto a melhor região a ser explorada, como também incentivos governamentais para cartas de créditos em regiões promissoras e de difícil acesso.

Palavras-chave: clusterização; K-means; energia solar.

Energy Potential in Brazil: An Evaluation Based on Data Mining

Abstract: The escalating environmental impact of greenhouse gas emissions underscores the necessity and urgency of shifting the energy matrix towards more sustainable sources. Photovoltaic energy generation emerges as a promising yet underexplored alternative in Brazil, integrating environmental, economic, and social responsibility into its production process. This article aims to cluster Brazilian municipalities according to their capacity for harnessing solar power potential. The goal is to guide the more efficient installation of solar panels, thereby contributing to more strategic and assertive decision-making in the expansion of solar energy across the country. The methodology employed the K-means clustering algorithm, utilizing a database of solar irradiation incidence with five distinct radiation attributes. The elbow, silhouette, and kneed methods were used to validate the optimal number of clusters. Furthermore, data on the installed energy potential in Brazil was used as an explanatory variable. The results yielded four distinct clusters. One cluster contained 217 municipalities characterized by high solar radiation and low variability, while a second cluster was identified with high installed electrical potential. Based on these findings, it is possible to guide investors towards the most promising regions for exploration and to recommend government incentives, such as credit lines, for promising yet hard-to-reach areas.

Keywords: Clustering, K-means, Renewable, Solar Energy.

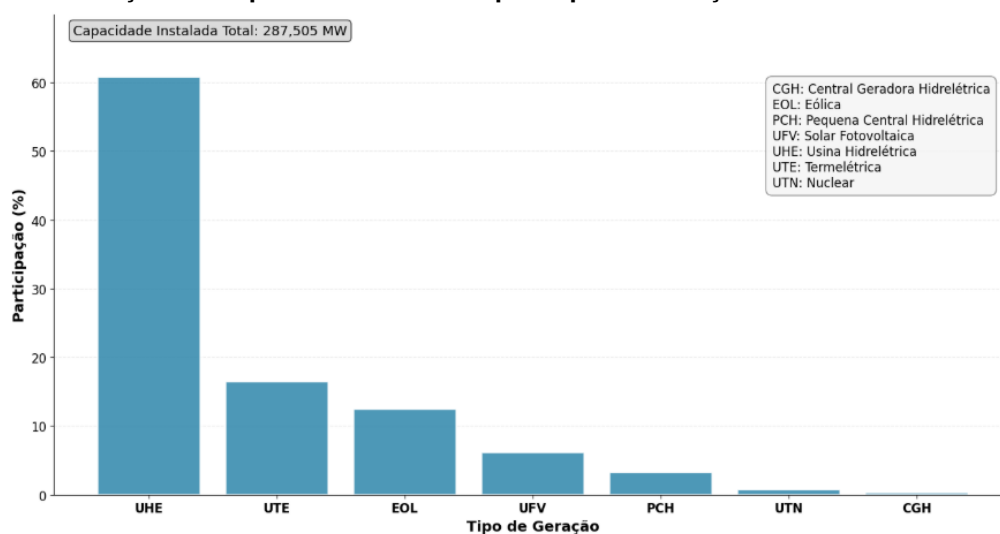
1. Introdução

Considerado um serviço de primeira necessidade, a energia elétrica é fundamental para o funcionamento da sociedade moderna. Basta uma interrupção de poucos minutos para evidenciar o elevado grau de dependência desse recurso nas atividades cotidianas, desde a conservação de alimentos e o funcionamento de equipamentos hospitalares até a comunicação, o trabalho e o entretenimento. Essa intrínseca dependência demonstra a importância do fornecimento contínuo e estável de energia elétrica para a manutenção da qualidade de vida e do dinamismo econômico. Contudo é necessário produzir energia limpa, com responsabilidade ambiental e sem alterar significativamente a emissão dos gases poluentes (CO₂), portanto, se faz necessário e urgente um olhar atento as políticas de geração de energia renováveis alternativas as que já possuímos. Entende-se com Oliveira, Mario e Pacheco (2021) que energia renovável é “toda energia que não acaba, ou seja, toda energia que se renova no planeta de forma natural”.

O despertar para a importância das energias renováveis teve início em meados das décadas de 70 e 80 com alguns acontecimentos que foram momentos de ruptura com a produção de energia de base não renováveis, como a crise do petróleo que alavancou o custo da produção energética (Pinto Jr *et al*, 2016), o surgimento da “Conferências das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano” e o relatório “Nosso Futuro Comum” que estabeleceram medidas para a mitigação da poluição atmosférica e a preservação de recursos naturais (Lima, 2024).

Desde então o Brasil avançou na produção de energia elétrica e na transição de sua matriz para base renováveis, segundo a Agência Nacional de Energia elétrica – ANEEL, de toda energia produzida no país cerca de 84,25% é proveniente de fontes renováveis (desse percentual 8,4% é resultado da queima biomassa que apesar de ser considerada renovável não é limpa, pois, emite gases poluentes), porém desse total menos de 7% advém de energia solar e cerca de 55% ainda são hidrelétricas (Brasil, 2024), como é possível observar no gráfico 1 de capacidade de energia instalada, por tipo de geração de energia, de usinas em operação no Brasil.

Gráfico 1 - Distribuição da Capacidade Instalada por Tipo de Geração no Sistema Elétrico Brasileiro



Fonte: autoria própria (2025).

No entanto, como elucida Rosa e Gasparini (2016) essa concentração da matriz energética em usinas hidrelétricas pode ser um desafio pois depende de um nível de chuva estável e diante de instabilidades usinas termoeletricas são acionadas, acarretando um custo elevado tanto financeiro como ambiental.

Portanto esta pesquisa justifica-se, pois, as condições geográficas e climáticas do Brasil oferecem um enorme potencial para a ampliação do uso da energia solar, representando uma grande oportunidade de investimento e desenvolvimento ainda inexplorado. Autores como Nunes, Souza e Batista (2022), Pereira (2019) afirmam que até mesmo as regiões do Brasil com baixa incidência podem produzir mais energia do que os países europeus líderes de geração de energia solar exploram o modelo de geração fotovoltaica. Dessa forma, investir em tecnologias que melhorem a capacidade de produção de energia solar pode auxiliar em fatores sociais, ambientais e econômicos do Brasil.

Diante da problemática acima pontuada e o atual cenário energético do Brasil propõe-se uma análise baseada em técnicas de mineração de dados, com o objetivo de identificar padrões e agrupar municípios brasileiros de forma a orientar a instalação mais eficiente de painéis solares, contribuindo para uma tomada de decisão mais estratégica e assertiva na expansão da energia solar no país.

Portanto, afim de alcançar esse objetivo aplicou-se, por meio de algoritmo em linguagem Python, a técnica de clusterização K-means para o estudo de uma base de dados de incidência de raios solares em cidades brasileiras. Como parâmetros de entrada, foram utilizados dados de 5489 cidades do Brasil em relação a cinco atributos de irradiação solar, Irradiação Global Horizontal (GLOBAL), Irradiação Direta Normal (DIRECT), Irradiação no Plano Inclinado (PAR), Irradiação Difusa (DIFFUSE) e Radiação Fotossinteticamente Ativa (TILTLED).

Ainda, como forma de validar a técnica de mineração de dados e, portanto, a melhor escolha de cluster utilizou-se o método do cotovelo, da silhueta e kneed. Por fim, como variável de análise utilizou-se a base de dados SIGA – Sistema de Informações de Geração da ANEEL para comparar a potência instalada no Brasil com a capacidade teórica. Dessa forma, a partir do conjunto de dados e ferramentas foi possível analisar a capacidade energética solar das cidades brasileiras. Foi utilizado a técnica de machine learning em razão da grande quantidade de dados a serem processados uma vez que os algoritmos permitem escalar e automatizar a análise dos dados.

Frente as problemáticas levantadas anteriormente, as inquietações que norteiam este trabalho são encontrar alguns padrões de interesses tais quais, como se distribuem geograficamente as cidades com alta radiação e baixa amplitude, ainda, qual é o potencial explorado das cidades que já tem infraestrutura de painéis solares.

Para tanto, este artigo se divide em quatro seções, a saber: 2) Fundamentação Teórica: na qual discorre-se sobre aquilo que a literatura traz acerca das tecnologias de energia fotovoltaica e o processo de *clusterização* realizado neste trabalho; 3) encaminhamentos metodológicos: em que é delimitado o caminho trilhado e as tecnologias usadas para a execução desta proposta; 4) Resultados: expõe-se os dados relevantes que dão sustentação as inferências realizadas e 5) Conclusões: em que são respondidas os questionamentos proposto, o que de mais relevante surgiu desta pesquisa e novas inquietações para trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Energia fotovoltaica

A energia fotovoltaica é resultado da conversão de luz solar em corrente elétrica, que se dá com o auxílio de painéis solares, no qual, é um sistema composto por uma célula fotovoltaica construído de materiais semicondutores, como silício cristalino, silício amorfo hidrogenado, arsenieto de gálio, telureto de cádmio e células CIGS (Cobre-Índio-Gálio-Selênio) (Cabral; Vieira, 2012).

Segundo Souza, Souza e Minori (2019) existem dois principais tipos de sistema dos painéis solares, o *on grid* e o *off grid* e a principal diferença é acerca da energia excedente, no sistema *on grid* essa energia é redistribuída na rede enquanto no segundo sistema o excedente é armazenado, com ótima aplicação para áreas remotas sem distribuição de energia pública ou com frequentes chuvas.

Nunes, Souza e Batista (2022) pontuam alguns avanços e vantagens desse tipo de energia, uma delas é que as tecnologias estão em pleno avanço o que as tornam cada vez mais eficientes o que pode favorecer a relação custo benefício, também que o Brasil detém a maior parte da reserva mundial de silício que é a principal matéria prima para a fabricação. Entre tantas outras vantagens os autores pontuam o baixo custo de manutenção, vida útil média de 25 anos, alta aplicabilidade em diversas situações e a contribuição para o aumento da segurança na produção energética, além da redução de fontes poluentes.

Com relação as desvantagens a energia fotovoltaica ainda têm um alto custo para a fabricação das tecnologias de conversão em comparativo com outras fontes de energia, além da dependência das condições climáticas para o pleno funcionamento, pois o melhor desempenho de geração depende diretamente da incidência de radiação solar que pode ser afetado por fatores climáticos como nebulosidade, relevo, chuva e umidade, o que são empecilhos para a maior disseminação e popularização da energia fotovoltaica no Brasil.

São elencados 5 tipos de incidências neste trabalho, a saber:

- 1) Irradiação Global Horizontal (GLOBAL): refere-se à quantidade total de irradiância solar recebida em uma superfície horizontal, acumulada ao longo de um determinado período de tempo;
- 2) Irradiação Direta Normal (DIRECT): refere-se a quantidade de radiação solar perpendicular que atinge uma unidade de área.
- 3) Irradiação no Plano Inclinado (PAR): corresponde à irradiância solar recebida em uma superfície inclinada segundo a latitude local, acumulada ao longo de um período de tempo determinado;
- 4) Irradiação Difusa (DIFFUSE): refere-se a irradiância difusa recebida em um intervalo de tempo determinado (Silveira, 2020);
- 5) Radiação Fotossinteticamente Ativa (TILTLED): é a fração do espectro da radiação solar global entre os comprimentos de 0,4 a 0,7 μm (Volpato, 2022).

2.2 Clusterização

Segundo Silva (2016) “Encontrar o que era desconhecido, o que estava escondido, pode ser entendido como o ato de descobrir”. E para tanto os algoritmos de aprendizagem de máquina são ferramentas poderosas para descoberta de conhecimentos em base de dados.

Das ferramentas disponíveis para a aplicação do aprendizado de máquina existem duas divisões, que são chamadas respectivamente de aprendizado supervisionado e não supervisionado, que por sua vez estão subdivididas em técnicas. Das técnicas de aprendizado não supervisionado apontam-se a de *clustering* que é entendido por Castro e Ferrari (2016) como o processo de separação de um conjunto de objetos em grupos de objetos similares, nesse processo, o grupo (ou classe) é composto pelos dados de entrada (objetos) que são desconhecidos a priori, portanto a *clusterização* (processo de agrupamento) é utilizado como uma ferramenta para criar grupos semelhantes que são entendidos como uma classe de objetos. Dos algoritmos de agrupamentos disponíveis, existe o *k-means*, “ele toma como entrada o parâmetro *k*, correspondente ao número de grupos desejados e particiona o conjunto de *n* objetos em *k* grupos. ” (Castro e Ferrari, 2016). Para cada parâmetro *k* criado a similaridade entre os clusters é feita através de um valor médio” que pode ser visto como o seu centro de gravidade ou centroide”.

O método cotovelo tem como objetivo encontrar o número de k cluster mais próximo do ideal, Para Rousseeuw (1987) pode ser entendido como o resultado ideal aquele que combina o menor número de clusters e tem o menor *Within Sum Of Squares (WSS)* “que é a soma de todos os dados até o centroide do agrupamento que eles pertencem” (Ribeiro, 2022).

Para validar o método citado acima, ou o contrário, utiliza-se o coeficiente silhueta varia de -1 até 1 ao classificar a quantidade de clusters, o qual o coeficiente mais próximo de 1 (um) significa que os clusters estão separados e claramente distintos, próximo a 0 (zero) infere-se que os clusters são neutros, ou que a distância entre os clusters não é significativa e para valores próximos a -1 (um negativo) entende-se que os clusters foram atribuídos erroneamente (Santibanez, 2024).

3. Encaminhamentos Metodológicos

3.1 Descrição do conjunto de dados

A pesquisa utilizou a base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar composta inicialmente por 5.489 instâncias e 68 atributos, que foram coletados ao longo de 17 anos por pesquisadores do INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. Cada instância refere-se a um município brasileiro, e os atributos de interesse para este artigo são as incidências de raios solares, que estão distribuídas em cinco categorias: Irradiação Global Horizontal (GLOBAL), Irradiação Direta Normal (DIRECT), Irradiação no Plano Inclinado (PAR), Irradiação Difusa (DIFFUSE) e Radiação Fotossinteticamente Ativa (TILTLED).

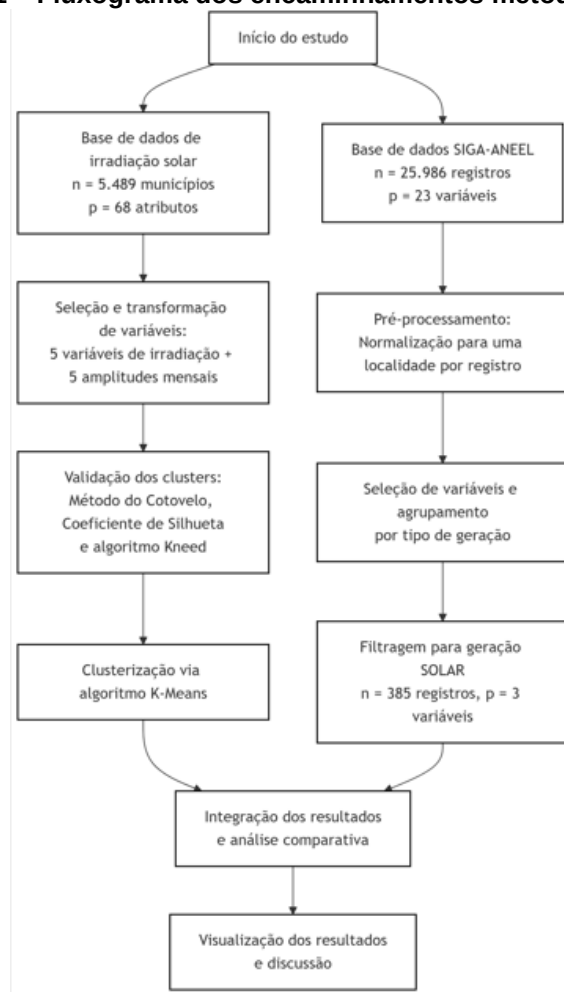
Em conjunto utilizou-se outra base de dados, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, com 25.986 instâncias e 23 atributos originais, que conta com atualização mensal do arquivo "siga-empreendimentos-geracao", nele contém informações sobre empreendimentos de geração de energia elétrica no Brasil, como capacidade instalada, tipo de geração e fase do empreendimento.

Para o artigo, foram aplicados os algoritmos de aprendizado de máquina de clusterização, k-means, utilizando a linguagem de programação Python e as bibliotecas: Pandas, Numpy, Scikit-learn, Matplotlib, Seaborn.

3.2 Processo de Mineração de dados

O processo iniciou-se pelo banco de dados Atlas Brasileiro de Energia Solar em sequência com o banco de dados SIGA – Sistema de Informações de Geração da ANEEL, conforme descrito no fluxograma

Figura 1 – Fluxograma dos encaminhamentos metodológicos

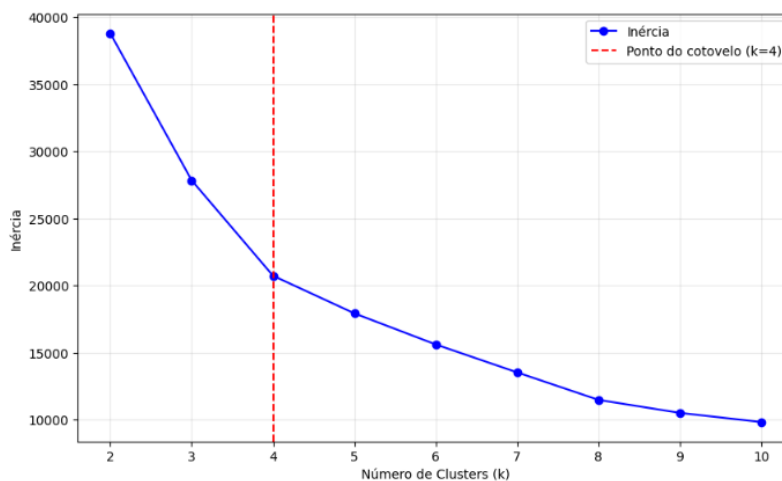


Fonte: autoria própria (2025).

3.3 Aplicação do Algoritmo

Após as etapas de tratamento dos dados, realizou-se a aplicação da técnica de clusterização, com o algoritmo k-means no conjunto de dados de incidência de raios solares, utilizou-se o método da silhueta, do cotovelo e kneed para encontrar o número de clusters que mais se adequava ao problema, mostrado no gráfico 2 o método do cotovelo

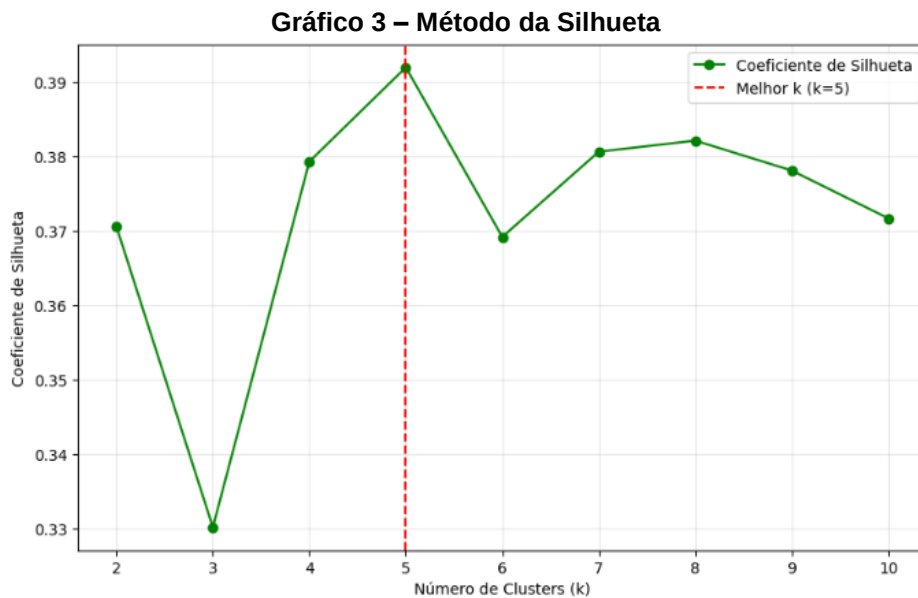
Gráfico 2 – Método do cotovelo



Fonte: autoria própria (2025).

É possível notar que com número de $k=2$ existe um considerável ganho de informação, que se estendeu até $k=4$, porém a partir desse ponto não existe mais ganhos consideráveis, caracterizando o fim da formação do cotovelo. A vista disso, podemos concluir com esse método e com o auxílio do kneed que o melhor número de k foi de $k=4$.

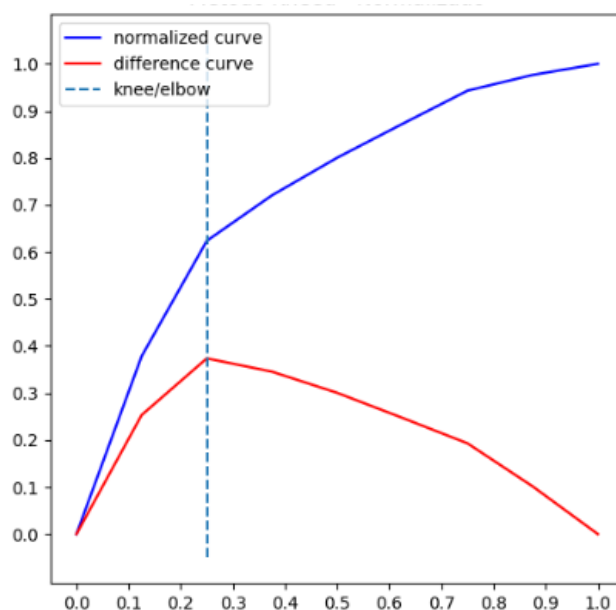
Além disso, como frequentemente utilizado na literatura, aplicou-se também o método da silhueta em contraste com o método do cotovelo, mostrado no gráfico 3:



Fonte: autoria própria (2025).

Nesse método é possível notar, que houve uma diferença em relação ao anterior, o número de k sugerido foi de $k=5$. Por essa razão, foi realizado a diminuição de dimensionalidade com o método PCA, porém o gráfico resultante de cotovelo e silhueta foram os mesmos das figuras acima. Dessa forma, a decisão tomada foi pelo número de $k=4$, visto que após análises descritivas dos dados, houveram poucas razões para apresentar uma quantidade de clusters maior dado a quantidade de amostras observadas e suas pequenas diferenças.

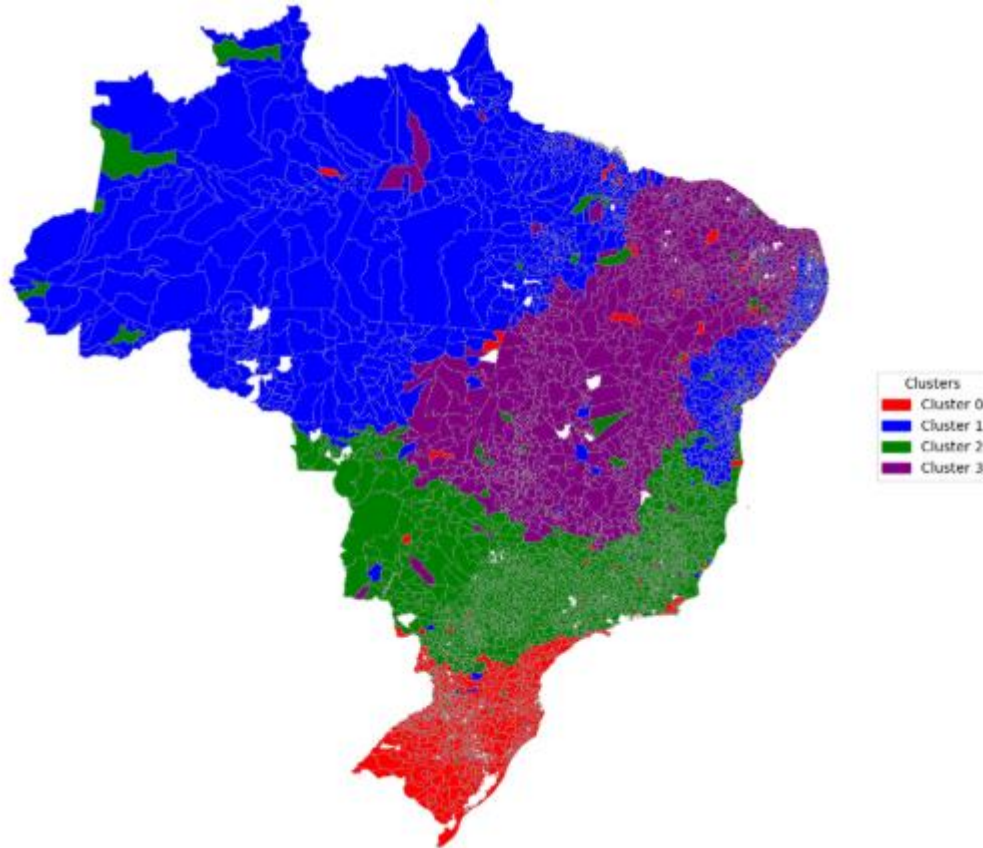
Gráfico 4 – Método Kneed - Normalizado



Fonte: autoria própria (2025).

O gráfico 5 mostra o resultado da formação dos clusters, ou seja, como os municípios foram agrupados em clusters, cada cor representa um grupo com características semelhantes. Assim, podemos identificar regiões do país que compartilham padrões parecidos e comparar diferenças regionais

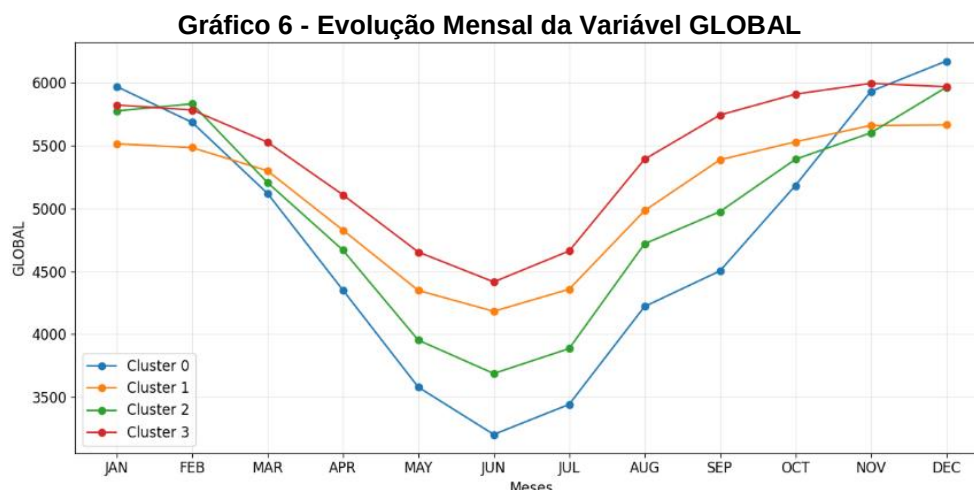
Gráfico 5 – Mapa do Brasil *clusterizado*



Fonte: autoria própria (2025).

4. Resultados

Finalizada a aplicação do algoritmo de aprendizado, chegou-se a padrões geográficos dos quatro clusters, de forma geral eles podem ser descritos da seguinte forma, Cluster 0 (Norte): Baixa radiação global, alta amplitude, Cluster 1 (Centro-Oeste): Alta radiação direta, baixa difusa, Cluster 2 (Nordeste): Radiação moderada, baixa sazonalidade, Cluster 3 (Sul/Sudeste): Alta radiação global, baixa direta. A distribuição das cidades brasileiras entre os clusters foi, Cluster 0: 933 cidades Cluster 1: 1154 Cluster 2: 1870 Cluster 3: 1532.



Fonte: autoria própria (2025).

O Gráfico 6, que mostra a evolução da variável GLOBAL, revela contrastes marcantes entre os clusters. O Cluster 3 (vermelho), associado majoritariamente ao Nordeste, apresenta maior exposição solar ao longo do ano, enquanto o Cluster 0 (azul), característico do Sul, possui valores significativamente mais baixos, refletindo a menor incidência de radiação global nesta região. Em todos os meses, observa-se um padrão sazonal acentuado: valores mínimos durante o inverno (junho-julho) e máximos no verão (dezembro-janeiro). Esse comportamento é consistente com a inclinação da Terra e o regime climático do país.

A análise das demais variáveis mostra padrões semelhantes. Tanto DIFUSE quanto PAR reforçam a distinção entre clusters com maior e menor disponibilidade solar, apresentando curvas em formato de “U” ao longo do ano, com maior radiação nos meses de verão e queda no inverno. A variável DIRECT apresenta particular relevância no Cluster 1 (laranja), que corresponde a regiões do Centro-Oeste, onde a radiação direta é predominante. Já a variável TITLED, relacionada à fração da radiação aproveitável em processos fotossintéticos e, por extensão, em painéis solares, evidencia maior homogeneidade entre os clusters, mas ainda confirma a vantagem do Cluster 3 em relação aos demais.

Essas semelhanças entre variáveis fortalecem a confiabilidade da análise: apesar de representarem diferentes componentes da radiação solar, todas convergem na definição de quatro perfis regionais claros.

Do ponto de vista estratégico, dois cenários principais se destacam. O Cluster 3 (Nordeste) representa o perfil mais atrativo em termos de estabilidade energética: alta radiação anual combinada com baixa sazonalidade, o que garante menor variabilidade na geração e previsibilidade de retorno financeiro. Já o Cluster 2 (Centro-Oeste/Sudeste), embora apresente maior capacidade instalada atual, reflete a influência de fatores socioeconômicos e de infraestrutura existentes, mais do que vantagens climáticas absolutas. Para investidores, isso sinaliza duas oportunidades distintas: apostar no Cluster 2 como expansão natural do setor solar, ou aproveitar o Cluster 3 onde já existe rede consolidada.

Além disso, um alvo de interesse desta pesquisa para instalação de painéis solares são as cidades com alta radiação anual, mas baixa variação, que durante a análise chegou-se ao resultado de 217 cidades, distribuídas entres os estados conforme a Tabela 1 mostra a quantidade de cidades com alta radiação e baixa variação solar em cada estado.

Tabela 1: Cidades com alta radiação e baixa variação solar por estado

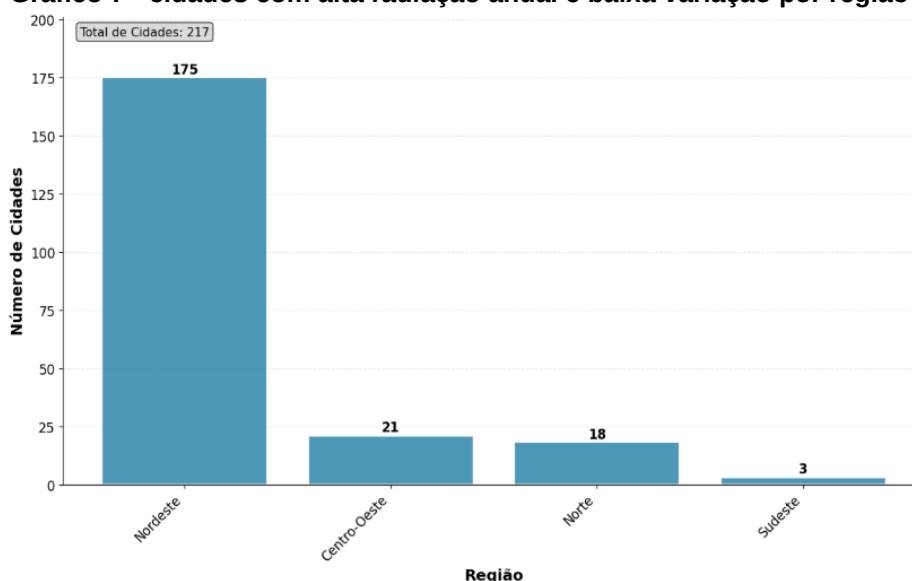
Estado	Quantidade
Piauí	106
Bahia	26

Goiás	21
Ceará	19
Tocantins	18
Maranhão	18
Rio Grande do Norte	6
Minas Gerais	3

Fonte: autoria própria (2025).

Destaca-se a predominância do Piauí, que sozinho concentra quase metade das cidades com maior potencial, seguido pela Bahia, Goiás e Ceará. Esse resultado evidencia o Nordeste como epicentro nacional do aproveitamento solar, não apenas pelo volume de radiação, mas também pela consistência anual, o que fica evidente no gráfico 7:

Gráfico 7 - cidades com alta radiação anual e baixa variação por região



Fonte: autoria própria (2025).

Portanto, o Cluster 2 indica que o seu perfil de radiação é mais consistente e favorável. Reduz riscos sazonais (baixa variação e energia mais estável ao longo do ano). Essas regiões oferecem o melhor equilíbrio entre alta produção energética anual e estabilidade sazonal, maximizando retorno energético e minimizando variações sazonais.

Por fim, a Tabela 3 mostra a capacidade instalada de energia solar por cluster. O Cluster 3 lidera com ampla vantagem em termos de potência instalada, já o Cluster 2 que oferece condições mais promissoras de longo prazo, ao aliar estabilidade e radiação elevada. Para empresas do setor solar a expansão para o Nordeste deve ser prioridade estratégica, enquanto o Centro-oeste e Sudeste seguem como polos de consolidação.

Tabela 3 - Capacidade de energia solar instalada por cluster

Cluster	Capacidade total instalada (MW)
3	16174.834
2	1263.520
1	149.967
0	71.068

Fonte: autoria própria (2025).

Em uma análise decisória, o melhor cluster para instalação de painéis solares com base nos dois critérios-chave: Potencial Solar Natural (Cluster 2): Maior número de estados com cidades de alta radiação anual e baixa variação (8 estados), condições ideais: alta produção energética + estabilidade sazonal. Por outro lado, levando-se em consideração a Capacidade Instalada Atual (Cluster 3): Maior potência de usinas solares em operação indica investimentos existentes e infraestrutura consolidada. Radiação média anual no Cluster 3: 5581.6 kWh/m².

Esta análise multivariada revela como os diferentes tipos de radiação solar interagem para definir perfis regionais distintos, permitindo estratégias personalizadas para cada cluster. Por fim, além da análise climática proposta nesse artigo, é necessário também uma abordagem multifatorial levando em consideração as peculiaridades socioeconômicas de cada região do Brasil.

5. Conclusões

Das análises desse trabalho surgem novas inquietações que podem resultar em trabalhos futuros, tais como, quais os índices de PIB, IDH e industrialização de regiões que ainda são pouco exploradas, mas que tem grande potencial? Esses índices são analisados por conglomerados e podem influenciar o investimento em infraestrutura para a construção de parques de energia solar? Regiões com alto potencial para produção de energia solar também são boas produtoras de energia eólica? Dessa forma, haveria concorrência entre as fontes de produção?

Conclui-se também que a instalação de parques fotovoltaicos podem ser empreendimentos de anos de análise de dados, planejamento financeiro e ambiental, já a implantação de um sistema distribuído requer apenas o investimento para instalação de cada pessoa física. Portanto, os incentivos fiscais governamentais podem ser uma solução para o melhor aproveitamento dessa tecnologia.

No entanto, por se tratar de uma tecnologia de geração de energia relativamente nova percebe-se uma desorientação com relação aos direcionamentos dessas políticas, a exemplo disso, temos incentivos como o Marco Legal da Geração Distribuída, isenção do ICMS para equipamentos de geração fotovoltaica, redução de imposto de renda para imóveis que contém geração de energia solar, o programa IPTU verde (Casarin, 2023) e taxações, que podem não incentivar a instalação dos painéis, como a chamada taxa de geração distribuída, vulgarmente conhecida como taxa solar, criada pela ANEEL sob o argumento que a crescente expansão do setor acarreta desequilíbrio nos custos fixos de manutenção da rede, imprevisibilidade nas finanças do mercado de energia, subsidio cruzado e injustiça tarifária para aqueles consumidores que não tem condições de instalar painéis solares próprios.

Essa ambiguidade nos direcionamentos das políticas de incentivo pode ser influenciada por exacerbado protecionismo institucional, uma vez que o excedente advindo da geração fotovoltaica pode reduzir a dependência das usinas hidrelétricas, que apesar de serem fontes renováveis também tem sua contribuição para o impacto ambiental. Uma solução para o pleno aproveitamento dessas regiões para além da concessão de cartas de crédito para moradores dessas regiões, seria a regulamentação do estado federal de forma com que o excedente seja distribuído igualmente em forma de redução da tarifa básica média, entre outras ações regulatórias.

Além disso, a maior disponibilidade de energia solar, permite maior flexibilização da utilização dos recursos energéticos e o armazenamento do excedente nos protege da dependência de outras fontes geradoras.

Referências

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw>. Acesso em: 13 set. 2025.

CASTRO, Leandro Nunes de; FERRARI, Daniel Gomes. **Introdução a mineração de dados: conceitos básicos, algoritmos e aplicações**. São Paulo: Saraiva, 2016.

LIMA, Ruth Albuquerque de. **Evolução da Geração de Energia Solar Fotovoltaica no Contexto da Diversificação da Matriz Energética Nacional**. 2024. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Econômicas, Departamento de Economia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.

PEREIRA, Naron Xavier. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. 2019. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, 2019.

RIBEIRO, Marcus Antonio Rufino. **Rede Social Gamer com modelagem do algoritmo K-means para indicação de novas amizades**. 2022. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Sistemas de Informação, Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2022.

ROSA, Antonio Robson Oliveira da; GASPARIN, Fabiano Perin. **Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil**. *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 7, n. 2, p. 140-147, dez. 2016.

ROUSSEEUW, Peter J. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. **Journal Of Computational And Applied Mathematics**, Holanda, v. 20, n. 1, p. 53-65, nov. 1987. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](http://dx.doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7).

SILVA, Lenadro Augusto da; PERES, Sarjane Marques; BOSCARIOLI, Clodis. **Introdução à mineração de dados: com aplicações em r**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

VOLPATO, Evandro Luis. **Análise do rendimento na conversão de energia solar em energia elétrica, de quatro tecnologias de células fotovoltaicas, na cidade de campo mourão – estado do paraná**. 2022. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Inovação Tecnológica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2022.