

ANÁLISE DE CLUSTERS PARA GERAÇÃO DE BIOLETRICIDADE SUCROENÉRGICA BRASILEIRA: Um ensaio utilizando a estatística scan

CLUSTERS ANALYSIS FOR BRAZILIAN SUGARCANE-BASED BIOELECTRICITY GENERATION: A trial using scan statistics

Autor(es): Luiz Moreira Coelho Junior*, Edvaldo Pereira Santos Júnior, Brunna Hillary Calixto de Oliveira, Anna Manuella Melo Nunes

Filiação: Laboratório de Economia de Baixo Carbono – LECO2, Centro de Energias Alternativas e Renováveis – CEAR, Universidade Federal da Paraíba – UFPB.

***E-mail:** luiz@cear.ufpb.br

Grupo de Trabalho (GT): GT03. Evolução, estrutura, competitividade e dinâmica das cadeias agroindustriais

Resumo

Este artigo analisou os clusters da geração de bioeletricidade sucroenergética no Brasil para 2022. Os dados estão disponíveis no Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Foram utilizadas as informações das quantidades e o potencial instalado das termoeletricas sucroenergéticas e a estatística scan foi a metodologia adotada para identificar e analisar conglomerados. Os resultados apontaram que as termoeletricas sucroenergéticas estão localizadas no Sudeste, no sul do Centro-Oeste e no litoral do Nordeste. Foram identificados oito clusters para o número de termoeletricas, mas apenas um foi estatisticamente significativo. Para o potencial instalado, foram 23 clusters e todos foram estatisticamente significativos, devido a maior oferta associada aos complexos produtivos de São Paulo e da região litorânea do Nordeste. Conclui-se que as regiões destacadas nos resultados são locais mais relevante para investimentos e políticas públicas para setor sucroenergético.

Palavras-chave: Bioenergia, energia limpa, economia regional e espacial.

Abstract

This article analyzed the clusters of sugarcane-based bioelectricity generation in Brazil for 2022. The data is available in the Generation Information Bank of the National Electric Energy Agency (ANEEL). Information on the quantities and installed potential of sugar-energy thermoelectric plants was used, and scan statistics was the methodology adopted to identify and analyze conglomerates. The results showed that the sugar-energy thermoelectric plants are located in the Southeast, in the south of the Midwest and on the coast of the Northeast. Eight clusters were identified for the number of thermoelectric plants, but only one was statistically significant. For installed potential, there were 23 clusters and all were statistically significant, due to the greater supply associated with the production complexes in São Paulo and the coastal region of the Northeast. It was concluded that the regions highlighted in the results are the most relevant locations for investments and public policies for the sugar-energy sector.

Key words: Bioenergy, clean energy, regional and spatial economy.

1. Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*) é uma gramínea originária da região tropical do sul da Ásia e utilizada principalmente para produção de aguardente, açúcar e etanol. O Brasil é o principal produtor de etanol de cana-de-açúcar de primeira geração e o pioneiro no uso como combustível veicular, seja consumido puro ou adicionada à gasolina (União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia - UNICA, 2022). O bagaço é um subproduto da cana-de-açúcar que possui alto teor de fibras e utilizado para produzir vapor e eletricidade na indústria sucroalcooleira (Pavan *et al.*, 2021).

Além da demanda energética da indústria, o bagaço pode ser utilizado para gerar eletricidade excedente e atender a rede elétrica brasileira. A bioeletricidade sucroenergética tem

um papel relevante para diversificação da matriz elétrica do Brasil, proporcionando alívio ao sistema elétrico nacional durante períodos de baixa precipitação (baixos níveis dos reservatórios hidrelétricos) (Cavalcanti *et al.*, 2020). Em 2022, 54% das indústrias sucroalcooleiras exportaram energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional (SIN), atingindo 20,2 mil GWh (4% da matriz elétrica brasileira) (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2023).

A bioeletricidade sucroenergética tem viabilidade econômica e apresenta potencial para mitigar as mudanças climáticas devido às emissões evitadas (Delgado *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2018; Carvalho; Fonseca, 2022). As emissões negativas também podem ser alcançadas através da captura e armazenamento de dióxido de carbono, liberado durante a fermentação, o que já foi estudado Moreira *et al.* (2016) no Brasil. A utilização do bagaço da cana-de-açúcar para gerar bioeletricidade e produzir combustíveis faz parte da estratégia brasileira de redução das emissões globais de carbono, fazendo parte de sua *Contribuição Pretendida Nacionalmente Determinada* (INDC), além de auxiliar na gestão de resíduos (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2019).

O agrupamento espacial (cluster) das atividades econômicas influencia o funcionamento do mercado, gerando vantagens ou desvantagens. A aglomeração de serviços ou firmas de uma cadeia de suprimentos envolve os seguintes aspectos: empresas de um setor; condições dos fornecedores para o segmento; a demanda e as indústrias relacionadas (CAPELLO, 2015; PORTER, 2000). Dos primeiros estudos industriais realizados no século XIX, Marshall (1984) trouxe o conceito de economia “externa” que incorpora vantagens aos conglomerados industriais. Porter (1998) destacou que colaboração e a competição entre participantes em um *cluster* promove aumento da produtividade industrial, otimizando a direção e estimulando a inovação e novos empreendimentos. Os clusters industriais podem promover a competitividade aumentando a produtividade das empresas dentro dos clusters, impulsionando a inovação e estimulando novos negócios num domínio específico (Bortoluzzi *et al.*, 2015).

A identificação de *clusters* contribuem para compreender a contemporaneidade de padrões, processos de transformação industrial, competitividade da indústria e desenvolvimento regional (HALLENCREUTZ; LUNDEQUIST, 2003). A detecção de conglomerados pode ser realizada a partir de diversos métodos, os quais diferem-se pelas características e hipóteses. A estatística scan (estatísticas de varredura), desenvolvida por Kulldorff (1997), são utilizadas para detectar áreas com elevada taxa de incidência de um evento, a partir da razão de verossimilhança e da varredura multidimensional.

A estatística scan (*scan statistic*) é uma ferramenta analítica da economia espacial, que pode ser observada sob os aspectos espaciais, temporais e espaço temporais. Inicialmente utilizou-se este método nas ciências da saúde sob os aspectos epidemiológicos e vigilância de doenças com Kulldorff e Nagarwalla, (1995a) a metodologia foi amplamente aplicada como Arroyo *et al.* (2017); Lieu *et al.* (2015) e Nigatu *et al.* (2019). Atualmente, a estatística scan vem sendo aplicada em outras áreas do conhecimento com as ciências florestais, econômicas, ambientais, etc. (Dai, 2012; Desjardins *et al.*, 2020; Han *et al.*, 2016; O’Loughlin e Witmer, 2011; Perchinunno *et al.*, 2020; Shekede *et al.*, 2020). No setor de energia Coelho Junior e Santos Júnior (2022) analisaram os cluster da bioeletricidade florestal no Brasil e revelaram que os conglomerados estão localizados na região Centro-Sul do país.

Esse tipo de avaliação é fundamental para identificar a oferta e destacar as termelétricas, proporcionando uma clara contribuição na orientação de políticas públicas e de tomada de decisão para aumentar da segurança e eficiência energética no país. Contudo, não foram encontrados estudos sobre esta abordagem na bioeletricidade sucroenergética, apesar de sua relevância para matriz elétrica brasileira e desenvolvimento sustentável. Reconhecendo a carência de estudos sobre a análise cluster da bioeletricidade sucroenergética no Brasil e sua

importância para setor energético, este artigo analisou os clusters da geração de bioeletricidade sucroenergética no Brasil, em 2022, com uso da estatística scan.

2. Material e Métodos

2.1 Objeto de estudo

As informações sobre as termelétricas brasileiras estão disponíveis no Sistema de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) – SIGA (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2022). As termelétricas que utilizam bagaço de cana no Brasil estão incluídas na classificação nível 1 (biomassa agroindustrial), e são uma das formas de geração nível 2 (bagaço de cana, biogás agroindustrial, capim elefante e casca de arroz).

Para cada termelétrica identificada foram coletadas a potência instalada (em MegaWatts – MW) e com as coordenadas geográficas, que foram especializadas com QGIS 3.6.0®. Foi realizada uma análise conjuntura observando as regiões e unidades federativas do Brasil, mostrando as usinas e da potência outorgada (MW) para 2022.

2.1 Estatística Scan

A estatística scan utilizou uma análise puramente espacial para alta conglomeração, baseada no modelo probabilístico de Poisson e no método de máxima verossimilhança, para uma região Z , dividida em m sub-regiões. Os parâmetros foram: a zona candidata ao cluster (z) no Brasil, a probabilidade da termelétrica sucroenergética estar dentro (p) ou fora (q) z . A equação (1) é a hipótese nula ($p = q$) da função de verossimilhança (L_0) (Kulldorff, 1997).

$$L_0 = \frac{e^{-C}}{C!} \left(\frac{C}{N} \right)^C \prod_{j=1}^m n(j) \quad (1)$$

onde, C = número de termelétricas ou potência instalada a partir do bagaço de cana no Brasil, $C!$ = valor fatorial do número de termelétrica ou potência instalada sucroenergética, n = número de termelétricas ou potência total instalada e $n(j)$ = número de termelétricas ou potência total instalada dentro de cada sub-região m . A equação (2) é a hipótese alternativa ($p > q$) dada pela função de verossimilhança [$L(z, p, q)$] (Kulldorff, 1997).

$$L(z, p, q) = \frac{e^{[-pn(z) - q(N - n(z))]} }{C!} p^{C(z)} q^{C - C(z)} \prod_{j=1}^m n(j) \quad (2)$$

em que, $n(z)$ = número de termelétricas ou potência total instalada em z , $C(z)$ = número de termelétricas ou potência instalada sucroenergética em z . A equação (3) representa a razão de verossimilhança $LR(z)$.

$$LR(z) = \frac{L(z, p, q)}{L_0} = \begin{cases} \left(\frac{C(z)}{\mu(z)} \right)^{C(z)} \left(\frac{C - C(z)}{\mu(z)} \right)^{C - C(z)}, & \text{se } \frac{C(z)}{\mu(z)} > 1 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

em que, μ_z = é o valor esperado do número de termelétricas ou potência instalada sucroenergética em z , sob hipótese nula.

O logaritmo foi utilizado ($\log [LR(z)] = LLR(z)$) para estabilizar a variância e as janelas circulares foram associadas à participação das termelétricas sucroenergética no número de geradores (3,12%) e na capacidade instalada nacional (5,25%). Os resultados do $LLR(z)$ foram comparados via simulações de Monte Carlo (9.999 replicações), com nível de significância inferior a 5% ($p\text{-valor} < 0,05$) pela Eq. (4) (Kulldorff e Nagarwalla, 1995b; Nigatu *et al.*, 2019).

$$value\ p = \frac{Ranking}{(1 + \# replicações)} \quad (4)$$

em que, o Ranking é o ranking $LLR(z)$. O risco relativo Eq. (5) de usinas termelétricas ou energia instalada de bagaço de cana-de-açúcar estarem dentro de um cluster (Kulldorff, 1997).

$$RR = \frac{i / E[i]}{(C - i) / (E[C] - E[i])} \quad (5)$$

em que, $E[C]$ é a expectativa matemática da quantidade de termelétricas ou potência instalada sucroenergética; i é a quantidade de termelétricas ou energia instalada sucroenergética; $E[i]$ é a expectativa matemática da quantidade de termelétricas ou potência instalada sucroenergética dentro do cluster.

As características dos clusters identificados foram avaliadas utilizando: o centroide do conglomerado; o raio R (km); o valor observado (Obs.); o valor esperado (Esp.); o risco relativo (RR), o LLR e o valor p.

3. Resultado e Discussão

A Tabela 1 mostra a distribuição regional das termelétricas sucroenergética e a capacidade instalada (MW) no Brasil em 2022.

Tabela 1. Distribuição regional das termelétricas a bagaço de cana e capacidade instalada (MW) no Brasil, em 2022.

Regiões /Estados	Quantidade	Potência instalada
Sudeste	270	8.185,37
São Paulo	214	6.470,25
Minas Gerais	51	1.596,92
Rio de Janeiro	2	49,00
Espírito Santo	3	69,20
Centro Oeste	73	3.118,11
Goiás	38	1.565,62
Mato Grosso do Sul	25	1.271,57
Mato Grosso	9	200,93
Tocantins	1	80,00
Nordeste	58	961,52
Alagoas	21	357,46
Pernambucano	20	310,45
Paraíba	5	101,50
Sergipe	5	59,70
Maranhão	2	9h40
Rio Grande do Norte	2	61,00
Bahia	2	38,50
Piauí	1	23,5
Sul	32	598,31
Paraná	29	587,24
Santa Catarina	3	11.07
Norte	3	17h45
Amazonas	1	5h00
Pára	2	12h45
Brasil	436	12.880,76

Fonte: ANEEL (2022).

O Brasil detém 270 usinas e um potência instalada de 12.880,76 MW. O Sudeste correspondeu a 61,93% das térmicas e 63,55% da potência instalada. O Centro-Oeste na segunda maior região, com 16,74% das unidades e 24,21% da potência. Entre os estados brasileiros, São Paulo esteve na primeira posição e apresentou o maior número de termelétricas e potencial instalado do país, com 49,08% e 50,31% respectivamente, destacando o elevado número de usinas instaladas no interior paulista. Rudorff et al. (2010) e Ogura et al. (2022) indicou a expansão da fronteira agrícola para produção de cana-de-açúcar para energia nesta região, destacando o noroeste e oeste de São Paulo como as áreas mais exploradas.

O estado de Minas Gerais foi o segundo mais expressivo na oferta de bioeletricidade com 1.596,92 MW (11,69%) e 51 usinas (12,39%). Os estados de Goiás, Paraná e Mato Grosso do Sul contemplam os cinco primeiros em número de usinas e capacidade instalada. Garcia e Sperling (2017) explicam que esses estados se destacam pelas vantagens comparativas, devido as questões edafoclimáticas, que tornam a cultura da cana-de-açúcar como mais produtiva do país.

A Figura 1 apresenta os clusters de quantidade e potencial instalado de termelétricas a bagaço de cana-de-açúcar no Brasil, em 2022. Para o número de termelétricas, foram 8 clusters, sendo 4 centrados no Sudeste, 2 no Nordeste, 1 no Sul e 1 no Norte. O litoral nordestino destacou-se pela forte influência na geração de energia (Santos Júnior *et al.*, 2023), assim como o interior do estado de São Paulo (Rudorff *et al.*, 2010). A região oeste de São Paulo teve um elevado número de projetos, justificados pela infraestrutura de escoamento da produção de açúcar e álcool, o que facilita a instalação de engenhos de cana-de-açúcar (Bini, 2009). Em termos de potencial instalado foram observados 23 clusters, na região Centro-Oeste e oeste dos estados de São Paulo e Minas Gerais. Também surgiu um cluster envolvendo os estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e partes de Minas Gerais, São Paulo e Bahia.

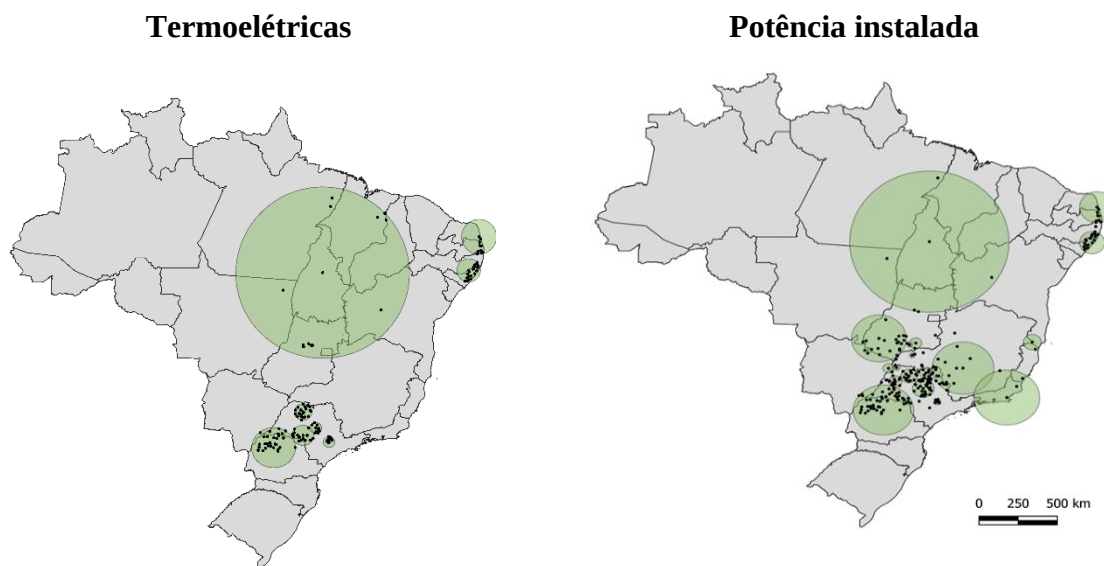


Figura 1. Clusters de termelétricas a bagaço de cana e capacidade instalada (MW) no Brasil, para 2022.

Com base nas características dos clusters de quantidade e potencial instalado de termelétricas sucroenergéticas (Tabela 2) foram encontrados 8 clusters. Apenas o Cluster 1 foi significativo que teve seu centroide no município de Engenheiro Beltrão (PR) e raio de 184,10 km, com 33 termelétricas observadas e estavam previstas 13. O risco relativo foi de 2,67. Com

LLR de 11,30, foi o cluster significativo com menor chance de ter ocorrido por acaso. Embora centradas no Paraná, a maior parte das fábricas estão localizada no sudoeste do estado de São Paulo, nas mesorregiões de Presidente Prudente e Assis; essas regiões são destaque no trabalho de Abreu et al. (2011) como uma das principais áreas de produção de cana-de-açúcar no Brasil.

Tabela 2. Características do cluster de usinas termelétricas a base de bagaço de cana no Brasil para 2022.

	C	Centróide	R (km)	Obs.	Exp.	RR	LLR	valor p
2022	1	Engenheiro Beltrão - PR	184,10	33	13	2,67	11,30	< 0,001
	2	Monte Aprazível – SP	75,61	29	13	2,24	7,03	0,1237
	3	São José da Laje – AL	107,12	21	9	2,53	6,60	0,1537
	4	Goianinha-RN	159,92	11	4	2,69	3,92	0,8815
	5	São Pedro Turvo – SP	92,75	19	10	1,94	3,27	0,9757
	6	Boituva-SP	49,08	11	5	2,28	2,85	0,9976
	7	Bariri-SP	50,23	11	5	2,17	2,56	0,9996
	8	Pedro Afonso - TO	788,26	13	7	2,00	2,46	0,9997

Legenda: C = cluster; R = raio; Obs. = casos observados; Exp. = casos esperados; RR = risco relativo; LLR = teste de razão de verossimilhança (LLR).

Os demais clusters não foram estatisticamente significativos, mas é importante observar suas localizações: o cluster 2 foi identificado no interior de São Paulo, o cluster 3 e o cluster 4 no litoral do Nordeste brasileiro. A adequação climática é um dos principais fatores que favorecem a produtividade regional, com as chuvas concentradas no verão e as secas no inverno (Corrêa, 2022). A diminuição do número de clusters significativos está relacionada com a expansão dos geradores de energia elétrica na matriz nacional, com aumento significativo da oferta proveniente de energia solar fotovoltaica e eólica (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2023). Este efeito tende a ser reduzido do ponto de vista do potencial instalado, devido à densidade de potência das termelétricas a bagaço de cana.

A Tabela 3 apresenta as características dos clusters de potência instalada (MW) das termelétricas a base de bagaço de cana-de-açúcar no Brasil, para 2022. O cluster principal centrou-se em Jandaia do Sul, com 237,99 km e 1,6 GW instalados. As usinas foram distribuídas entre os estados de Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo. A área do cluster abrange a região intermediária de Campo Grande – MS, que compõe o Bolsão Sul-Mato-Grossense, região ligada aos estados de São Paulo e Paraná, o que pode indicar transbordamento tecnológico entre as áreas (Coelho Junior e Santos Júnior, 2022).

Tabela 3. Características do cluster da capacidade instalada (MW) das termelétricas a base de bagaço de cana-de-açúcar no Brasil para 2022.

	C	Centróide	R (km)	Obs.	Esp.	RR	LLR	valor p
2022	1	Jandaia do Sul - PR	237,99	1601,30	675,17	2,57	492829,2	< 0,001
	2	Perolândia-GO	224,12	1338,11	647,99	2,19	300039,4	< 0,001
	3	Nova Europa-SP	86,94	1328,47	664,73	2,11	274459,1	< 0,001
	4	Lagoa da Prata-MG	249,29	1010,34	496,16	2,12	215138,4	< 0,001
	5	Monte Aprazível-SP	65,08	640,46	302,83	2,17	146655	< 0,001
	6	São Luís do Quitunde - AL	106,54	249,98	67,90	3,73	145034,3	< 0,001
	7	Goianinha-RN	147,04	204,50	60,42	3,42	106063,2	< 0,001
	8	Pedro Afonso - TO	675,13	260,73	101h30	2,61	88067,09	< 0,001

9	Guáira-SP	51,25	411,12	224,74	1,86	63291,92	< 0,001
10	Santa Albertina-SP	27,40	74,00	17,84	4,17	49229,89	< 0,001
11	Ituiutaba-MG	23,19	96,00	31,74	3,04	42158,15	< 0,001
12	Capivari-SP	26,54	103,40	37,75	2,75	38700,84	< 0,001
13	Aparecida do Taboado-MS	45,24	52,70	12,71	4,16	35034,45	< 0,001
14	Morrinhos-GO	50,05	85,50	30,57	2,81	33129,92	< 0,001
15	Serra dos Aimorés-MG	73,50	37h20	8,97	4,16	24717,26	< 0,001
16	Pirajuba - MG	11,59	100,00	52,50	1,91	17027,58	< 0,001
17	Cabo Frio-RJ	261,87	56,00	23h60	2,38	16036,16	< 0,001
18	Sud Menucci - SP	0,78	67,00	32,31	2,08	14222,29	< 0,001
19	Bento de Abreu-SP	53,38	309,05	229,53	1,35	12665,07	< 0,001
20	Nova Independência-SP	7,67	55,00	26,52	2,08	11668,1	< 0,001
21	Goiatuba-GO	23,73	86,52	49,44	1,76	11393,59	< 0,001
22	Tupaciguara-MG	0,09	75,00	44,01	1,71	9029,527	< 0,001
23	Limeira do Oeste-MG	1,69	50,00	26,52	1,89	8245,717	< 0,001

Legenda: C = cluster; R = raio; Obs. = casos observados; Exp. = casos esperados; RR = risco relativo; LLR = teste de razão de verossimilhança (LLR).

Dois clusters foram empatados como de maior risco relativo, cluster 10 e cluster 15. O cluster 10 estava centrado em Santa Albertina - SP e contava com 74 MW instalados, provenientes das termelétricas Carneirinho (24 MW) e Colombo Santa Albertina (50 MW), embora a oferta possa ser pequena em comparação com outros pontos, a baixa oferta de energia no entorno do cluster pode caracterizar este conglomerado. O Cluster 15, centrado na Serra dos Aimorés em Minas Gerais, apresentou características semelhantes, com capacidade instalada de apenas 37,20 MW, ante os 8,97 MW esperados das usinas Dasa (4,20 MW) em Minas Gerais e Alcon (33 MW) no Espírito Santo.

4. Conclusão

A partir da das análises realizadas, conclui-se que:

A região Sudeste apresentou o maior número de termelétricas a bagaço de cana-de-açúcar, bem como o maior potencial instalado. A região Centro-Oeste também apresentava elevado potencial, associado à expansão dos canaviais na região. No nível estadual, São Paulo apresentou a maior disponibilidade (número de termelétricas e potencial instalado).

Para o número de centrais foram identificados oito clusters, mas apenas um permaneceu estatisticamente significativo. Para o potencial instalado, foram 23 clusters, todos estatisticamente significativos.

Ao final deste estudo foi possível compreender a distribuição espacial da bioeletricidade proveniente da cana-de-açúcar e sua estrutura de mercado. Os resultados contribuem para futuras análises nas regiões de clusters e áreas adjacentes. Os insights obtidos podem ser utilizados para orientações valiosas para a tomada de decisão e a formulação de políticas públicas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (nº: 310871/2021-2) e pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC. O apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Paraíba - FAPESQ - Edital N 19-2022 Programa de Apoio ao Núcleo Consolidador do Estado da Paraíba - Projeto N 057-2023.

6. Referências

- ABREU, D.; MORAES, L. A. DE; NASCIMENTO, E. N.; OLIVEIRA, R. A. A produção da cana-de-açúcar no Brasil e a saúde do trabalhador rural. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v. 9, n. 2, p. 49–61, 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: 02 nov. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: 4 set. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/signa>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- ARROYO, L. H. et al. Identificação de áreas de risco para a transmissão da tuberculose no município de São Carlos, São Paulo, 2008 a 2013. **Epidemiologia e serviços de saúde: revista do Sistema Unico de Saude do Brasil**, v. 26, n. 3, p. 525–534, 2017.
- BINI, D. L. C. Apontamento sobre a Infraestrutura de Escoamento de Açúcar e Álcool na Região de Araçatuba (SP). **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v. 4, n. 1, p. 1–5, 2009.
- BORTOLUZZI, G.; LUCA, P. DE; VENIER, F.; BALBONI, B. **Innovation scope and the performance of the firm: empirical evidence from an Italian wine cluster**. Em: Handbook of research on global business opportunities . [s.l.: s.n.]. p. 551–568.
- BRASIL. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Brasília: [s.n.].
- CAPELLO, R. **Regional economics**. [s.l.] Routledge, 2015.
- CARVALHO, M.; FONSECA, L. F. S. Greenhouse gas and energy payback times of a wind turbine installed in the Brazilian northeast. **Frontiers in Sustainability**, v. 3, p. 1060130, 2022.
- CAVALCANTI, E. J. C.; CARVALHO, M.; SILVA, D. R. S. DA. Energy, exergy and exergoenvironmental analyses of a sugarcane bagasse power cogeneration system. **Energy Conversion and Management**, v. 222, p. 113232, out. 2020.
- COELHO JUNIOR, L. M.; SANTOS JUNIOR, E. P. Space-Time Conglomerates Analysis of the Forest-Based Power Plants in Brazil (2000–2019). **Energies**, v. 15, n. 11, p. 4113, 3 jun. 2022.
- COELHO JUNIOR, L. M.; SANTOS JUNIOR, E. P.; NUNES, A. M. M.; SOUZA, A. N.; BORGES, L. A. C.; SIMIONI, F. J. Concentration and Clusters of Black Liquor Thermoelectric Plants in Brazil. **IEEE Latin America Transactions**, v. 19, n. 12, p. 2122–2129, dez. 2021.
- CORRÊA, P. M. **Produtividade de cana-de-açúcar para a região de Catanduva-SP**. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2022.
- DAI, D. Identifying clusters and risk factors of injuries in pedestrian–vehicle crashes in a GIS environment. **Journal of Transport Geography**, v. 24, p. 206–214, set. 2012.
- DELGADO, D. B.; MONICA, C.; COELHO JUNIOR, L. M.; CHACARTEGUI, R.. Analysis of Biomass-fired Boilers in a Polygeneration System for a Hospital. **Frontiers in Management Research**, v. 2, n. 1, 19 jan. 2018.
- DESJARDINS, M. R.; HOHL, A.; DELMELLE, E. M. Rapid surveillance of COVID-19 in the United States using a prospective space-time scan statistic: Detecting and evaluating emerging clusters. **Applied Geography**, v. 118, p. 102202, maio 2020.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Brazilian Energy Balance 2019 Year 2018**. EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2019.

- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Brazilian Energy Balance 2023 Year 2022**. EPE - Empresa de Pesquisa Energética, p. 303, 2023.
- GARCIA, J. C. C.; SPERLING, E. VON. Greenhouse gas emissions from sugar cane ethanol: Estimate considering current different production scenarios in Minas Gerais, Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 1033–1049, maio 2017.
- HALLENCREUTZ, D.; LUNDEQUIST, P. Spatial Clustering and the Potential for Policy Practice: Experiences from Cluster-building Processes in Sweden. **European Planning Studies**, v. 11, n. 5, p. 533–547, jul. 2003.
- HAN, J. et al. Using Gini coefficient to determining optimal cluster reporting sizes for spatial scan statistics. *International Journal of Health Geographics*, v. 15, n. 1, p. 27, 3 dez. 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas Digitais**. 2020
- KULLDORFF, M. A spatial scan statistic. **Communications in Statistics - Theory and Methods**, v. 26, n. 6, p. 1481–1496, 27 jan. 1997.
- KULLDORFF, M. Spatial disease clusters: Detection and inference. **Statistics in Medicine**, v. 14, n. 8, p. 799–810, 30 abr. 1995b.
- KULLDORFF, M.; NAGARWALLA, N. Spatial disease clusters: Detection and inference. **Statistics in Medicine**, v. 14, n. 8, p. 799–810, 30 abr. 1995a.
- KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. **Economia industrial**: fundamentos teóricos e práticas no Brasil. . [s.l.] Elsevier, 2013.
- LIEU, T. A. et al. Geographic Clusters in Underimmunization and Vaccine Refusal. **Pediatrics**, v. 135, n. 2, p. 280–289, 1 fev. 2015.
- MARSHALL, A. (1920). **Princípios de economia**. São Paulo: Nova Cultural, 1984.
- MASON, E. S. Price and production policies of large-scale enterprise. **The American Economic Review**, v. 29, n. 1, p. 61–74, 1939.
- MOREIRA, J. R.; ROMEIRO, V.; FUSS, S.; KRAXNER, F.; PACCA, S. A. BECCS potential in Brazil: Achieving negative emissions in ethanol and electricity production based on sugar cane bagasse and other residues. **Applied Energy**, v. 179, p. 55–63, out. 2016.
- NIGATU, A. M. et al. Spatial variations of women's home delivery after antenatal care visits at lay Gayint District, Northwest Ethiopia. **BMC Public Health**, v. 19, n. 1, p. 677, 3 dez. 2019.
- NIGATU, A. M.; GELAYE, K. A.; DEGEFIE, D. T.; BIRHANU, A. Y. Spatial variations of women's home delivery after antenatal care visits at lay Gayint District, Northwest Ethiopia. **BMC Public Health**, v. 19, n. 1, p. 677, 2019.
- O'LOUGHLIN, J.; WITMER, F. D. W. The Localized Geographies of Violence in the North Caucasus of Russia, 1999–2007. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 101, n. 1, p. 178–201, 21 jan. 2011.
- OGURA, A. P.; SILVA, A. C.; CASTRO, G. B.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, A. L.. An overview of the sugarcane expansion in the state of São Paulo (Brazil) over the last two decades and its environmental impacts. **Sustainable Production and Consumption**, v. 32, p. 66–75, jul. 2022.
- PAVAN, M. C. O.; RAMOS, D. S.; SOARES, M. Y.; CARVALHO, M. M. Circular business models for bioelectricity: A value perspective for sugar-energy sector in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 311, p. 127615, ago. 2021.
- PERCHINUNNO, P.; MONGELLI, L.; ROTONDO, F. A multidimensional approach for the identification of environmental and health wellness territories. **Ecological Indicators**, v. 110, p. 105911, mar. 2020.
- PORTER, M. E. Clusters and the new economics of competition. **Harvard Business Review**, v. 76, n. 6, p. 77–90, 1998.
- PORTER, M. E. Location, Competition, and Economic Development: Local Clusters in a Global Economy. **Economic Development Quarterly**, v. 14, n. 1, p. 15–34, 25 fev. 2000.

- RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057–1076, 2010.
- SANTOS JÚNIOR, E. P.; SILVA, E. G. M.; SOUSA, M. H.; DUTRA, E. D.; SILVA, A. S. A.; SALES, A. T.; SAMPAIO, E. V. S. B.; COELHO JUNIOR, L. M.; MENEZES, R. S. C. Potentialities and Impacts of Biomass Energy in the Brazilian Northeast Region. **Energies**, v. 16, n. 9, p. 3903, 2023.
- SANTOS JÚNIOR, E. P.; SILVA, M. V. B. DA; SIMIONI, F. J.; ROTELLA JUNIOR, P.; MENEZES, R. S. C.; COELHO JUNIOR, L. M. Location and concentration of the forest bioelectricity supply in Brazil: A space-time analysis. **Renewable Energy**, v. 199, p. 710–719, nov. 2022.
- SHEKEDE, M. D.; MUPANDIRA, I.; GWITIRA, I. Spatio-temporal clustering of active wildfire pixels over a 19-year period in a southern African savanna ecosystem of Zimbabwe. **South African Geographical Journal**, p. 1–20, 2 jul. 2020.
- SOUZA, C. C.; LEANDRO, J. P.; REIS NETO, J. F.; FRAINER, D. M.; CASTELÃO, R. A. Cogeneration of electricity in sugar-alcohol plant: Perspectives and viability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 91, p. 832–837, ago. 2018.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOENERGIA, U. **Setor Sucroenergético**. Disponível em: <<https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/etanol/>>.