

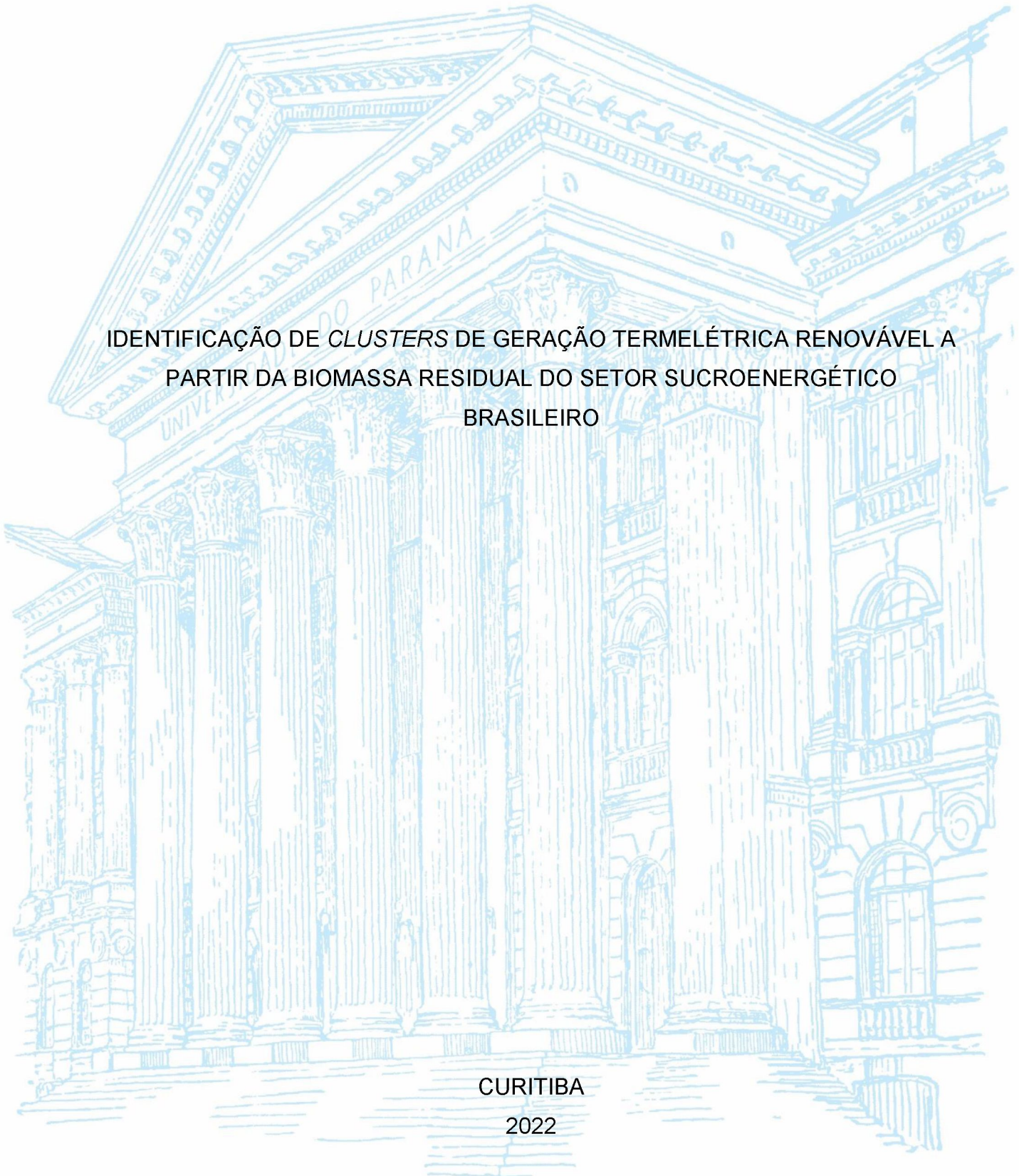
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO ORTIGARA

IDENTIFICAÇÃO DE *CLUSTERS* DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA RENOVÁVEL A
PARTIR DA BIOMASSA RESIDUAL DO SETOR SUCROENERGÉTICO
BRASILEIRO

CURITIBA

2022



GUSTAVO ORTIGARA

IDENTIFICAÇÃO DE *CLUSTERS* DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA RENOVÁVEL A
PARTIR DA BIOMASSA RESIDUAL DO SETOR SUCROENERGÉTICO
BRASILEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial – PPGMAUI, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, em parceria com a Universität Stuttgart, Alemanha, e o SENAI-PR, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Arno Paulo Schmitz

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Ortigara, Gustavo.

Identificação de *Clusters* de geração termelétrica renovável a partir de biomassa residual do setor sucroenergético brasileiro. / Gustavo Ortigara. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial; Universidade de Stuttgart e SENAI-PR.

Orientador: Prof. Dr. Arno Paulo Schmitz.

1. Desenvolvimento econômico sustentável. 2. Biorrefinaria - Brasil. 3. *Cluster* industrial. 4. Algoritmos. I. Schmitz, Arno Paulo. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial. III. Universidade de Stuttgart. IV. SENAI-PR. V. Título.



TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **GUSTAVO ORTIGARA** intitulada: **Identificação de clusters de geração termelétrica renovável a partir da biomassa residual do setor sucroenergético brasileiro**, sob orientação do Prof. Dr. ARNO PAULO SCHMITZ, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 16 de Setembro de 2022.

Assinatura Eletrônica

23/09/2022 21:06:21.0

ARNO PAULO SCHMITZ

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

24/09/2022 16:23:06.0

JOSÉ ELMAR FEGER

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

27/09/2022 16:53:41.0

THIAGO CAVALCANTE NASCIMENTO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

RESUMO

O setor sucroenergético tem papel relevante para o desenvolvimento sustentável do Brasil, seja pela contribuição econômica como produtor de açúcar e etanol, seja pelos benefícios ambientais, a partir da diversificação e fortalecimento da geração de energias renováveis na matriz energética brasileira. Também contribui para a segurança energética, via oferta para a sociedade, de energia ininterrupta e a preço justo. Adicionalmente, o setor pode ser fonte de novos produtos e processos econômicos como vapor (energia térmica), biogás, biofertilizante, dióxido de carbono, enxofre, certificação ambiental, além da capacidade de formulação de químicos e combustíveis nobres como hidrogênio verde, polímeros verdes, gás de síntese e toda uma cadeia de química fina agregada. Visando a resolução de desafios específicos do setor e o aproveitamento sistemático dos subprodutos da produção de açúcar e álcool para a geração de novas fontes de renda, este trabalho teve como objetivo entender a importância socioeconômica do setor sucroenergético brasileiro, analisar a distribuição espacial das usinas sucroenergéticas e, por meio da metodologia *k-means* aplicada via software QGIS, identificar *clusters* das usinas geradoras de energia elétrica a partir da biomassa residual da cana-de-açúcar, no Brasil e no Estado do Paraná. Para a definição do número de *clusters*, utilizou-se o método *Elbow*. Como resultado, foram gerados mapas do Brasil e do Paraná contendo sete *clusters* em nível nacional e cinco, no Paraná. Com base nos resultados obtidos verificou-se que a região Centro-Sul, em especial os estados de São Paulo, Paraná, sul de Mato Grosso do Sul, sul de Goiás e o Triângulo Mineiro se apresentam como importantes aglomerações de usinas sucroenergéticas que possuem geração de energia a partir do bagaço. Na pesquisa, os empreendimentos desta região foram agrupados nos Clusters 1, 4 e 7. De maneira similar, o Cluster 2, que engloba as usinas da costa do Nordeste também se configura como uma aglomeração relevante. Adicionalmente, estendeu-se a aplicação da metodologia *k-means* para os dados de potência instalada, resultando em cinco *clusters*, de acordo com o porte das usinas. Constatou-se que, para o critério de decisão de porte gerado automaticamente pelo QGIS, apenas 2,5% das usinas brasileiras se enquadram no maior nível de potência (>99,44 MW) e que a maioria (67%) se enquadram como usinas de pequeno porte (até 36,75 MW). Os resultados alcançados demonstram a utilidade dos *clusters* como forma de equacionar problemas e potencializar oportunidades para o setor, seja por aproximação espacial ou por potência distribuída no espaço geográfico. Espera-se que os resultados dessa dissertação estimulem a análise crítica das possibilidades de investimento e desenvolvimento deste setor por parte dos setores privado e público e da academia, fomentando a criação de *clusters* industriais e de pesquisa da cana-de-açúcar no Paraná e no Brasil.

Palavras-chave: subprodutos sucroenergéticos; *cluster* espacial; algoritmo *k-means*; biorrefinaria; bioenergia; desenvolvimento econômico sustentável.

ABSTRACT

The sugar-energy sector plays an important role in the sustainable development of Brazil, either through its economic contribution as a producer of sugar and ethanol, or through its environmental benefits, from the diversification and strengthening of energy generation in the Brazilian energy matrix. It also contributes to energy security, by offering society uninterrupted energy at a fair price. Additionally, the sector can be a source of new products and economic processes such as steam (thermal energy), biogas, biofertilizer, carbon dioxide, sulfur, environmental certification, in addition to the ability to formulate noble chemicals and fuels such as green hydrogen, green polymers, syngas and a whole chain of fine chemicals aggregated. Aiming at solving specific challenges of the sector and the systematic use of by-products of sugar and alcohol production to generate new sources of income, this study aimed to understand the socioeconomic importance of the Brazilian sugar-energy sector, analyze the spatial distribution of sugar-energy plants and, through the k-means methodology applied via QGIS software, to identify clusters of power plants generating electricity from residual sugarcane biomass, in Brazil and in the State of Paraná. To define the number of clusters, the Elbow method was used. As a result, maps of Brazil and Paraná were generated containing seven clusters at the national level and five in Paraná. Based on the results obtained, it was found that the Center-South region, especially the states of São Paulo, Paraná, southern Mato Grosso do Sul, southern Goiás and Triângulo Mineiro region are important agglomerations of sugarcane plants that produce energy from bagasse. In this research, the enterprises in this region were grouped into Clusters 1, 4 and 7. Similarly, Cluster 2, which encompasses the plants on the northeast coast, is also configured as a relevant agglomeration. Additionally, the application of the k-means methodology was extended to the installed power data, resulting in five clusters, according to the size of the plants. It was found that, for the size decision criterion automatically generated by QGIS, only 2.5% of Brazilian plants fit into the highest power level (>99.44 MW) and that the majority (67%) are classified as small power plants (up to 36.75 MW). The results achieved demonstrate the usefulness of clusters as a way of solving problems and enhancing opportunities for the sector, either by spatial approximation or by power distributed in geographic space. It is expected that the results of this work stimulate the critical analysis of the possibilities of investment and development of this sector by the private and public sectors and the academy, promoting the creation of industrial and research clusters of sugarcane in Paraná and Brazil.

Keywords: sugar-energy by-products; spatial cluster; k-means algorithm; biorefinery; bioenergy; sustainable economic development.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MAPA DA ÁREA PLANTADA COM CANA-DE-AÇÚCAR (HECTARES) NOS BIOMAS BRASILEIROS - 2015	23
FIGURA 2 – FASES DO PROÁLCOOL 1972-2015	29
FIGURA 3 – POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR SUBSTRATO DO SETOR SUCROENERGÉTICO – BRASIL – 2019/20.....	34
FIGURA 4 – REPARTIÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO BRASIL – 2020.....	36
FIGURA 5 – USO DA ENERGIA NO BRASIL – 2020.....	36
FIGURA 6 – COMPLEMENTARIDADE DA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA GERAÇÃO ELÉTRICA – BRASIL – 2019/20.....	38
FIGURA 7 – EXPLICAÇÃO GRÁFICA DO MÉTODO <i>ELBOW</i>	67
FIGURA 8 – ABORDAGENS MATEMÁTICAS DO MÉTODO <i>ELBOW</i>	68
FIGURA 9 – MÉTODO <i>ELBOW</i> APLICADO À ANÁLISE DE <i>CLUSTERS</i> ESPACIAIS, NACIONALMENTE	72
FIGURA 10 – <i>CLUSTERS</i> ESPACIAIS DAS USINAS SUCROENERGÉTICAS BRASILEIRAS.....	73
FIGURA 11 – MÉTODO <i>ELBOW</i> APLICADO À ANÁLISE DE <i>CLUSTERS</i> ESPACIAIS DAS USINAS DO PARANÁ	74
FIGURA 12 – <i>CLUSTERS</i> ESPACIAIS DAS USINAS SUCROENERGÉTICAS NO PARANÁ	75
FIGURA 13 – MÉTODO <i>ELBOW</i> APLICADO À ANÁLISE DE <i>CLUSTERS</i> POR POTÊNCIA.....	76
FIGURA 14 – <i>CLUSTERS</i> POR POTÊNCIA INSTALADA DAS USINAS SUCROENERGÉTICAS BRASILEIRAS.....	77
FIGURA 15 – <i>CLUSTERS</i> POR POTÊNCIA APRESENTADOS ISOLADAMENTE .	78
FIGURA 16 – RECORTE DO MAPA DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL	80
FIGURA 17 – RECORTE DO MAPA FERROVIÁRIO CONCESSÕES VIGENTES ..	81
FIGURA 18 – RECORTE DO MAPA RODOVIÁRIO DO ESTADO DO PARANÁ ANO 2020.....	82

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR – GRANDES REGIÕES – BRASIL (mil toneladas) – 2012/13 a 2021/22.....	25
GRÁFICO 2 – PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR – GRANDES REGIÕES – BRASIL – 2012/13 a 2021/22.....	26
GRÁFICO 3 – PRODUÇÃO MUNDIAL DE AÇÚCAR – 2019/20 a 2020/21	27
GRÁFICO 4 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR – GRANDES REGIÕES – (mil toneladas) 2012/13 a 2021/22.....	27
GRÁFICO 5 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL TOTAL A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR – BRASIL (milhões de litros) – 2012/13 a 2021/22.....	30
GRÁFICO 6 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL ANIDRO E HIDRATADO A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR – BRASIL – 2012/13 a 2021/2022	31
GRÁFICO 7 – OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE – BRASIL – 2020.....	37
GRÁFICO 8 – DERIVADOS DA CANA NA OFERTA INTERNA DE ENERGIA.....	38
GRÁFICO 9 – PERCENTUAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR, POR ESTADO – BRASIL – 2020.....	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ÁREA COLHIDA DE CANA-DE-AÇÚCAR – ESTADOS E GRANDES REGIÕES – 2017/18 A 2020/21	24
TABELA 2 – PRODUÇÃO DE AÇÚCAR, POR ESTADOS E GRANDES REGIÕES – 2019/20 a 2020/21	28

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABIOGÁS	Associação Brasileira do Biogás
ACV	Análise de Ciclo de Vida
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ATR	Açúcar Total Recuperável
BEN	Balço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRICS	Agrupamentos dos países Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
C.A.R.M.E.N. e.V.	Rede Central de Comercialização de Matérias-Primas Agrícolas e Energia
CBIO	Crédito de Descarbonização
CDP	Carbon Disclosure Project
CIBIOGÁS	Centro Internacional de Energias Renováveis
CO ₂	Dióxido de carbono
COGEN	Associação da Indústria de Cogeração de Energia
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
E2G	Etanol de Segunda Geração
EAC	Etanol Anidro Combustível
EBA	European Biogas Association
EHC	Etanol Hidratado Combustível
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GASBOL	Gasoduto Brasil Bolívia
GAS-REC	Certificado de Gás Renovável
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHG	GreenHouse Gases

GIS	Sistemas de Informação Geográfica
GNC	Gás Natural Comprimido
GNL	Gás Natural Liquefeito
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MIP	Matriz Insumo-Produto
MME	Ministério de Minas e Energia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RCE	Reduções Certificadas de Emissões - Créditos de Carbono
REC	Certificado de Energias Renováveis
RFA	Renewable Fuels Association
SIN	Sistema Interligado Nacional
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SSE	Soma dos Quadrados dos Erros
TFZ	Centro de Tecnologia e Suporte
TUMCS	Universidade Técnica de Munique Campus Straubing para Biotecnologia e Sustentabilidade
UNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia
UTE	Usinas Termelétrica
VHP	Very High Polarization
WUR	Wageningen University & Research

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo geral	20
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
2 REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1 O CONCEITO DE ENERGIA “MAIS LIMPA” E SUSTENTÁVEL.....	20
2.2 A CANA-DE-AÇÚCAR COMO INSUMO AO SETOR SUCROENERGÉTICO	22
2.3 A PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOIS	26
2.4 A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO SETOR SUCROENERGÉTICO.....	32
2.5 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E A CONTRIBUIÇÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO.....	35
2.6 OS ENCADEAMENTOS ECONÔMICOS.....	40
2.7 POLÍTICAS PARA CLUSTERS.....	41
2.7.1 POLÍTICAS PARA <i>CLUSTERS</i> DE ENERGIAS RENOVÁVEIS	45
2.8 DESAFIOS E OPORTUNIDADES VISLUMBRADAS COM A GERAÇÃO DE NOVOS PRODUTOS	48
2.8.1 Biometano	49
2.8.2 Biofertilizante como uso final do digestato	51
2.8.3 Biorrefinarias	52
2.8.4 Dióxido de Carbono.....	54
2.8.5 Enxofre	56
2.8.6 Certificados ambientais	57
2.8.6.1 Créditos de Carbono (RCE).....	57
2.8.6.2 Certificado de Energias Renováveis (I-REC).....	58
2.8.6.3 Certificado de Biocombustíveis (CBIO)	58
2.8.6.4 Certificado de Gás Renovável (GAS-REC)	59
2.8.7 Institutos de Inovação e Pesquisa.....	60
3 MATERIAIS E MÉTODOS	63
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	63

3.2 A ANÁLISE DE <i>CLUSTERS</i>	63
3.2.1 O método k-means.....	64
3.2.2 O método <i>Elbow</i> (Cotovelo)	66
3.2.3 A análise de <i>clusters</i> espaciais	68
3.2.4 A análise de <i>clusters</i> por potência.....	69
3.3 PERÍODO DE ANÁLISE, ÁREA DE ESTUDO, FONTES DE DADOS E SOFTWARE	69
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.1 <i>CLUSTERS</i> ESPACIAIS EM NÍVEL NACIONAL	72
4.2 <i>CLUSTER</i> ESPACIAL NO PARANÁ.....	74
4.3 <i>CLUSTERS</i> POR POTÊNCIA	75
4.4 FATORES QUE PODEM FAVORECER A FORMAÇÃO DE <i>CLUSTERS</i>	79
4.5 PRODUTOS E PROCESSOS QUE PODEM SER APLICÁVEIS AOS <i>CLUSTERS</i>	
84	
5 CONCLUSÃO	86
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	89
REFERÊNCIAS.....	91
APÊNDICE 1 – RESULTADO DA CLUSTERIZAÇÃO ESPACIAL.....	109
APÊNDICE 2 – RESULTADO DA CLUSTERIZAÇÃO DAS USINAS DO PARANÁ	
119	
APÊNDICE C – RESULTADO DA CLUSTERIZAÇÃO POR POTÊNCIA	120
ANEXO 1 – ROTINA DE CÁLCULO DA CLUSTERIZAÇÃO ESPACIAL EM NÍVEL NACIONAL	130
ANEXO 2 – ROTINA DE CÁLCULO DA CLUSTERIZAÇÃO ESPACIAL PARA O ESTADO DO PARANÁ.....	131
ANEXO 3 – ROTINA DE CÁLCULO DA CLUSTERIZAÇÃO POR POTÊNCIA.....	132

1 INTRODUÇÃO

A energia, nas suas diferentes formas, é um produto importante para uma vida confortável dos seres humanos. A eletricidade é primordial na utilização e funcionamento de diversos produtos, por exemplo: refrigeradores; smartphones; automóveis; processos produtivos (MARTINS, 2018). A International Energy Agency (IEA, 2021) define segurança energética como a “disponibilidade ininterrupta de fontes de energia a um preço acessível”. Portanto, pode-se inferir que a segurança energética é fundamental para o desenvolvimento das nações. No curto prazo, ela garante o suprimento de energia (oferta) frente a demanda dos mercados consumidores de energia, inclusive caso ocorram alterações inesperadas no lado da demanda. No longo prazo, o planejamento do fornecimento de energia visa atender à demanda necessária ao crescimento econômico, obedecendo os requisitos ambientais (SANTOS, 2016).

O ser humano, ao utilizar combustíveis fósseis, promoveu a ampliação das emissões de dióxido de carbono (CO₂), o que resultou no aquecimento global e as alterações no clima. Adicionalmente, o aumento do desmatamento de florestas, a impermeabilização do solo para a expansão das cidades e o crescimento do setor de transportes (baseado em combustíveis fósseis), contribuem para agravar este cenário. Para conter o avanço das mudanças climáticas, parte importante dos países e setores produtivos têm implementado ações para acelerar a descarbonização. Este movimento é motivado pelos impactos climáticos observáveis atualmente e pelas perspectivas para o futuro, bem como pelos acordos mundiais sobre o clima (GUTIERREZ, 2020).

A descarbonização influencia os setores econômico e social, uma vez que exige a substituição de processos intensivos em carbono por outros, que objetivem a sua neutralidade. Basicamente, a transição requer a redução drástica da liberação do dióxido de carbono e outros gases causadores do efeito estufa (GEE), além de manter e regenerar florestas, solos, rios e oceanos. Neste contexto o Brasil pode se destacar se conservar a maior floresta tropical do mundo, cuja parte importante encontra-se em seu território (VIOLA; FRANCHINI, 2012), e também por apresentar uma produção de biocombustíveis relevante (VIDAL, 2019) e uma matriz energética predominantemente renovável (OLANYK; SCHIRMER, 2012).

As energias renováveis podem ter os mais diferentes usos, tais como: produção de eletricidade; geração de calor; insumo para atividades industriais; combustível para movimentação de máquinas e meios de transporte (veículos, aviões, navios, etc) (QAZI et al., 2019).

A energia renovável pode ser produzida a partir de diversas fontes. Para a geração de energia elétrica pode-se citar as seguintes fontes: hidráulica; eólica; solar fotovoltaica; termelétrica a partir de biomassas e biogás; maremotriz; e geotérmica. Para outros usos tais como o industrial, transportes ou agropecuária, a energia renovável pode ser obtida a partir de derivados da cana-de-açúcar (etanol e bagaço da cana-de-açúcar), do biodiesel e de outros resíduos agropecuários, dentre outras fontes possíveis (BONDARIK; PILATTI; HORST, 2018).

O Brasil se destaca na geração de energia renovável. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN 2021) e da IEA (2021), a participação das energias renováveis na matriz energética nacional foi de 48,4% em 2020, acima da média mundial (17,1%). Montoya et al. (2021) também relatam que a matriz brasileira é três vezes mais renovável que a média mundial. Outro estudo, de Losekann e Tavares (2021), apresenta que o Brasil lidera a geração de energia renovável entre os países que compõem o grupo BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul). Em 2019, as fontes de energia fósseis representaram 97% na África do Sul, 94% na Rússia, 92% na Índia e 87% na China.

Portanto, o setor sucroenergético é importante para o desenvolvimento sustentável do Brasil. Como destacam Neves e Kalaki (2021), além da influência econômica como produtor de açúcar e a sua contribuição para a segurança energética, este setor também influencia na questão ambiental. Isto ocorre pelos impactos indiretos na melhoria da qualidade do ar, no uso da água e do solo. Existe ainda a contribuição social, no uso da terra e geração de emprego e renda.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (40% do total) e lidera também na produção de açúcar (22% do total) (FAO, 2021). Adicionalmente, é o segundo maior produtor mundial de etanol (30% do total) (RFA, 2021). O setor sucroenergético ainda tem grande importância na matriz energética, com etanol e bioeletricidade, pois é responsável por 19,1% da Oferta Interna de Energia brasileira em 2020 (EPE, 2021).

Entretanto o setor enfrenta dificuldades específicas relacionadas a aspectos tecnológicos, agrônômicos e de gestão. A análise destes desafios se configura como o problema desta pesquisa.

Logo, este trabalho tem por objetivo entender a importância da geração de energia pelo setor sucroenergético, analisar a distribuição espacial das usinas sucroenergéticas e identificar *clusters* das usinas geradoras de energia elétrica a partir da biomassa residual da cana-de-açúcar, no Brasil e no Estado do Paraná, visando a solução de desafios e a criação de novas oportunidades econômicas. Está estruturado, inicialmente, com esta Introdução, na qual também são apresentadas as justificativas e objetivos da pesquisa.

Na sequência, o capítulo de Revisão Bibliográfica aborda a cana-de-açúcar como insumo estratégico para a produção de riquezas por meio dos seus produtos: açúcar, etanol, energia e outras possibilidades. Adicionalmente, relaciona aspectos sobre políticas para *clusters*. Na continuação, o capítulo de Materiais e Métodos traz a metodologia da pesquisa, que é a identificação espacial dos *cluster* de usinas geradoras de energia termelétrica renovável da cana-de-açúcar, pelo método *k-means*.

No capítulo Resultados e Discussões são demonstrados os mapas com os *clusters* encontrados em nível nacional e no Estado do Paraná, alguns fatores que poderiam favorecer a organização em clusters, bem como as oportunidades vislumbradas com a aplicação dos subprodutos do setor sucroenergético. Por fim, o capítulo de Conclusão demonstra a utilidade dos clusters como forma de equacionar problemas e potencializar oportunidades para o setor e sugere algumas políticas que podem vir a ser desenvolvidas para que isto ocorra.

1.1 JUSTIFICATIVA

Na história socioeconômica brasileira, a indústria de cana-de-açúcar tem sido um setor importante primeiramente pela produção e exportação de açúcar. Nos últimos 50 anos, o setor passou por uma completa transformação, quando suas atividades incorporaram a produção do etanol. Mais recentemente, por conta da necessidade de melhorias na eficiência dos processos, bem como de adequações às exigências ambientais, foi introduzida a produção de energia elétrica. Esta energia,

produzida a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar se tornou um produto importante para esta indústria, além do açúcar e do álcool (NEVES; KALAKI, 2021).

Além do bagaço, o processamento da cana-de-açúcar também gera biomassa residual composta por palhas e pontas, as quais, com a crescente mecanização da colheita nos canaviais, tornaram-se matérias-primas viáveis para o aproveitamento energético. Do mesmo modo, outros resíduos da produção, como a vinhaça e a torta de filtro¹, também possuem potencial energético. Ainda pouco empregados, tais insumos dão origem ao biogás, resultante da digestão anaeróbia. O biogás pode ser queimado em turbinas ou motogeradores para a geração de energia elétrica ou refinado para a obtenção de biometano e ser utilizado analogamente ao gás natural (CIBIOGÁS, 2019).

Logo, sob o olhar ambiental, o setor sucroenergético é parte do processo de diversificação e fortalecimento da geração de energias renováveis na matriz energética brasileira, além de contribuir para a segurança energética, via oferta para a sociedade, de energia ininterrupta e a preço justo (NEVES; KALAKI, 2021). Adicionalmente, o aproveitamento sistemático dos demais subprodutos do setor permite o desenvolvimento de novos produtos e processos econômicos: energia térmica, biofertilizante, dióxido de carbono (CO₂), enxofre, certificação ambiental, e a abertura para a criação químicos e combustíveis nobres como hidrogênio verde, polímeros verdes, gás de síntese e toda uma cadeia de química fina agregada (ABIOGÁS, 2021).

Sob o aspecto socioeconômico, para uma melhor compreensão dos efeitos da geração de energia, das possibilidades de desenvolvimento de outros produtos e sugestão de medidas que estimulem o desenvolvimento econômico sustentável, é necessário analisar a distribuição espacial e identificar as regiões com concentração de aproveitamento energético da biomassa residual deste setor.

¹ Vinhaça e torta de filtro são resíduos do processo de produção do álcool e açúcar. A vinhaça resulta da destilação do caldo da cana fermentado. Já a torta de filtro provém da filtração do caldo extraído das moendas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Entender a importância socioeconômica do setor sucroenergético brasileiro e, visando a resolução de desafios do setor e a criação de novas oportunidades econômicas, analisar a distribuição espacial da geração termelétrica renovável a partir da biomassa residual deste setor, por meio da identificação de *clusters*.

1.2.2 Objetivos específicos

- Entender a produção de cana-de-açúcar nos Estados brasileiros, seu uso como insumo ao setor sucroenergético e a importância do setor para a economia brasileira, especialmente pela geração de energia elétrica renovável;
- Compreender o conceito matemático de *cluster* e aplicar o método k-means para agrupamento das usinas geradoras de energia elétrica a partir da biomassa residual da cana-de-açúcar no Brasil e no Paraná;
- A partir da clusterização, analisar a distribuição espacial do aproveitamento energético via biomassa residual do setor sucroenergético brasileiro e paranaense.
- Descrever os problemas e as oportunidades econômicas que os agrupamentos de usinas podem contribuir para a resolução ou desenvolvimento.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O CONCEITO DE ENERGIA “MAIS LIMPA” E SUSTENTÁVEL

O sétimo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS), Energia Limpa e Acessível tem como propósito: “Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos” (Plataforma Agenda 2030). De acordo com o relatório Tracking SDG 7: The Energy Progress Report, que monitora o progresso deste ODS, a disponibilidade de eletricidade aumentou significativamente na última década. No mundo, o número de pessoas sem acesso à energia elétrica reduziu de 1,2 bilhão (17% da população mundial), em 2010, para 759 milhões em 2019 (9,8%

da população mundial). Isso significa que mais de 90% da população mundial possui acesso à eletricidade (WORLD BANK, 2021)

Porém, essa evolução foi desigual, especialmente em países em desenvolvimento e em localidades remotas e rurais. Ademais, houve um retrocesso em outras regiões, principalmente na África, por conta do impacto socioeconômico da COVID-19, o que tornou o serviço básico de eletricidade inacessível para 30 milhões de pessoas (WORLD BANK, 2021).

Neste contexto de segurança energética e desenvolvimento sustentável, ponderar a necessidade de avanço econômico com a preservação do meio ambiente e o atendimento aos mais vulneráveis é um grande desafio. As fontes energéticas renováveis, em especial a proveniente da biomassa residual do setor sucroenergético, são importantes para a solução deste problema (SIMAS; PACCA, 2013). Além disso, podem contribuir para o atendimento de outros ODS e representam oportunidade econômica para empresas e países (HART; MILSTEIN, 2004).

O mundo experimenta não só uma transição energética, mas uma transformação energética, baseada, entre outros, em conceitos de consumidor-gerador, geração descentralizada próxima ao consumo, armazenamento inteligente de energia, aproveitamento energético racional de insumos e resíduos, de acordo com a análise de ciclo de vida de produtos e processos. A busca dos países pela neutralidade de carbono até 2050 e o atingimento das metas dos acordos ambientais fomenta o avanço das energias renováveis como forma inteligente de desenvolvimento.

Neste sentido, o setor sucroenergético brasileiro avança no cuidado com as questões ambientais e traz desenvolvimento para os empreendedores, para a sociedade e para o país. Com a recém implantada política nacional de biocombustíveis (o RenovaBio), a usina do setor sucroenergético que faz uso consciente das matérias-primas e aplica conceitos ambientalmente avançados nos seus processos, se beneficia economicamente, gerando mais riqueza. Adicionalmente, a destinação e o aproveitamento inteligente dos subprodutos gerados na produção propiciam a formação de novos mercados, possibilitando a geração de empregos, renda e desenvolvimento local (LEITÃO; SILVA, 2018).

2.2 A CANA-DE-AÇÚCAR COMO INSUMO AO SETOR SUCROENERGÉTICO

A cana-de-açúcar é cultivada principalmente em locais com abundância de sol, especialmente de climas tropical e subtropical. Logo, esta é uma característica espacial/locacional importante. A cana-de-açúcar é insumo para produtos que estão presentes na economia mundial, tais como o açúcar e o álcool (IBGE, 2017). Além disso, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 2021), a biomassa da cana-de-açúcar é a principal fonte de energia renovável no Brasil e representa 19,1% da Oferta Interna de Energia, ou 39,5% de toda a parcela renovável.

Adicionalmente, todos os demais resíduos do processamento da cana-de-açúcar podem ser aproveitados, seja para fertilização, insumo industrial, geração de energia ou, ainda, produção de etanol de segunda geração (E2G)². O estudo de Análise de Ciclo de Vida (ACV) realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2017), revela que a produção de cana-de-açúcar é mais limpa e impacta menos o meio ambiente do que se imaginava. Deve-se considerar ainda a evolução dos processos tecnológicos de transformação de alguns resíduos em insumos tal como o biogás para geração de energia térmica, elétrica e movimentação de maquinários, como motobombas, e o biometano, em substituição ao diesel na logística canavieira (ABILOGÁS, 2021).

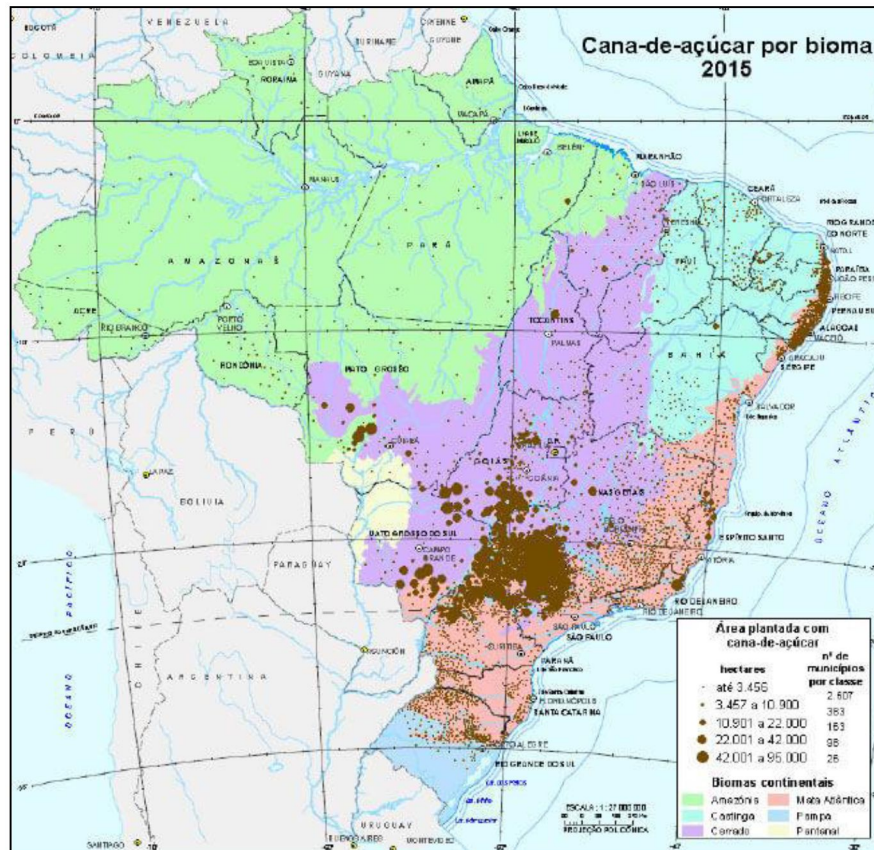
O setor sucroenergético brasileiro, tal como se encontra atualmente, possui uma particularidade relacionada à sua localização geográfica no Brasil e na Terra, que é resultado da adaptação da cana-de-açúcar aos microclimas e aos tipos de solos. Isso favorece a sua produção em escala econômica, em diferentes intensidades e regiões do país, praticamente o ano todo. Isto repercute também na localização das usinas que são orientadas à matéria-prima (STENER, 2017).

A atividade canavieira está presente em todos os estados brasileiros, exceto no Amapá (STENER, 2017). Algumas regiões tiveram ocupação mais antiga, tais como o litoral nordestino e o Sudeste. Mas, em microrregiões como o eixo Piracicaba - Ribeirão Preto, em São Paulo, o norte do Paraná e algumas áreas de Alagoas e de Pernambuco, apresentaram um adensamento maior a partir dos anos 2000. Isto foi

² Etanol de segunda geração é um biocombustível, também chamado de bioetanol, E2G ou etanol celulósico que pode ser produzido a partir dos subprodutos do etanol convencional, como o bagaço e a palha, bem como, a partir de outros resíduos vegetais como a beterraba, trigo e milho (FINEP, 2021).

provocado principalmente pelos incentivos à produção de etanol. A figura abaixo ilustra as áreas cultivadas com a cana-de-açúcar no Brasil (FIGURA 1).

FIGURA 1 – MAPA DA ÁREA PLANTADA COM CANA-DE-AÇÚCAR (HECTARES) NOS BIOMAS BRASILEIROS - 2015



FONTE: IBGE, A Geografia da cana-de-açúcar (2017).

Na FIGURA 1 é possível perceber a divisão de produção no país em duas grandes regiões: Nordeste e Centro-Sul³. Os dados do Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar feito pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021), indicam que na safra 2020/2021 foram 8.616,1 mil hectares de área colhida, cujo destaque foi a região centro-sul.

A TABELA 1 apresenta a evolução da área colhida no Brasil, nas últimas quatro safras, organizada por regiões e estados. Nota-se, o estado de São Paulo como principal destaque em relação aos demais, pois é responsável por mais da metade da

³ Para o setor sucroenergético, a região Centro-Sul inclui os estados das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul (PEREIRA; SILVEIRA, 2016).

área nacional destinada ao cultivo da cana-de-açúcar, seguido por Goiás e Minas Gerais, com 11% e 10%, respectivamente.

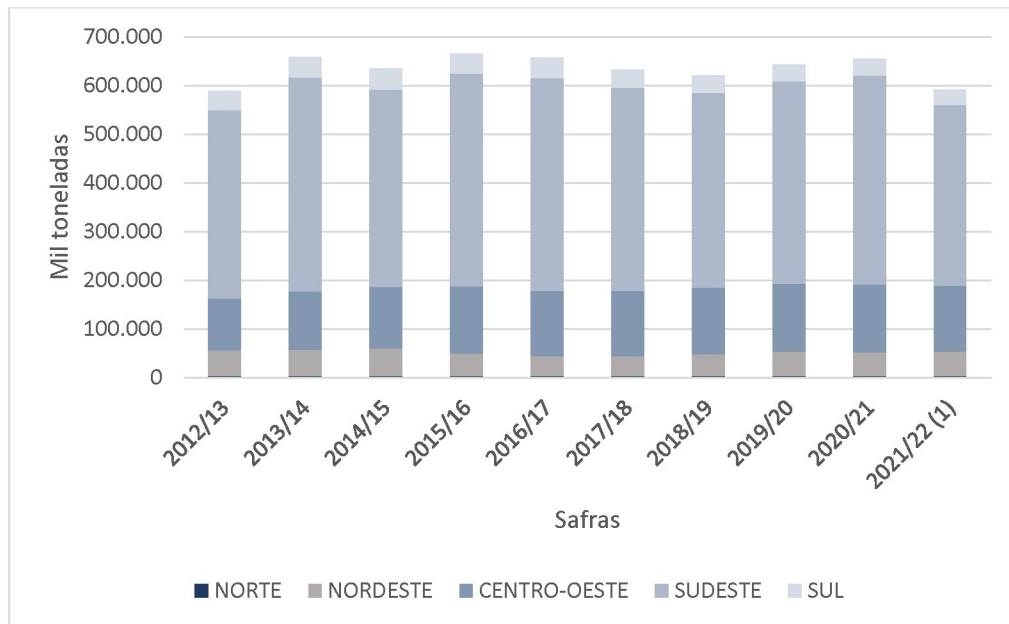
TABELA 1 – ÁREA COLHIDA DE CANA-DE-AÇÚCAR – ESTADOS E GRANDES REGIÕES – 2017/18 A 2020/21

REGIÃO/UF	ÁREA (Em mil ha)			
	Safra 2017/18	Safra 2018/19	Safra 2019/20	Safra 2020/21
NORTE	49,5	49,6	45,6	45,7
RR	-	0,0	0,0	0,0
RO	1,8	1,3	-	-
AC	-	-	-	-
AM	3,6	3,5	3,4	3,7
AP	-	-	-	-
PA	13,5	14,4	14,5	13,8
TO	30,6	30,4	27,7	28,2
NORDESTE	842,2	834,1	844,4	849,7
MA	38,0	35,3	34,1	33,1
PI	15,7	19,0	19,2	20,1
CE	-	-	-	-
RN	57,8	53,1	55,2	57,7
PB	119,6	122,1	122,8	118,3
PE	223,2	231,3	237,3	233,0
AL	303,8	293,2	292,0	298,5
SE	37,0	36,6	36,7	38,7
BA	47,1	43,5	47,0	50,4
CENTRO-OESTE	1.804,5	1.793,3	1.819,9	1.823,3
MT	226,9	228,9	215,6	214,6
MS	666,0	647,4	661,0	637,2
GO	911,6	917,1	943,3	971,6
DF	0,0	0,0	0,0	0,0
SUDESTE	5.448,4	5.342,2	5.200,6	5.378,0
MG	824,9	848,0	820,6	854,2
ES	47,6	46,7	48,6	46,9
RJ	17,5	21,4	29,2	32,7
SP	4.558,4	4.426,2	4.302,2	4.444,2
SUL	584,9	570,1	531,6	519,4
PR	583,7	569,1	531,0	518,8
SC	-	-	-	-
RS	1,2	0,9	0,7	0,7
NORTE/NORDESTE	891,7	883,6	889,9	895,4
CENTRO-SUL	7.837,8	7.705,6	7.552,1	7.720,8
BRASIL	8.729,5	8.589,2	8.442,0	8.616,1

FONTE: Elaboração própria a partir de CONAB (2018 a 2021).

Em termos de produção, no GRÁFICO 1 é possível observar os dados da produção brasileira de cana-de-açúcar, por região. Nota-se que a maioria da produção se concentra na região Sudeste.

GRÁFICO 1 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR – GRANDES REGIÕES – BRASIL (mil toneladas) – 2012/13 a 2021/22



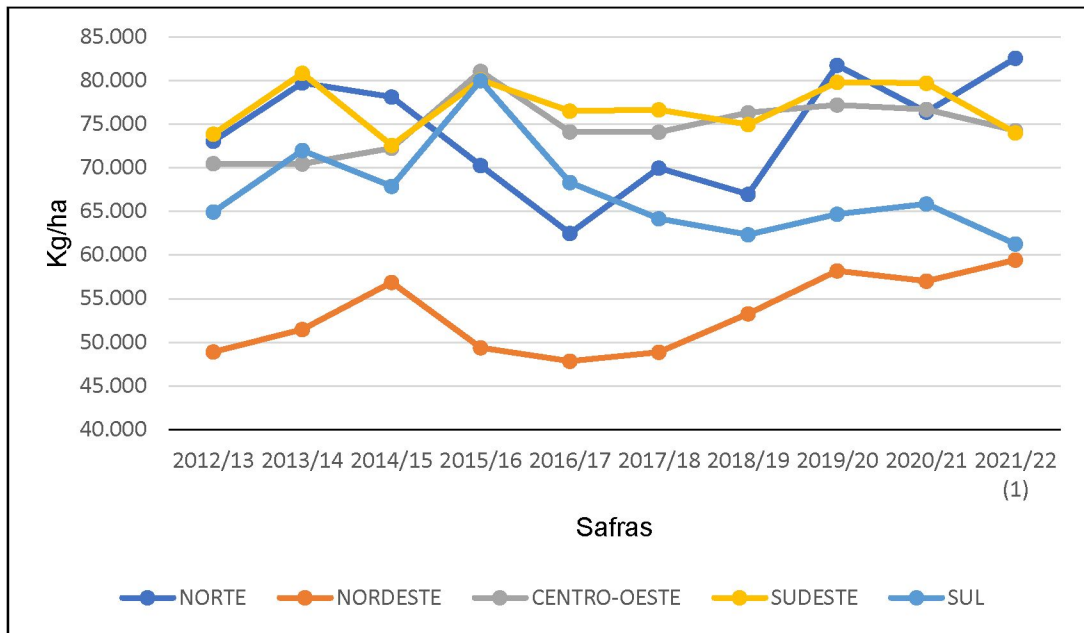
FONTE: Elaboração própria a partir de CONAB (2013 a 2021).

(1) Estimativa

Outro aspecto importante da produção é a produtividade. De acordo com Silva e Silva (2012), a produtividade de uma lavoura é influenciada por fatores abióticos, incluindo clima, solo, relevo (que são condições espaciais/locacionais) e por bióticos (espécie da planta, cuidados com pragas, adubação e irrigação, época e tipo de colheita), além de fatores operacionais ligados ao tipo de colheita, se mecanizada ou manual, e logísticos.

O Acompanhamento da CONAB traz um histórico da produtividade, medida em quilograma de cana-de-açúcar produzida por hectare, no país. Os dados do GRÁFICO 2 mostram que a produtividade é entre 20% e 50% (dependendo do ano) superior nas regiões sudeste, sul e centro-oeste, em comparação com as regiões norte e nordeste. Porém, desta última região, se destaca o estado da Bahia, com produtividade por vezes maior que São Paulo, especialmente nos anos mais recentes. Os valores observados nas regiões sul e sudeste refletem, em algumas safras recentes, os baixos índices de pluviosidade e os grandes períodos de estiagem.

GRÁFICO 2 – PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR – GRANDES REGIÕES – BRASIL – 2012/13 a 2021/22



FONTE: Elaboração própria a partir de CONAB (2013 a 2021).

(1) Estimativa em ago/21

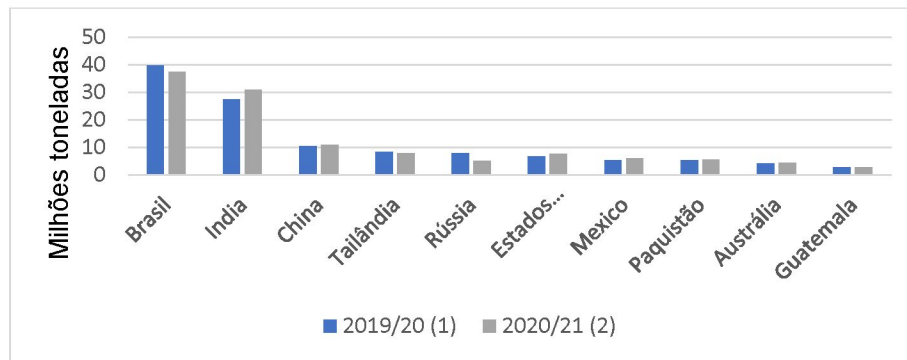
Portanto, a localização geográfica influencia na produção e produtividade da cana-de-açúcar e conseqüentemente, no montante de produto que é processado e transformado em açúcar, álcoois e energia elétrica. Neste sentido, um estudo socioeconômico sobre essa atividade deve considerar as questões espaciais.

2.3 A PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOIS

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de açúcar (22% da produção e 48% das exportações) (FAO, 2021). O GRÁFICO 3 demonstra os 10 maiores produtores de açúcar no mundo.

A partir dos dados de variação da produção em diferentes safras e da análise da conjuntura mundial e nacional, pode-se identificar que o principal fator que influencia na produção brasileira de açúcar é o preço no mercado internacional. Isso impacta na escolha do mix açúcar/etanol produzido nas usinas. Por ser uma commodity o preço do açúcar é dado pela relação entre a oferta e demanda mundial.

GRÁFICO 3 – PRODUÇÃO MUNDIAL DE AÇÚCAR – 2019/20 a 2020/21



FONTE: Elaboração própria a partir de FAO (2021).

(1) Estimativa em jun/21

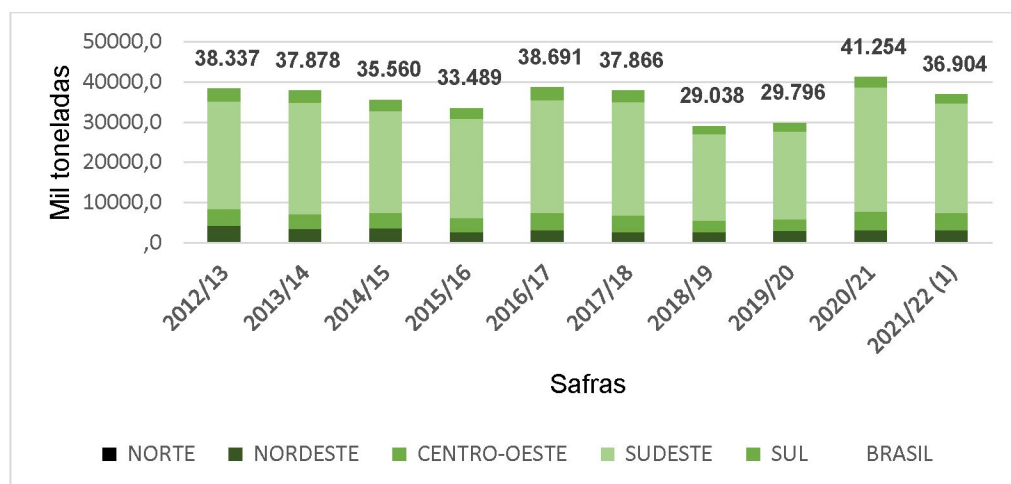
(2) Previsão em jun/21

No início do ano de 2020, a menor oferta de açúcar da Índia e da Tailândia, ocasionada por fatores climáticos e de restrição de subsídios governamentais, fez a cotação mundial subir. A desvalorização da moeda brasileira frente ao Dólar beneficiou as exportações brasileiras neste período. Adicionalmente, o isolamento social provocado pela pandemia da COVID-19 e a queda do preço do petróleo contribuíram para redução do preço do etanol nacional. Esse conjunto de fatores provocou um deslocamento importante da produção nas usinas para o açúcar, mais atrativo naquele momento (KRETER et al., 2021).

De acordo com a CONAB (2021), na safra 2020/21 o Brasil produziu 41,2 milhões de toneladas de açúcar.

GRÁFICO 4 ilustra a evolução da produção de açúcar, por região.

GRÁFICO 4 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR – GRANDES REGIÕES – (mil toneladas) 2012/13 a 2021/22



FONTE: Elaboração própria a partir de CONAB (2013 a 2021).

(1) Estimativa em ago/21

A região Centro-Sul foi responsável por mais de 91% do total produzido nacionalmente. Os estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Paraná e Alagoas são os maiores produtores. A TABELA 2 traz a comparação das safras 2019/20 e 2020/21, por estados.

TABELA 2 – PRODUÇÃO DE AÇÚCAR, POR ESTADOS E GRANDES REGIÕES – 2019/20 a 2020/21

REGIÃO/UF	AÇÚCAR (Em mil t)			
	Safr 2019/20	Safr 2020/21	Variação	
			Absoluta	%
NORTE	67,9	61,9	(6,1)	(8,9)
RR	-	-	-	-
RO	-	-	-	-
AC	-	-	-	-
AM	12,3	11,0	(1,4)	(11,1)
AP	-	-	-	-
PA	55,6	50,9	(4,7)	(8,5)
TO	-	-	-	-
NORDESTE	2.841,1	2.974,7	133,7	4,7
MA	23,3	15,0	(8,3)	(35,8)
PI	84,0	81,7	(2,3)	(2,7)
CE	-	-	-	-
RN	137,4	173,6	36,2	26,4
PB	141,1	143,8	2,7	1,9
PE	860,4	872,9	12,4	1,4
AL	1.394,1	1.436,1	42,0	3,0
SE	82,2	117,6	35,4	43,1
BA	118,6	134,2	15,5	13,1
CENTRO-OESTE	2.917,5	4.651,0	1.733,6	59,4
MT	404,9	484,4	79,5	19,6
MS	730,7	1.847,5	1.116,8	152,8
GO	1.781,8	2.319,1	537,2	30,2
DF	-	-	-	-
SUDESTE	21.771,8	30.947,5	9.175,6	42,1
MG	3.192,7	4.714,9	1.522,2	47,7
ES	137,6	137,2	(0,4)	(0,3)
RJ	4,4	8,2	3,9	89,0
SP	18.437,2	26.087,1	7.650,0	41,5
SUL	2.197,4	2.619,2	421,8	19,2
PR	2.197,4	2.619,2	421,8	19,2
SC	-	-	-	-
RS	-	-	-	-
NORTE/NORDESTE	2.909,0	3.036,6	127,6	4,4
CENTRO-SUL	26.886,7	38.217,7	11.331,0	42,1
BRASIL	29.795,7	41.254,3	11.458,6	38,5

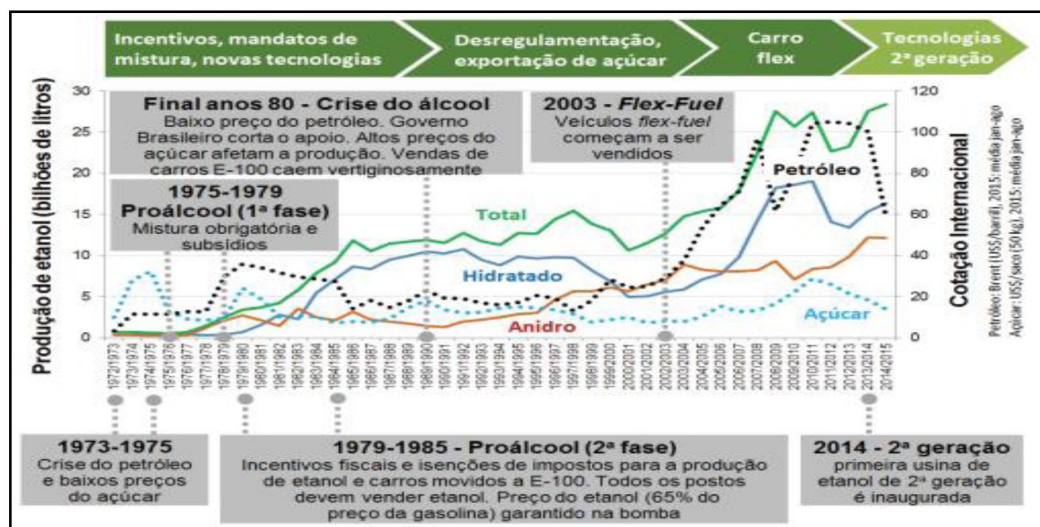
FONTE: Elaboração própria a partir de CONAB (2021).

Do lado da produção de etanol, o primeiro choque do petróleo, em 1973, fez o preço do barril do petróleo subir 300% em apenas 5 meses (COPERSUCAR, 2017). O governo brasileiro da época, motivado pelas circunstâncias econômicas e de segurança energética e, ainda pela crise que atravessava o setor açucareiro, criou o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) (BRASIL, 1975). Essa ação governamental, a pesquisa universitária e a iniciativa privada, todos a favor do Proálcool, representaram um marco no processo de desenvolvimento econômico e social no Brasil (CORTEZ; CRUZ, 2016).

Considerado na época o maior programa de energia renovável do mundo, o Proálcool modificou a imagem da cana-de-açúcar, até então ligada a um modelo arcaico de desenvolvimento do período colonial. O programa teve como destaque o estudo “Fotossíntese como Fonte Energética”, de 1974 que, segundo Cortez e Cruz (2016), tinha como ideia central “ampliar o uso de etanol combustível para substituir a gasolina automotiva”.

A história da produção de etanol no Brasil é formada por ciclos, por diversos motivos houve períodos de enfraquecimento da utilização deste combustível que antecederam períodos de elevada produção e consumo. Mas pode-se destacar o desenvolvimento da tecnologia dos veículos *flex fuel* como fator importante para a constituição atual da produção de etanol e do setor sucroenergético (SHIKIDA, 1998). A FIGURA 2 resume as fases do Proálcool de 1972 a 2015, demonstrando ao longo das safras as produções de etanol e açúcar e a cotação internacional do petróleo.

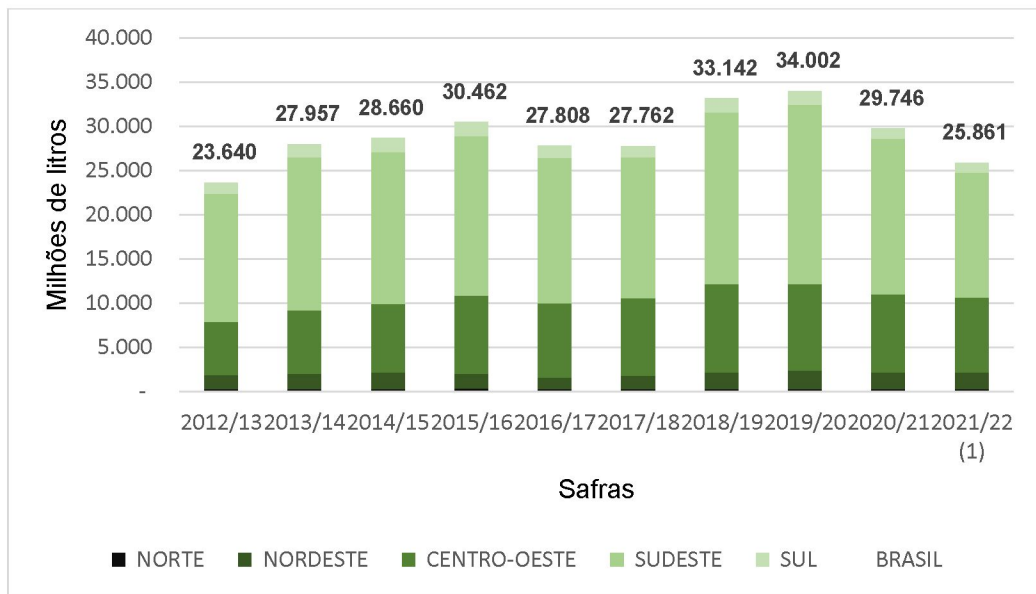
FIGURA 2 – FASES DO PROÁLCOOL 1972-2015



FONTE: CORTEZ, 2016, com dados de Datagro, Ipea, Investing, IBGE, UNICA

Na safra 2020/21 o Brasil produziu 32,8 bilhões de litros de etanol total (CONAB, 2021), proveniente da cana-de-açúcar (91%) e do milho (9%). Em termos de produção de etanol apenas da cana-de-açúcar, o total de 29,7 bilhões de litros foi produzido, majoritariamente (93%) na região Centro-Sul sendo São Paulo com 48,4% do total nacional, Goiás com 16%, Minas Gerais com 10,3% e Mato Grosso do Sul com 9,6%. O GRÁFICO 5 apresenta a evolução da produção de etanol, em milhões de litros, por região.

GRÁFICO 5 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL TOTAL A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR – BRASIL (milhões de litros) – 2012/13 a 2021/22



FONTE: Elaboração própria a partir de CONAB (2013 a 2021).

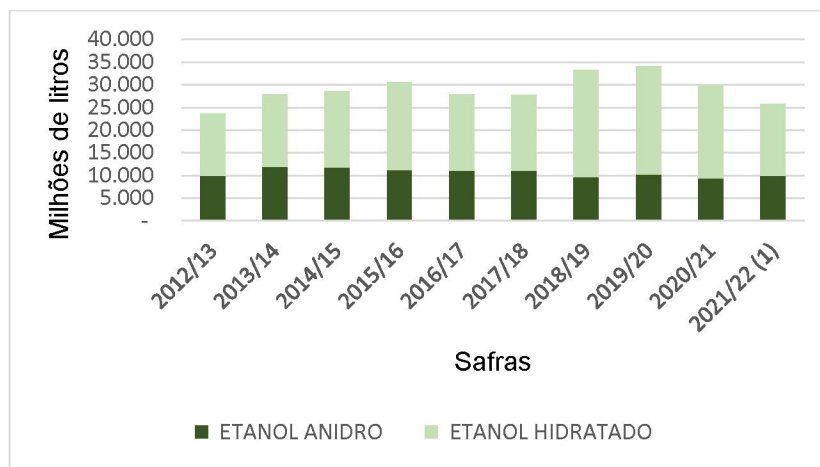
(1) Estimativa em ago/21

Na primeira fase do Proálcool (1975-1979), o álcool produzido em destilarias anexas às usinas de açúcar era do tipo “anidro”, ou seja, desidratado, o que permitia a mistura com a gasolina. De acordo com a Resolução ANP nº 19/2015, Etanol Anidro Combustível (EAC) é o etanol combustível⁴ destinado à mistura na Gasolina A para formulação da Gasolina C. O EAC deve possuir teor alcoólico de no mínimo 99,3%, em massa (ANP, 2015).

⁴ A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) traz, na Resolução nº 19 de 2015 a definição de Etanol Combustível como sendo o biocombustível proveniente do processo fermentativo de biomassa renovável, destinado ao uso em motores a combustão interna, e possui como principal componente o etanol, o qual é especificado sob as formas de Etanol Anidro Combustível (EAC) e Etanol Hidratado Combustível (EHC).

A mistura tem por objetivos baratear o combustível, aumentar sua octanagem e reduzir a emissão de poluentes (Portal NovaCana, 2021). Atualmente, conforme ANP (2020) e Petrobrás (2021), o teor de EAC adicionado à Gasolina A Comum é de 27% e à Gasolina A Premium, de 25%. Em 2020/21 a produção brasileira foi de 20,4 bilhões de litros de Etanol Hidratado e 9,3 bilhões de litros de Etanol Anidro (ambos da cana-de-açúcar). O GRÁFICO 6 traz o histórico de produção nacional de EAC e EHC.

GRÁFICO 6 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL ANIDRO E HIDRATADO A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR – BRASIL – 2012/13 a 2021/2022



FONTE: Elaboração própria a partir de CONAB (2013 a 2021).

(1) Estimativa em ago/21

Um destaque é a evolução das pesquisas e produção de Etanol de 2ª Geração. Este biocombustível, também chamado de bioetanol, E2G ou etanol celulósico pode ser produzido a partir dos subprodutos do etanol convencional, como o bagaço e a palha, bem como, a partir de outros resíduos vegetais, como a beterraba, trigo e milho (FINEP, 2021). O processo chamado de hidrólise enzimática consiste na extração e fermentação dos açúcares adicionais destes resíduos por meio da quebra das fibras lignocelulósicas, utilizando-se ácidos ou enzimas específicas. Como na planta da cana-de-açúcar mais da metade dos açúcares estão contidos no bagaço e na palha (BNDES, 2016), é possível produzir até 50% mais etanol, a partir do caldo hidrolisado (LORENZI et al., 2019).

Atualmente vislumbra-se uma mudança de paradigma, no qual a cana-de-açúcar era produzida “apenas” como insumo para açúcar e etanol convencional e o bagaço residual para produção de energia elétrica. Portanto, haveria uma migração do atual modelo para um outro, baseado em novos processos e cultivares de cana-

de-açúcar. Como exemplo deste esforço, cita-se a cana-energia, um conjunto de variedades geneticamente modificadas, desenvolvido com a finalidade de maximizar a produtividade e o aproveitamento da sua energia primária, para fabricação de biocombustíveis, bioquímicos e energia renovável (NOVACANA, 2015), em detrimento à produção de açúcar, pois a cana-energia possui menor ATR⁵.

2.4 A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO SETOR SUCROENERGÉTICO

As usinas de cana-de-açúcar têm suas necessidades de energia térmica, mecânica e elétrica atendidas pela cogeração da biomassa residual. A cogeração é o processo de transformação de uma forma de energia em outras formas de energia mais úteis (ODDONE, 2001). Numa usina sucroenergética, a energia química contida no bagaço e palha da cana é convertida em energia térmica, mecânica e elétrica. A queima do bagaço em caldeira produz vapor e calor. O vapor é utilizado para acionar turbinas para produção de energia elétrica e para fornecer energia mecânica a picadores, desfibradores, ternos de moendas e outros equipamentos. O calor é utilizado para o tratamento e evaporação do caldo e na destilação do etanol (NOVACANA, 2021).

Destaca-se que dois terços da energia da cana-de-açúcar estão contidos no bagaço, palhas e ponteiros. Porém, de acordo com Goldemberg, Nigro e Coelho (2008), até o final dos anos 1990, o bagaço da cana era considerado um resíduo indesejável pelo setor, e era queimado de forma ineficiente ou comercializado de maneira limitada. Até então, a energia necessária ao processo era fornecida pela queima de lenha.

A partir da década de 1990, houve a busca pela autossuficiência na geração interna de energia elétrica nas usinas, incentivadas pelo aumento do custo da energia elétrica e avanços tecnológicos na fabricação de caldeiras (CAMARGO et al., 1990). Já a comercialização do excedente de energia elétrica gerada ocorreu a partir da crise

⁵ Açúcar Total Recuperável (ATR) é a soma total dos açúcares presentes na cana que serão convertidos em açúcar e álcool. É o indicador de medição da qualidade da cana.

elétrica brasileira, no início dos anos 2000, favorecida pelo PROINFA⁶ e pelos leilões de energia do governo federal, passando então a ter uma utilização mais racional para a biomassa residual (NOVACANA, 2021; PELLEGRINI e OLIVEIRA JUNIOR, 2011).

O processo de cogeração de energia nas usinas sucroenergéticas geralmente ocorre a partir do Ciclo Rankine, na qual a energia térmica, produzida pela queima do bagaço na caldeira, é transferida para a água que vaporiza e superaquece. O vapor superaquecido e em alta pressão é expandido numa turbina que aciona um gerador elétrico. Então, o vapor, que perdeu energia, é extraído da turbina nas condições de temperatura e pressão requeridas para o processo industrial e, após seu uso, retorna à caldeira na forma condensada para reiniciar o ciclo térmico (CARVALHO, 2015).

Atualmente está em curso um ciclo de modernização no setor, especialmente em busca por maiores eficiências do processo industrial e sistemas de cogeração, bem como o aproveitamento dos demais subprodutos para geração de outros produtos, inclusive energéticos. Dentre estes processos tem-se o *Retrofit* que consiste em: implantação de caldeiras de maiores níveis de temperatura (520 °C) e pressão (60, 80, 100 bar); na substituição das turbinas de contrapressão por turbinas de condensação ou de múltiplas extrações (ou o acréscimo de turbina específica para a geração de eletricidade); troca do acionamento mecânico de moendas para motores elétricos e conseqüente redução da demanda de vapor; e ajuste de escape de vapor em toda a fábrica (SOUTO et al., 2018).

Adicionalmente, com a proibição de queimadas nas colheitas e avanço na sua mecanização, tem-se verificado um aumento da utilização da palha para queima em conjunto com o bagaço (SOUZA, 2021). Outro aspecto importante se refere à anualização da geração termelétrica. Tradicionalmente, a geração de energia elétrica, a partir do bagaço, ocorre somente no período de safra.

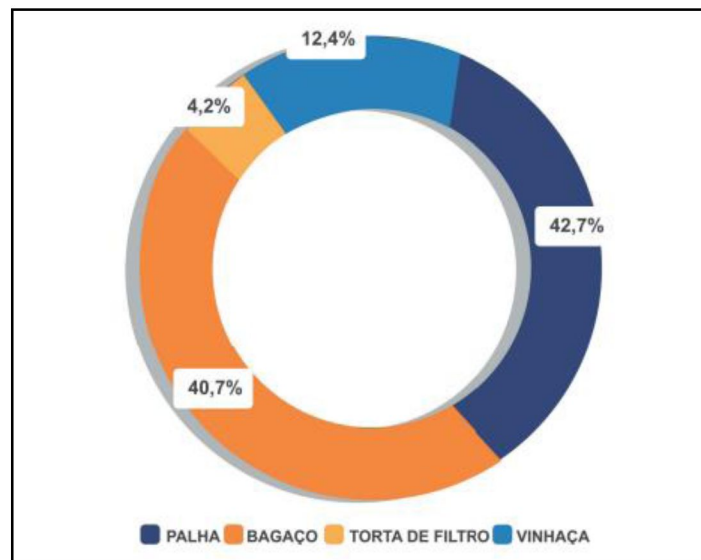
Na região Centro-Sul a safra ocorre de abril a novembro e, nas regiões Norte e Nordeste, de novembro a abril. Porém, com a crescente complementação de palha nas caldeiras e com a modernização do sistema de geração (CARVALHO, 2015), além da proliferação de projetos de geração elétrica a biogás a partir dos demais resíduos (vinhaça e torta de filtro), algumas usinas têm conseguido estocar bagaço

⁶ Proinfa – Programa, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), estabelece a contratação de 3.300 MW de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN), produzidos por fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), sendo 1.100 MW de cada fonte

por mais tempo e, conseqüentemente, gerar energia elétrica praticamente o ano inteiro.

Outra forma de geração de energia no setor sucroenergético é por meio do biogás. O biogás é o gás produzido a partir da degradação de materiais orgânicos tais como resíduos, efluentes orgânicos e outras fontes de biomassa, por meio da digestão anaeróbica, que se realiza em biodigestores e reduz a emissão de gases se comparado com outros usos destes insumos. No setor sucroenergético, podem ser utilizados como matéria-prima a vinhaça, a torta de filtro, palhas, além do bagaço da cana (ABIOGÁS, 2021). A FIGURA 3 demonstra o potencial de produção de biogás por substrato do setor sucroenergético.

FIGURA 3 – POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR SUBSTRATO DO SETOR SUCROENERGÉTICO – BRASIL – 2019/20



FONTE: ABIOGÁS (2020).

Após a conversão biológica dos substratos em biogás, este pode ser utilizado em motogeradores para a geração em energia elétrica, e pode ser queimado junto ao bagaço, ou isoladamente em caldeiras (RODRIGUES, 2011). Em função das características físico-químicas e biológicas do processo de biodigestão anaeróbica, a produção de biogás deve ser projetada e operada visando uma geração estável ao longo de todo ano. Porém, dado o perfil sazonal do setor sucroenergético é necessário o armazenamento, em silos, de parte dos substratos torta de filtro, palha e bagaço.

Isto permite a realização da produção de biogás e a consequente conversão em energia elétrica de forma contínua, com um alto fator de capacidade⁷.

No que diz respeito às plantas produtivas que se utilizam de sistemas de armazenamento de biogás, é possível a modulação e atendimento de energia elétrica em período de alto consumo durante o dia, para despacho imediato. Ademais, considerando o potencial estimado de produção de biogás a partir do setor sucroenergético, o Brasil estaria desperdiçando 81 TWh de energia elétrica por ano, o equivalente a 17% da geração total do país. Dito de outra forma, se todo biogás fosse convertido para biometano, o potencial sucroenergético seria de 31 milhões de Nm³/dia⁸, capaz de atender 35% da demanda nacional de diesel (ABIOGÁS, 2021)

2.5 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E A CONTRIBUIÇÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO

A geração de energia no Brasil se dá majoritariamente a partir da fonte hídrica. De acordo com o Balanço Energético Nacional⁹ 2021, em 2020, a Oferta Interna de Energia atingiu 287,6 Mtep¹⁰, deste total, 48,4% provenientes de fontes renováveis. No mundo, a participação de renováveis é da ordem de aproximadamente 14% (dados de 2018) e, nos países membros da OCDE é aproximadamente 11% (em 2018) (IEA, 2021). A FIGURA 4, a seguir demonstra as fontes de energia no Brasil.

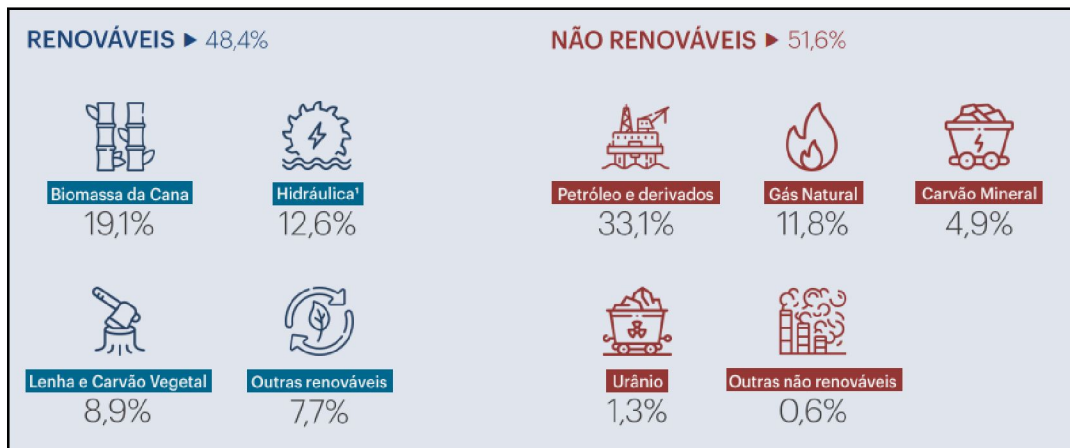
⁷ Fator de Capacidade indica o quanto uma usina efetivamente gera em relação à sua capacidade instalada (ENERGÊS, 2020).

⁸ Em termos comparativos, a capacidade total contratada do Gasoduto Brasil Bolívia - Gasbol, em 2020, era de 30 milhões Nm³/dia.

⁹ O Balanço Energético Nacional - BEN é uma publicação anual da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), empresa pública vinculada ao MME, que documenta e divulga pesquisa e contabilidade relativa à oferta e consumo energético brasileiro.

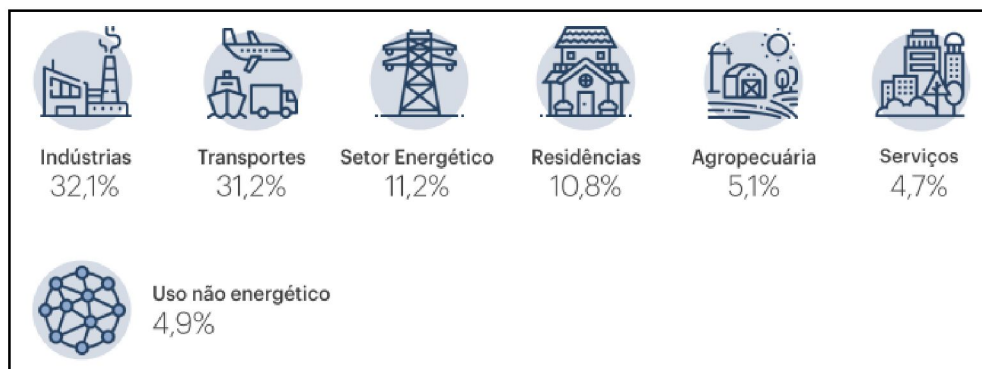
¹⁰ Mtep - Milhões toneladas equivalente de petróleo

FIGURA 4 – REPARTIÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO BRASIL – 2020



FONTE: EPE (2021).

Em termos de consumo, os setores industrial e de transportes representam aproximadamente 63% do total. Este dado revela, em parte, o motivo da matriz energética brasileira não ser ainda mais renovável: o consumo de carvão mineral, gás natural e óleo combustível na indústria e, de óleo diesel, gasolina e querosene de aviação no setor de transporte, representam uma matriz não renovável. Em especial, nos transportes, apenas 25% do consumo foi decorrente de fontes limpas em 2020 (EPE, 2021). A FIGURA 5 traz o consumo energético em 2020, por setor.

FIGURA 5 – USO DA ENERGIA NO BRASIL – 2020¹¹

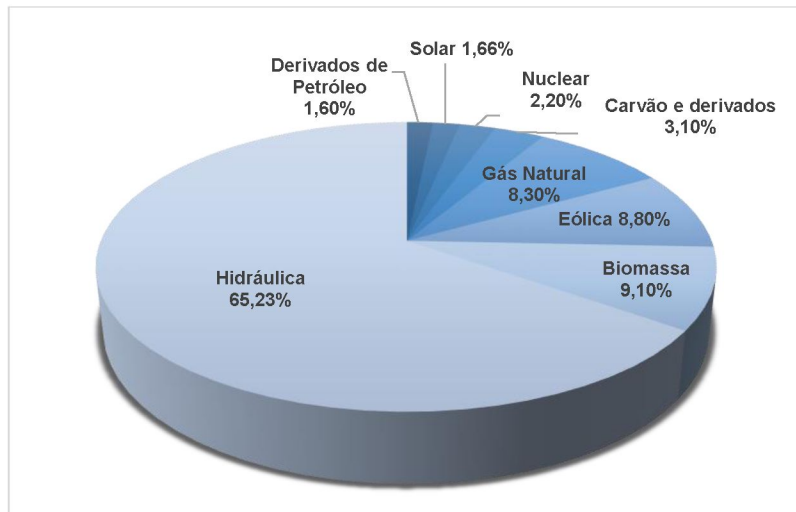
FONTE: EPE (2021).

Com relação a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE), esta foi de 645,6 TWh em 2020 e o país se destaca na produção de eletricidade a partir de fontes renováveis. As condições climáticas e geográficas permitem ao Brasil ter uma das

¹¹ Uso Não Energético considera a utilização dos derivados de petróleo para produção de asfalto, tintas, solventes. Também considera a utilização de gás natural para produção de fertilizantes (EPE, 2021).

matrizes elétricas mais limpas do mundo. Do GRÁFICO 7 infere-se que as fontes renováveis representaram 84,8% da produção total, incluindo a geração por biomassa (inclusive de bagaço de cana-de-açúcar). Em comparação, nos países da OCDE, apenas 27% da energia elétrica é gerada por fontes renováveis e, no restante do mundo, apenas 23% (EPE, 2021).

GRÁFICO 7 – OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE – BRASIL – 2020

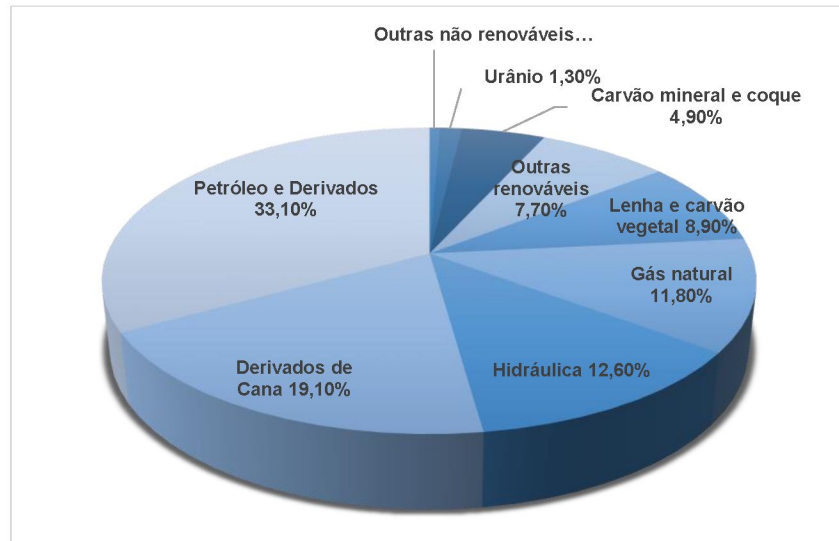


FONTE: Elaboração própria a partir de EPE (2021).

O Balanço também faz uma reflexão quanto à diminuição das emissões atmosféricas de gases causadores do efeito estufa. Em 2020, cada brasileiro emitiu, em média 1,9 t CO₂ eq, o equivalente a 1/7 que um americano emite e 1/3 que um cidadão europeu ou um chinês emitem na produção e consumo de energia (EPE, 2021). Os derivados da cana-de-açúcar destacam-se na matriz energética nacional, representando mais de 19% da Oferta Interna de Energia, GRÁFICO 8, caracterizados pelo açúcar, etanol anidro e hidratado e bagaço.

Da mesma maneira que o etanol representa uma alternativa para os derivados de petróleo, a bioeletricidade a partir dos subprodutos da cana-de-açúcar caracteriza-se como complemento importante na matriz elétrica brasileira (EPE, 2021). Em 2020/21, com o cenário da pior escassez hídrica que o país atravessou em quase um século, na qual os reservatórios das hidrelétricas do Centro-Sul chegaram a menos de 20% da capacidade de armazenamento, a geração de energia elétrica pelo setor sucroenergético foi essencial.

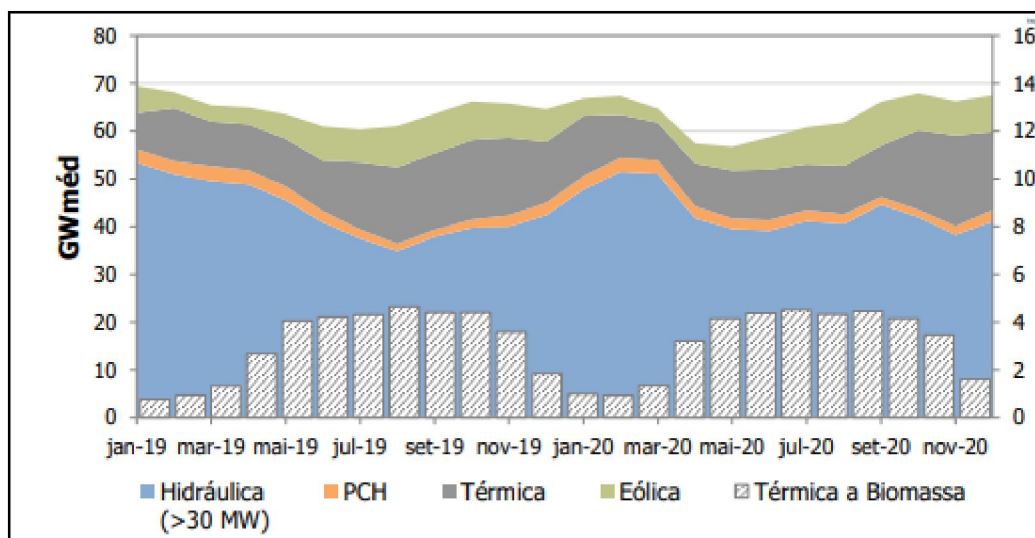
GRÁFICO 8 – DERIVADOS DA CANA NA OFERTA INTERNA DE ENERGIA



FONTE: Elaboração própria a partir de EPE (2021).

Observa-se que a complementaridade à hidroeletricidade (FIGURA 6) é uma característica da cogeração com bagaço de cana, uma vez que o pico de produção nas usinas ocorre justamente no período seco na região Centro-Sul, entre abril e novembro, na qual os reservatórios não conseguem armazenar água. De acordo com a Associação da Indústria de Cogeração de Energia (COGEN), a bioeletricidade da cana-de-açúcar tem funcionado como um seguro, contribuindo, nos últimos anos, com uma economia de 15 pontos percentuais no nível dos reservatórios das hidrelétricas do subsistema Sudeste/Centro-Oeste (DUARTE, 2021).

FIGURA 6 – COMPLEMENTARIDADE DA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA GERAÇÃO ELÉTRICA – BRASIL – 2019/20

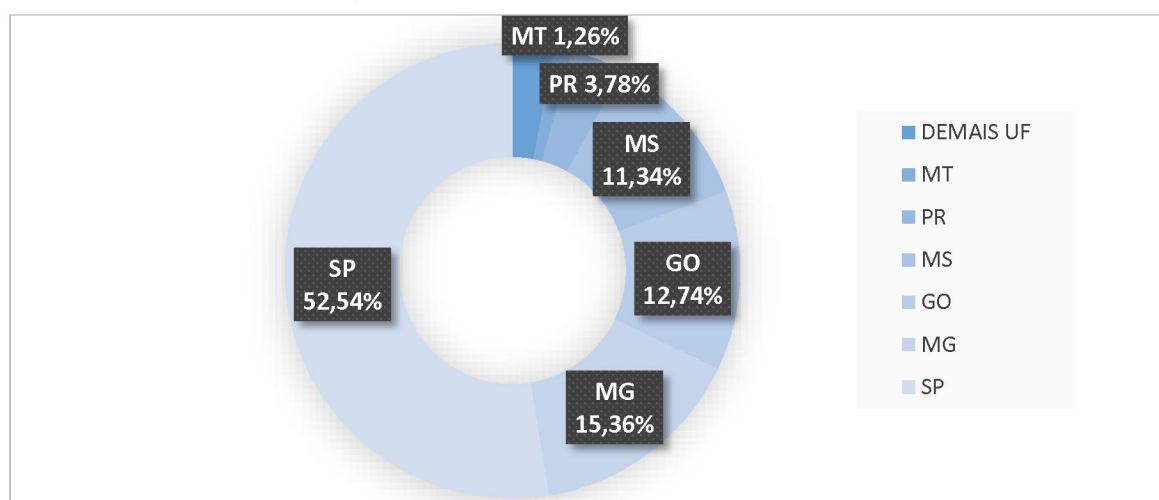


FONTE: EPE (2021).

Em 2020, segundo o BEN (2021), a energia elétrica gerada a partir da cana-de-açúcar foi de 38,8 mil GWh. Já a bioeletricidade sucroenergética exportada para a rede do Sistema Interligado Nacional (SIN)¹², segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2021), foi de 22,6 GWh. Isso representa 82% de toda a bioeletricidade gerada nacionalmente (que inclui também o licor negro, a lenha, o biogás e demais biomassas).

O GRÁFICO 9 apresenta os maiores estados produtores, para o ano de 2020. Destaca-se o Estado de São Paulo como o maior gerador de energia a partir desta fonte com 206 usinas termelétricas (UTES) sucroenergéticas. Isso representa 53% do total produzido no Brasil. Em seguida estão os estados de Minas Gerais, com 15% da geração e 47 UTES, Goiás (13% e 32 UTES), Mato Grosso do Sul (11% e 22 UTES) e Paraná (4% da geração nacional de bioeletricidade da cana-de-açúcar e 27 UTES em operação comercial). Estima-se que a geração de bioeletricidade sucroenergética, em 2020, tenha evitado as emissões de 6,3 milhões de toneladas de CO₂ (UNICA, 2021).

GRÁFICO 9 – PERCENTUAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR, POR ESTADO – BRASIL – 2020.



FONTE: Elaboração própria a partir de UNICA (2021).

¹² Sistema Interligado Nacional é o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil que garante a interconexão dos subsistemas elétricos nacional (Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e parte do Norte), por meio da malha de transmissão e permite a obtenção de ganhos sinérgicos e o atendimento ao mercado com segurança e economicidade.

2.6 OS ENCADEAMENTOS ECONÔMICOS

No passado, as usinas atuavam em toda cadeia de produção. Porém, com o avanço industrial e comercial das atividades sucroenergéticas, as empresas tornaram-se menos verticalizadas. Isso estimulou a expansão de outras atividades econômicas. Paralelamente às principais atividades de produção, observam-se encadeamentos de outros processos complementares que trazem consigo uma série de outras instituições e empresas especializadas, que se beneficiam mutuamente (GARCIA et al., 2015; MOREIRA et al., 2014).

Moreira et al. (2014) estudaram os encadeamentos produtivos do setor sucroenergético por meio de uma nova metodologia, com base na matriz insumo-produto¹³ (MIP) brasileira, com a qual conseguiram separar os efeitos das atividades de açúcar e etanol dentro do próprio setor. Entre outras conclusões, o trabalho revela grande sensibilidade provocada em segmentos não industriais, tal como agrícola e de serviços. Silva et al. (2019), também analisaram a importância da cadeia sucroenergética na economia nacional por meio do método insumo-produto, utilizando-se da abordagem de extração hipotética setorial¹⁴. Os resultados mostraram uma queda de 0,93% do produto total da economia caso a atividade desaparecesse, no período estudado.

Das ligações “para trás”, pode-se exemplificar a produção agrícola, as instituições de pesquisa e empresas que atuam no melhoramento genético de espécies, produção de insumos e defensivos agrícolas para adubação, correção de solo, combate a pragas, produção de sementes e mudas. Muitas indústrias de vários setores tais como metal mecânica, eletrônica, automobilística e de tratores etc., produzem e realizam a manutenção de equipamentos e maquinário para plantio, colheita e transporte de cana-de-açúcar e em máquinas e equipamentos das usinas. Destaca-se também que a produção de cana pode ser própria da usina ou de

¹³ A técnica de insumo-produto “é um modelo linear de produção em que o sistema econômico é representado de maneira simplificada por meio de quadros de fluxos intersetoriais de bens e serviços” (Prado, 1981). De acordo com Leontief: “A análise de Insumo-Produto é uma extensão prática da teoria clássica de interdependência geral que vê a economia total de uma região, país, ou mesmo do mundo todo, como um sistema simples, e parte para descrever e para interpretar a sua operação em termos de relações estruturais básicas observáveis” (Leontief, 1987).

¹⁴ De acordo com Dietzenbacher et al. (1993) e Miller e Blair (2009) o método de extração hipotética consiste em quantificar quanto a produção total de uma economia é afetada se extrair um setor da economia, na análise insumo-produto.

terceiros, parceiros agrícolas situados nas redondezas e dependentes das usinas (MOREIRA et al., 2014).

Ainda no setor industrial, diversos são os setores influenciados (que são impactados) pela atividade sucroenergética. As empresas de engenharia, de projetos, de construção civil, mecânica e elétrica atuam desde a concepção, implantação, operação e manutenção de equipamentos. As indústrias químicas fornecem uma grande quantidade de insumos para os processos produtivos nas usinas.

Olhando sob a perspectiva das ligações “para frente”, as atividades financeiras, jurídicas, contábeis, consultorias e outras científicas e técnicas são implicadas pela produção sucroalcooleira (MOREIRA et al., 2014). A comercialização dos produtos do setor sucroenergético também propicia encadeamentos em setores expressivos em produção, emprego e renda, que geram impactos em toda economia nacional (Silva et al., 2019).

Mais especificamente, como produtos gerados pela usina, cita-se o açúcar bruto, VHP (*Very High Polarization*), menos úmido e que é o principal açúcar exportado para outros países. Este produto também é destinado ao refino e utilizado como matéria-prima para outros produtos. Além deste, tem-se o açúcar cristal, refinado, demerara, mascavo, orgânico, light, de confeitiro, líquido e invertido. A utilização destes açúcares pode ser encontrada nas indústrias alimentícia, farmacêutica e de bebidas (MACHADO, 2012). Similar ao açúcar, existe a produção de melado e rapadura, produzidos desde o período colonial, porém atualmente, em menor escala (RODRIGUES e ROSS, 2020).

Como segundo produto mais importante do setor sucroenergético, o etanol tem utilidade para as indústrias química, alimentícia, de bebidas, farmacêutica e de cosméticos, mas principalmente como combustível, nas versões anidro, hidratado e etanol de segunda geração (ANP, 2015; NOVACANA, 2021; LORENZI et al., 2019). Tem-se ainda a energia elétrica produzida que uma vez na rede de distribuição serve às indústrias, residências e empresas de serviços. Portanto, tem impacto em diversos setores da economia.

2.7 POLÍTICAS PARA CLUSTERS

A discussão sobre *cluster* se tornou popular entre acadêmicos e agentes políticos sob o argumento de que a concentração de atividades do mesmo setor

promove o aumento da competitividade e desenvolvimento regional (SCHMIDT, 2020). Porter (1998) definiu *cluster* como uma concentração geográfica de empresas e instituições interconectadas em torno de um mesmo segmento, incluindo desenvolvedores de tecnologias, comércio, universidades e governo local. (PORTER, 1998).

Leite e Awad (2012) completam que *clusters* são estruturas econômicas nas quais fornecedores de componentes, maquinários e serviços utilizam-se de uma infraestrutura especializada. Ademais, contam com a presença de instituições de ensino, pesquisa e suporte técnico, além do amparo de ações governamentais, que auxiliam seu desenvolvimento na forma de incentivos e programas diversos (LEITE; AWAD, 2012).

Porter (1998) também destaca que, embora a estruturação de um *cluster* seja natural, o seu fortalecimento é papel do governo, por meio de políticas de incentivos que vão desde a criação de infraestrutura até o fomento de especialização técnica de trabalhadores. Aquino e Bresciani (2005) resumem que os *clusters*:

Promovem a competitividade das empresas locais, por meio da cooperação para o desenvolvimento e do compartilhamento de inovações nas tecnologias de produção, dos ganhos de produtividade, bem como, no compartilhamento da infraestrutura comum, na capacitação da força de trabalho local e na promoção comercial. (AQUINO; BRESCIANI, 2005, p. 159).

De acordo com Faustino (2013) entre os fatores críticos necessários para a estruturação de *clusters*, o poder público, por meio de políticas públicas, pode assumir papel de impulsor de *clusters*. Exemplos de instrumentos seriam a eliminação barreiras fiscais e jurídicas e a criação de vantagens fiscais e de infraestrutura.

Schmidt (2020) complementa que o desenvolvimento econômico de um *cluster* depende da organização de uma agenda política que visa o desenvolvimento, respeitando as especificidades de cada região e estabelecendo metas e estratégias de curto e longo prazo. Dentre as ações, o autor destaca os “incentivos econômicos, capacitações, aprimoramento da infraestrutura pública”, bem como “ações institucionais coordenadas para organizar os agentes econômicos” (SCHMIDT, 2020).

Kimura Junior et al. (2018) analisaram as empresas do ramo eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus sob o olhar conceitual dos clusters. Para os autores, quando há interesse no incentivo ao emprego e desenvolvimento de uma região, o

poder público deve formular políticas públicas para a formação de *clusters*. Ademais, e baseados em Porter (1998) e Andersson et al (2004), os autores argumentam que os governos devem propiciar um ambiente estruturado para o desenvolvimento de cluster. Isto traz “aumento de sua competitividade e obtenção de vantagens que seriam mais difíceis de se conseguir se (as empresas) estivessem isoladas”. Neste sentido, os governos podem estabelecer “mudanças regulatórias” e “políticas fiscais específicas” (KIMURA JUNIOR et al, 2018).

As políticas públicas para *clusters* podem ser sustentadas nos princípios básicos de Porter (2009), quais sejam, evitar o favorecimento de empresa específica, exceto para “lacunas tecnológicas ou de mercado”; “a abordagem integradora dos clusters como política econômica federal”; implantação de “programas econômicos federais em todo o cluster”; a designação *cluster* como critério de qualificação aos investimentos “privados coletivos” (KIMURA JUNIOR et al., 2018).

Barros (2002) examinou ideias históricas sobre as políticas de promoção de *clusters*. Segundo o autor essas políticas se basearam tanto em fundamentos de fontes liberais, nas quais o empresariado, individualmente, detém a condição de definir e promover o desenvolvimento econômico, bem como, nas ideias da “doutrina nacionalista”, na qual o Estado, promovendo o bem-estar social coletivo, favorece o avanço econômico. Neste sentido, o autor defende uma política colaborativa entre agentes públicos e privados e traz como exemplo a colaboração entre os produtores de soja do oeste da Bahia e o governo baiano, para melhorar as estradas rurais de escoamento da produção. Barros (2002) também trouxe como exemplo de “relações cooperativas entre ações do setor público e privado” os “milagres econômicos” pós segunda guerra de países como Japão, Alemanha, Coréia do Sul e outros.

Ainda de acordo com Barros (2002), as políticas para o fomento de clusters têm como objetivos viabilizar investimentos em infraestrutura, recursos humanos e tecnologia, atrair novos empreendedores, facilitar a comunicação e promover a cooperação entre os agentes relacionados. Outro benefício pode ser a facilitação da disponibilidade de crédito (BARROS, 2002).

Mendes (2019) investigou os fatores e condicionantes para a estruturação do Porto Digital como um *cluster*, em Recife, Pernambuco. Listando uma série de dispositivos legais relacionados a políticas públicas, o autor exemplifica os esforços dos governos estadual e municipal em criar vantagens na estruturação do *cluster*. De forma genérica, as políticas públicas voltadas ao *cluster* devem viabilizar

investimentos em recursos humanos, tecnologia e infraestrutura econômica. Também deve facilitar a prestação de serviços financeiros e o fluxo de informações dentro do *cluster* e atrair novos empreendedores para integrar o aglomerado (MENDES, 2019).

Também utilizando como estudo de caso o Porto Digital, Silva e Andrade (2017) analisaram o papel do Estado no fomento de políticas públicas de comunicação e cultura de indução de indústrias criativas. Ressaltando o modelo de hélice tríplice, com articulação entre empresas, Estado e academia e, ilustrando com mecanismos legais, os autores demonstraram as políticas públicas para implementação e evolução do cluster Porto Digital em Parque Tecnológico.

Schimidt (2020) estudou as políticas públicas estruturadas para o *cluster* vinícola da Serra Gaúcha. Neste caso, as políticas públicas são responsáveis pela “infraestrutura compartilhada pelas empresas, pela capacitação e qualificação da mão de obra, circulação do conhecimento, pelo acesso a recursos financeiros, pesquisa pública e representação institucional.” Como resultado do estudo, o autor identificou a necessidade de políticas públicas para qualificação de mão de obra, incentivos através da criação de eventos, ações de marketing e proteção de marcas territoriais, criação de linhas de financiamento específicas bem como revisão da alta tributação ao setor.

Gerolamo et al. (2008) exploraram o processo de desenvolvimento de *clusters* na Europa, especificamente na região de Berlim-Brandemburgo, e as possibilidades de adaptação à realidade brasileira. Para os autores, os *clusters* poder atuar como alavanca para o desenvolvimento sustentável e o poder público tem papel de facilitador de políticas para que os *clusters* “melhorem seu desempenho e tornem-se redes inovativas ou sistemas inovativos locais”.

Ainda segundo Gerolamo et al (2008), dentre as políticas públicas identificadas nos *clusters* europeus estão infraestrutura de base, suporte para treinamento e pesquisa e apoio financeiro para projetos. Como possível adaptação ao Brasil, destacam que as políticas devem ser direcionadas para as especificidades de cada *cluster*/região, buscando reduzir possíveis barreiras ao seu desenvolvimento. Adicionalmente, os governos devem oferecer instrumentos para promover a rede de cooperação, estimular o foco em inovação e fomentar financiamentos específicos. Em resumo, buscar “diretrizes estratégicas e investimentos em educação, pesquisa, projetos e infraestrutura de gestão” (GEROLAMO et al., 2008).

2.7.1 POLÍTICAS PARA *CLUSTERS* DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Políticas federais e regionais de clusterização de empresas e projetos de energias renováveis têm sido propostas como forma de promover o desenvolvimento econômico de regiões e setores (JAEGERSBERG; URE, 2011). No setor energético, o conhecimento da estrutura de mercado e a identificação das aglomerações podem auxiliar investidores e orientar políticas públicas (COELHO JUNIOR et al, 2021).

Benedek, Cristea e Bartók (2013) avaliaram as iniciativas de desenvolvimento da região noroeste da Romênia com ênfase em *clusters* de energias renováveis. Baseado em um estudo de caso do *cluster* de energia geotérmica no norte da Transilvânia, os autores sugerem uma série de políticas públicas e iniciativas como medidas para confirmar a ideia de que a geração descentralizada de energia renovável em *clusters* pode contribuir para o desenvolvimento regional, a coesão territorial e a criação de renda e oportunidades de empregos.

Poggi, Firmino e Amado (2018) propuseram a estruturação de *clusters* municipais de bioenergia por meio do aproveitamento da biomassa florestal para a produção de energia renovável e a mitigação do risco de incêndios florestais em Portugal. Os autores revisam alguns conceitos como biomassa, bioenergia e apresentam um exemplo exploratório de *cluster* municipal, para o município de Pampilhosa da Serra. Baseando-se na definição de Porter (2000), sugerem a “cooperação entre municípios contíguos com gestão e intervenção num mesmo tipo de território”, visando a limpeza e o recolhimento de resíduos florestais para produção de energia renovável numa central de biomassa e contribuindo para a diminuição do risco de incêndios florestais.

Jesus (2021) propôs um modelo de localização de biodigestor anaeróbico na agroindústria mediante criação de *clusters* de parcerias estratégicas para geração de bioenergia. O estudo fundamenta-se na escolha da localização ideal do biodigestor, que pode determinar a viabilidade de sua implantação. Isto porque a biomassa se encontra espacialmente dispersa, além da influência de outros aspectos técnicos e socioambientais. O trabalho consistiu em escolher a melhor localização do biodigestor por meio da aplicação de um método de clusterização, considerando como substrato os dejetos animais de trinta propriedades abrangidos por uma cooperativa no estado do Paraná. Como resultado e, considerando as características como o potencial de

produção de biogás e a distância de gasoduto, rodovias e hidrografia, o modelo proposto decidiu pela criação de dois *clusters*.

Alvarez et al. (2020) estudaram a gestão do conhecimento no *cluster* de energia solar de Arequipa, no Peru. Adotando como metodologia a aplicação de questionário às empresas do *cluster*, constataram as dificuldades e limitações para o aperfeiçoamento do *cluster*. Ao fim do artigo, sugeriram uma proposta de política de ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento do *cluster*.

Ainda referente ao setor de energia solar, Jaegersberg e Ure (2011) destacaram as lacunas e entraves encarados pelas pequenas e médias empresas de cinco *clusters* em diferentes fases de desenvolvimento: dois em fase inicial (Portugal e EUA), dois *clusters* em fase de crescimento (Espanha e Itália) e um *cluster* desenvolvido (Alemanha). Entre as dificuldades, os autores destacaram barreiras de comunicação entre as empresas do *cluster* e os formuladores de políticas, as universidades, ou centros de formação de mão de obra.

Coelho Junior et al. (2021) analisaram a concentração e os conglomerados de termelétricas a licor negro no Brasil, em 2018. Os autores justificaram a importância do trabalho como auxílio a investidores e para orientar políticas públicas. Para avaliar a concentração industrial, foram utilizados Medidores de Concentração e Desigualdade, entre eles o Coeficiente de Gini e, para análise espacial da conglomeração, a estatística de varredura *scan*. Como resultados, identificaram quatro conglomerados e verificaram que a região Sul do país apresenta o maior número e potência instalada de usinas termelétricas a licor negro.

Coelho Junior et al. (2020) realizaram trabalho similar, considerando a concentração e distribuição espacial das termelétricas de biomassa florestal no Brasil, em 2018. Constataram que a maioria das usinas termelétricas com base florestal estão localizadas no centro-sul do país e concluem que o artigo pode auxiliar os processos decisórios da indústria e ajudar a orientar políticas públicas para o desenvolvimento da bioeletricidade florestal no Brasil.

Barbosa (2018) buscou identificar alternativas de parcerias estratégicas, para a geração de bioenergia, entre propriedades rurais criadoras de bovinos e suínos na região de Castro, Paraná. Para tanto, se baseou na criação de cenários de parcerias por meio do agrupamento das variáveis consumo de energia, potencial de geração de bioenergia e localização das propriedades. O método para a clusterização dos dados

foram o *Elbow*, para identificação do número de clusters, e o algoritmo *k-means*, baseado no Sistema de Informação Geográfica (SIG), para criação dos cenários.

Grigoras e Scarlatache (2015) realizaram uma avaliação do potencial de energia renovável na Romênia, por meio do método de clusterização de dados. Utilizando o algoritmo *k-means*, mapearam em zonas os dados de capacidade instalada, nível de tensão, tipo de fonte renovável e localização geográfica. Destacaram que esse mapeamento pode ser útil para a modernização de linhas de transmissão e distribuição de energia e *retrofit* de subestações, facilitando o planejamento e desenvolvimento das redes elétricas na Romênia.

Laasasenaho et al. (2019) desenvolveram um modelo para encontrar a melhor localização de usinas de bioenergia de biogás e um terminal de madeira, na área rural da Finlândia, baseada na minimização da distância do transporte da biomassa. A localização ideal das usinas de biogás foi determinada utilizando um algoritmo de *cluster* hierárquico via Software R® e, dos terminais de madeira, por meio da análise de densidade de *kernel* pelo software ArcGIS. Os resultados mostraram que as ferramentas usadas no estudo são confiáveis e podem auxiliar tomadores de decisão e desenvolvedores de negócios a planejar a localização de futuras usinas de bioenergia.

Ma et al. (2005) estudaram a melhor localização de usinas de bioenergia a partir da digestão anaeróbica de dejetos de gado leiteiro de clusters de fazendas na região de Tompkins, estado de Nova Iorque. Para tanto, utilizaram o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), baseado em Sistema de Informação Geográfica (SIG). Como resultados, indicaram que a viabilidade econômica e técnica de uma usina de bioenergia se daria com um rebanho de no mínimo 400 vacas e a área de estudo teria potencial para 20 usinas.

Kaundinya et al. (2013) também propuseram uma abordagem para selecionar a quantidade, a melhor localização e determinar a potência instalada de usinas descentralizadas de bioenergia a biomassa, no meio rural. O estudo buscou encontrar a melhor localização dentro de um *cluster* de 2700 vilas do distrito de Tumkur, na Índia, combinando a potência instalada necessária com a demanda de energia local e os menores custos de transporte da biomassa e de distribuição de energia. Como metodologia, foi utilizado o algoritmo PAM (*partitioning around the medoid*), baseado em SIG. Como conclusão o artigo trouxe que o principal custo para produção de bioenergia é o custo de transporte da biomassa até a usina. Por isso a importância de

se verificar a melhor localização. Também concluem que o método utilizado foi efetivo neste sentido.

2.8 DESAFIOS E OPORTUNIDADES VISLUMBRADAS COM A GERAÇÃO DE NOVOS PRODUTOS

Tendo em vista que este trabalho se propõe a analisar os resultados da metodologia de clusterização das usinas geradoras de energia a partir da biomassa residual do setor sucroenergético, vislumbra-se que o agrupamento das usinas pode contribuir para a solução de alguns problemas do setor. Nos parágrafos seguintes, exemplificam-se alguns desses desafios.

No que diz respeito ao cultivo da planta, alguns desafios podem ser listados, entre eles a sensibilidade a intempéries climáticas, com chuvas elevadas alternando com períodos de seca, que provocam redução da quantidade e qualidade da cana produzida. Períodos de seca persistente podem causar perdas de soqueiras, falhas de brotação e atrasos no desenvolvimento fisiológico da cana (NEVES; TROMBIN [coord.], 2014).

Ainda no aspecto agrônomo, a não renovação e consequente envelhecimento dos canaviais, em função da falta de recursos, associado a plantios feitos em solos pobres e não corrigidos agronomicamente, também causam redução de produtividade. O desconhecimento sobre o controle de novas pragas também é um desafio. Além disso, o caráter perecível da cana de açúcar exige o tempo decorrido entre a colheita e o processamento não exceda 24 horas, evitando que ocorra decomposição bioquímica ou contaminação (SILVA; CASTRO; FERNANDES, 2018).

Relativamente aos aspectos tecnológicos, citam-se o pouco uso de biotecnologia e o desenvolvimento incipiente de culturas de cana-de-açúcar transgênicas. Além disso, a aplicação de práticas padronizadas, que não consideram as diferenças regionais e a falta de modernização do parque industrial, que ocasiona aumento nos custos de manutenção e perda de eficiência na utilização dos insumos para produção de açúcar e álcool e para a geração de energia elétrica. Adicionalmente, a falta de investimento em tecnologias para o aproveitamento dos subprodutos dos processos industriais e agrícolas também se configura como uma dificuldade. (NEVES; TROMBIN [coord.], 2014).

Em termos de gestão, cita-se a falta de compartilhamento de ativos e de informações relativas às boas práticas de gestão, entre as usinas; as dificuldades de integração entre o setor industrial e de produção agrícola; a predileção a práticas tradicionais e pouca assimilação de novas tecnologias; a falta de planejamento das safras na usina; a comunicação deficiente de informações gerada no setor produtivo. Ainda, com relação à comunicação e marketing, o setor não divulga de forma efetiva os benefícios ambientais gerados pela cana-de-açúcar e seus produtos (NEVES; TROMBIN [coord.], 2014).

Sob o aspecto financeiro, o aumento dos custos de arrendamento de áreas agricultáveis, de insumos, de equipamentos e de mão de obra, além do desperdício com custos em transporte pela não integração entre usinas oneram os produtos finais. Ademais, diversas usinas se encontram em processo de recuperação judicial ou com alto nível de endividamento inibindo investimento em capacitação de mão-de-obra, inovação tecnológica e pesquisa aplicada (MILANEZ; SOUZA; MANCUSO, 2017).

A clusterização das usinas produtoras também pode facilitar o aproveitamento econômico dos subprodutos do processamento da cana-de-açúcar para, além da geração de energia elétrica e produção de açúcar e etanol, incentivar a criação de outros produtos e processos. Nas seções seguintes exemplificam-se algumas dessas oportunidades vislumbradas a partir do aproveitamento racional dos recursos sucroenergéticos.

Destaca-se que a produção de açúcar, álcoois e a geração de energia elétrica e térmica a partir do bagaço e do biogás já foram abordados em capítulos anteriores. Importante apenas reforçar que, de acordo com Castro, Dantas e Brandão (2010), há potencialidade para ampliação da geração de eletricidade e calor a partir da modernização das usinas existentes, bem como da utilização da palha da cana como combustível.

2.8.1 Biometano

Biometano é o biocombustível gasoso constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do biogás (ANP, 2015). Conforme abordado anteriormente, numa usina sucroenergética o biogás pode ser obtido a partir da digestão anaeróbica dos resíduos vinhaça, torta de filtro, bagaço e palha. O biogás passa então por equipamentos para retirada de umidade, do sulfeto de hidrogênio (H₂S) e do dióxido

de carbono (CO₂). Então, o gás rico em metano e intercambiável ao gás natural, pode ser injetado na rede de gás natural ou distribuído na forma de Gás Natural Comprimido (GNC) ou Gás Natural Liquefeito (GNL). Pode ser armazenado e utilizado como combustível veicular, ou ainda substituindo o diesel da frota de veículos pesados e maquinários agrícolas do próprio setor sucroenergético (ABIOGÁS, 2022). De acordo com Bermudo Neto (2021), no Brasil, a cada tonelada de cana processada, o setor utiliza 2,26 L de diesel, apenas em colhedoras e caminhões de transbordo.

Considerando a realidade do transporte de cargas e passageiros no Brasil, essencialmente rodoviário, a utilização de biometano, em substituição aos combustíveis fósseis, é estratégica para a redução das emissões de GEEs e descarbonização deste setor. Uma aglomeração de usinas e todo o encadeamento econômico associado poderiam se beneficiar da aplicação do biometano como combustível para rotas logísticas agroindustriais e para implementação de corredores sustentáveis. Indústrias, comércio e veículos de transporte leves e pesados poderiam ser abastecidos em hub estrategicamente posicionados, sendo o biometano fornecido pelo *cluster* de usinas. Ademais, as cidades próximas também seriam afetadas positivamente com a melhoria da qualidade do ar (ABIOGÁS, 2022).

Além do aspecto ambiental, um atributo importante é o econômico. De acordo com a ABIOGÁS (2022), além da matéria-prima local, atualmente, cerca de 90% do maquinário necessário para produção e aplicação do biogás e biometano são produzidos no país. Além de estimular e valorizar a indústria local, com a utilização de equipamentos produzidos nacionalmente, isto traz previsibilidade na estrutura de custos, uma vez que os preços são negociados em moeda nacional e corrigidos por índices também nacionais, como o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). Isto representa mais uma vantagem em relação ao diesel e ao gás natural, importados, expostos a variações de preços em mercados internacionais e ao câmbio (ABIOGÁS, 2022).

Outro atributo relevante do biometano é no âmbito social. Segundo publicação da European Biogas Association (EBA) (2022) para cada 1 MW de potência instalada de produção de biogás, são criados 7 empregos permanentes. Este fator pode promover o estímulo à pesquisa, inovação e capacitação, além do desenvolvimento de emprego e renda e maior inclusão social em áreas rurais e no interior do país, locais onde as usinas estão localizadas.

2.8.2 Biofertilizante como uso final do digestato

Atualmente, a maioria das usinas de álcool do Brasil utiliza a vinhaça “in natura” para a fertirrigação da cana plantada. Contudo, Marafon et al. (2020) alertam para possíveis danos ambientais pelas suas características (alta carga de matéria orgânica e acidez) e pelo uso excessivo da vinhaça aplicada diretamente no solo, como contaminação do lençol freático, salinização do solo, mal cheiro e emissão de gases de efeito estufa como o óxido nitroso (300 vezes mais nocivo que o CO₂). Adicionalmente, por seu grande volume, acarreta grandes custos operacionais e de transporte da vinhaça para áreas cada vez mais distantes das usinas (MARAFON et al., 2020).

Como visto anteriormente, na usina sucroenergética, a vinhaça, bem como outros resíduos como torta de filtro, bagaço e palha podem ser utilizados como insumos para a digestão anaeróbia. Esta transformação resulta em produtos de maior valor agregado como o biogás e o digestato.

O digestato, se não gerenciado adequadamente e lançado em cursos d’água, pode gerar processos de eutrofização, com impacto negativo ao ambiente hídrico. Então, ele pode ter sua destinação final adequada em aterros sanitários ou destinado à compostagem. Alternativamente, ele pode ser beneficiado agronomicamente e utilizado como biofertilizante na adubação de lavouras e pastagem.

Segundo Gurgel (2012), os biofertilizantes são “compostos bioativos, resíduo da fermentação de compostos orgânicos que contém células vivas ou latentes de microrganismos”. Já a Lei Estadual nº 19.500/2018, que dispõe sobre a Política Paranaense do Biogás e Biometano, atualiza a definição de biofertilizante como:

o produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre todo ou parte das plantas cultivadas, elevando a sua produtividade, sem ter em conta o seu valor hormonal ou estimulante (PARANÁ, 2018).

O biofertilizante resultante da biodigestão dos resíduos sucroenergéticos pode se apresentar nas fases líquida e sólida. A parte líquida pode ser aplicada diretamente nos canais com maior eficiência já que, pelo processo de biodigestão, tem seu volume diminuído, a carga orgânica reduzida, mas o poder de fertilização mantido

(MARAFON et al, 2020). Já a fase sólida, efluente da biodigestão anaeróbia da torta de filtro, palha e bagaço pode ser comercializada com alto agregado, como um substrato com melhor qualidade agronômica. Ressalta-se que, para sua comercialização, o biofertilizante deve cumprir as exigências da Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Ainda sob o aspecto agronômico, Bettiol (1998) cita que, além do efeito nutricional importante, a utilização de biofertilizantes aumenta a resistência das plantas a doenças e pragas, pois apresentam ação fungistática e bacteriostática (BETTIOL, 1998). Sob o enfoque ambiental, a utilização de biofertilizantes gera menos emissões, reduz a produção e importação de fertilizantes químicos, geralmente transportados com o uso de combustíveis fósseis e contribui para a diminuição da disposição de resíduos de forma nociva (FORMANN et al., 2020).

Sob a ótica econômica, a aplicação do digestato como biofertilizante representa, além da redução dos custos operacionais com logística e diminuição da demanda por fertilizantes químicos, oportunidade de ganho econômico por meio da sua comercialização. Ademais, conforme seção específica à frente, a usina que realiza a biodigestão e utiliza o digestato em seu canavial, tem a nota de eficiência energético-ambiental elevada, o que possibilita comercialização de CBIOs em maior quantidade (ABILOGÁS, 2022).

2.8.3 Biorrefinarias

Resultado da sua evolução econômica, social, cultural e tecnológica, o setor sucroenergético vem sendo caracterizado, ao longo do tempo, de diferentes formas. Desde a era colonial, quando tinha por objetivo apenas a produção do açúcar para a Europa, o setor açucareiro foi um esteio da economia brasileira. Com o desenvolvimento do etanol, instigado pelo Proálcool, o setor sucroalcooleiro serviu de alicerce durante as crises do petróleo. Já, num passado recente e, motivado pelo desenvolvimento sustentável, otimização de processo e preocupação com o clima, o setor recebeu a alcunha de sucroenergético. Na atualidade, presencia-se uma nova transformação tecnológica no setor sucroenergético, com o aproveitamento sistematizado de todos os subprodutos industriais, desenvolvimento de novas

tecnologias, espécies de cana e produtos de alto valor agregado e a transformação das usinas em biorrefinarias (FORMANN et al., 2020).

Além da grande contribuição ao meio ambiente, esta transformação tem objetivos econômicos. Nas biorrefinarias, por diferentes rotas tecnológicas, a conversão de biomassa e biogás pode ser integrada para produzir uma grande variedade de produtos nobres e rentáveis tais como: biocombustíveis; bioenergia; biomateriais; e bioquímicos (RODRIGUES, 2011).

Essas rotas se tornam viáveis pelas conversões químicas, como hidrólise ácida, transesterificação e reforma catalítica da biomassa lignocelulósica, do etanol ou do biogás. Adicionalmente, por processos bioquímicos, como digestão anaeróbica e conversão enzimática; pelas transformações termoquímicas, como a pirólise e gaseificação; ou por processos físicos, como destilação (SANTOS et al., 2020) é possível produzir produtos químicos ditos verdes, baseados em cadeias de valor similares às aquelas dos derivados do petróleo, mas utilizando-se de biomassas e resíduos como insumos.

Como exemplos de produtos oriundos de biorrefinarias, pode-se citar os químicos de alta tonelagem, da química fina e utilizados na indústria farmacêutica; ácidos orgânicos; biomateriais; polímeros (plástico verde) e resinas; papel; alimentos e ração animal; fertilizantes. Também se enquadram neste conceito outros derivados como produtos energéticos, entre eles, os líquidos (bioetanol, biodiesel, biocombustíveis-FT, bio-óleo), os sólidos (biocarvão, pellet, lignina) e os gasosos (biogás, biometano, gás de síntese e hidrogênio) (RODRIGUES, 2011).

Este último merece destaque. Atualmente, no mundo, o hidrogênio é produzido, em sua grande maioria, a partir do gás natural e do carvão, que são combustíveis fósseis. Mas está em curso uma grande mudança de paradigma, qual seja, a produção do hidrogênio verde, baseada em dois processos principais: um, pela eletrólise da água utilizando-se fontes renováveis de energia para o processo; outro, a partir das reformas químicas catalíticas de biomassas, biogás e do etanol. Hefner III (2007) descreve que o mundo migrou dos combustíveis sólidos para os líquidos e, destes, para os gasosos e que caminha para uma economia baseada em hidrogênio, o mais puro dos combustíveis.

No contexto em que o papel da eletrificação de transportes e mobilidade é crescente, pela razão dos motores elétricos serem mais eficientes e limpos que os de combustão interna, acredita-se que o hidrogênio verde, e o etanol como intermediário,

serão protagonistas nesta transformação. Neste aspecto de transição para mobilidade totalmente eletrificada, com armazenamento da energia em baterias, a utilização de veículos híbridos ou aqueles dotados de células a combustível, será fundamental (PORTAL HIDROGÊNIO VERDE, 2021).

Ademais, quando se leva em consideração a análise de ciclo de vida de baterias e veículos elétricos, o hidrogênio produzido por biorrefinarias, bem como pela transformação direta do etanol, será essencial na economia moderna (PORTAL HIDROGÊNIO VERDE, 2021). Adicionalmente, o aprimoramento das diversas rotas tecnológicas Power to X (PtX), em que o hidrogênio verde produzido a partir de fontes de energia elétrica renováveis tem sua aplicação final para a produção de combustíveis, químicos, calor e energia, se configura como excelente oportunidade para maior valorização da energia excedente que pode ser gerada no setor sucroenergético (DAIYAN, MACGIL, AMAL, 2020).

2.8.4 Dióxido de Carbono

Atualmente, a cadeia de fornecimento industrial de dióxido de carbono (CO_2) é baseada em sua maioria na queima de combustíveis fósseis (carvão, gás natural, óleo combustível) e na gaseificação de combustíveis sólidos como o carvão ou xisto. Adicionalmente, o CO_2 pode ser obtido pela separação em processos petroquímicos e químicos, como do gás de síntese, ou ainda, via extração de reservas geológicas (ESPOSITO et al., 2019).

Numa usina de cana-de-açúcar, o CO_2 pode ser produzido majoritariamente em três etapas, quais sejam, a partir da transformação do mosto pela fermentação em álcool, pela captura do efluente de caldeira e a partir do refino do biogás em biometano. Nas dornas de fermentação, por ação de leveduras, ocorre a oxidação anaeróbica parcial da glicose e frutose em álcool etílico e gás carbônico (SILVA, 2012). Para cada litro de etanol produzido, são gerados 380 L de CO_2 (NIGRI et al., 2011).

Já no refino do biogás, é produzido biometano, CO_2 e outros gases (SOUZA et al., 2019). O reaproveitamento de CO_2 antropogênico, como de processos industriais, minimiza a emissão dele à atmosfera e reduz a necessidade da extração de depósitos naturais, promovendo economia circular (ESPOSITO et al., 2019).

Diversos são os usos do CO₂, diretamente ou convertido em outros produtos, nos setores químico, farmacêutico, alimentício, de bebidas, de saúde, meio ambiente, papel e celulose, de eletrônicos, indústria de metais e outros (SONG, 2006). Como exemplos, o dióxido de carbono pode ser convertido em carbonatos e, destes, em moléculas orgânicas mais complexas como poliuretano e poliestireno (SAKAKURA, CHOI, YASUDA, 2007); também na reação com amônia para produção de ureia para alimentação animal e conversão em fertilizantes (SONG, 2006); como matéria prima para produção de combustíveis (KONDRATENKO et al., 2013); e como insumo para produção de polímeros plásticos e policarbonato verde (JANSEN et al., 1999).

Outras aplicações do CO₂ são para carbonatação de refrigerantes, cervejas e água mineral; como agente conservante em embalagens de alimentos. Ainda na área industrial, aplica-se a injeção de CO₂ para Recuperação Avançada de Petróleo, em soldas MIG e MAG, como agente extintor de incêndio, para o tratamento de água e efluentes líquidos e diversos outros (GUMIEIRO; SILVA, 2015).

Destaque para a produção, em fábricas anexas às usinas Coopcana e Cooperval, no Paraná, de bicarbonato de sódio e de amônio “verde”. Os sais produzidos nestas unidades utilizam o CO₂ das dornas de fermentação e do efluente da caldeira (PACHECO; SILVA, 2008).

Adicionalmente, outro uso importante do dióxido de carbono é para aumentar a produtividade de alimentos em estufas de ambiente controlado. A Holanda é o segundo maior exportador de alimentos do mundo, em termos de valor monetário, com US\$ 82 bilhões, ou 6% do total mundial (FAO, 2021). Isto é um fato impressionante, considerando que o país possui apenas 0,04% da área agricultável global (VAN GRINSVEN et al., 2019) ou 140 vezes menos área que os Estados Unidos, o primeiro exportador de alimentos do mundo (FAO, 2021).

Entretanto, Van Grinsven et al. (2019) ressaltam que a classificação por exportações brutas dá uma visão distorcida, já que a Holanda é um grande entreposto de comercialização de alimentos. Grande parte das commodities importadas é quase diretamente reexportada, via porto de Roterdã e aeroporto de Schiphol. Mesmo assim, analisando-se os dados de exportações líquidas de alimentos, em 2019, a Holanda ficou na terceira posição, atrás do Brasil e da Argentina (FAO, 2021).

Viviano (2017) infere que este sucesso pode ser explicado em grande parte pela agricultura de precisão implantada nas estufas de cultura intensiva. Há duas décadas, o país europeu assumiu o compromisso de produzir o dobro de alimentos

com metade dos recursos. Nas estufas com controle climático, nas quais os alimentos crescem 24h por dia graças à luminosidade e temperatura constantes, os holandeses conseguiram reduzir o consumo de água em até 90%, quase eliminar o uso de pesticidas químicos e reduzir em 30% o uso de fertilizantes. E a produtividade deu um salto: o país se tornou o maior exportador mundial de batatas e cebolas e o segundo maior de legumes, em termos de valor. Adicionalmente, possui a maior produtividade do mundo na produção de tomates, pimentas, pepino e outros (VIVIANO, 2017).

2.8.5 Enxofre

O elemento químico enxofre (S) é conhecido e aplicado desde os tempos do homem pré-histórico. Nas condições ambientes, é um sólido amarelo pálido, inodoro, sem sabor, insolúvel em água, quebradiço e mau condutor de eletricidade. Pode ser encontrado como sulfetos, sulfatos e mesmo como enxofre elementar (PEIXOTO, 2004). Quase 90% da produção mundial advém da coprodução de outros produtos primários, especialmente como consequência de processos ambientais para redução da emissão de SO₂ na atmosfera (ALBUQUERQUE, AZAMBUJA e LINS, 2008).

Seus usos são os mais variados, desde reagente para vulcanização da borracha, como insumo para produção de ácidos industriais, pigmentos, explosivos, inseticidas e pesticidas, alvejantes, corantes e outros. Porém seu maior uso é como insumo para fabricação de ácido sulfúrico e, a partir deste, de fertilizantes. No Brasil, 65% da aplicação do enxofre é para produção de fertilizante. Ressalta-se que o Brasil é e sempre foi deficitário na produção de enxofre e fertilizantes (ALBUQUERQUE, AZAMBUJA e LINS, 2008).

Numa usina sucroenergética, quando há aplicação do biogás, seja para produção de energia elétrica, seja para o refino a biometano, deve-se retirar o sulfeto de hidrogênio (H₂S). Este é um gás de mau odor e tóxico (Hendrickson et al., 2004) que causa corrosão nos tanques de armazenamento, tubulações metálicas e motores de combustão (GARCIA-ARRIAGA et al., 2010).

A remoção do H₂S pode ser realizada por diversos processos biológicos, físicos ou químicos. Da Silva e Mezzari (2019) retratam alguns destes processos como dosagem de oxigênio, adição de cloreto de ferro, processos de adsorção e absorção, separação por membranas e processos biológicos de oxidação com bactérias. Após

a remoção, o H₂S pode ser convertido em enxofre elementar e comercializado aos setores citados acima.

2.8.6 Certificados ambientais

No contexto de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), descarbonização e implementação de economia de baixo carbono, atualmente, as organizações utilizam das plataformas Protocolo GHG e CDP para registrar as emissões GEE de suas atividades. Por meio de procedimentos específicos, as empresas declaram suas emissões no âmbito de responsabilidade direta da organização (Escopo 1), de emissões decorrentes da compra de energia elétrica e térmica (Escopo 2) e das emissões da cadeia de fornecedores terceiros (Escopo 3) (LOPES, 2020).

Em cada um dos escopos, diversos instrumentos de flexibilização podem ser utilizados pelas organizações para reduzir a sua “pegada de carbono”. São ações internas diretas, como a mudança de sua matriz energética, bem como mecanismos indiretos de mercado, como a comercialização de ativos ambientais para este fim. Entre estes ativos, destacam-se o Crédito de Carbono, o Certificado de Energias Renováveis (I-REC), o Certificado de Biocombustíveis (CBIO), no âmbito do Programa Renovabio, e Certificado de Gás Renovável (GAS-REC). Os certificados ambientais podem representar ganhos econômicos às usinas, por meio do acesso a mercados exigentes em termos ambientais e ganhos financeiros, pela comercialização de créditos a setores que buscam a descarbonização (FERRACIOLI; JACOMINI, MARQUES, 2013).

2.8.6.1 Créditos de Carbono (RCE)

Os Créditos de Carbono, ou Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), foram criados no âmbito do Protocolo de Kyoto. Eles podem ser usados pelas organizações para compensar ou abater emissões de GEE diretas e indiretas associadas as suas operações (ANDRADE; COSTA, 2008). No Brasil, o Decreto nº 11.075, de 19 de maio de 2022, redefiniu, no seu artigo segundo, o crédito de carbono como “ativo financeiro, ambiental, transferível e representativo de redução ou remoção

de uma tonelada de dióxido de carbono equivalente, que tenha sido reconhecido e emitido como crédito no mercado voluntário ou regulado” (BRASIL, 2022).

Em resumo, o crédito traduz-se na moeda do mercado de carbono, com a qual empresas e países que buscam evitar ou reduzir o impacto das emissões de dióxido de carbono de suas atividades podem compensar e equilibrar o nível de emissões. A compensação se dá por meio da compra de créditos de outros empreendimentos ambientalmente adequados que geram e emitam esses créditos (LOPES, 2020).

2.8.6.2 Certificado de Energias Renováveis (I-REC)

O Certificado de Energia Renovável, ou “Renewable Energy Certificate (REC)” foi criado como um instrumento legal de mercado equivalente a um megawatt hora (MWh) de eletricidade gerado a partir de uma fonte de energia renovável injetado no grid de energia elétrica e pode ser adquirido por um consumidor específico. Em países com sistemas de energia interligados, é impossível rastrear fisicamente a fonte da geração até o consumo. A energia elétrica renovável é injetada na rede com outras fontes, que podem ser renováveis ou não. O REC serve então para atestar a rastreabilidade do atributo ambiental de renovabilidade da energia elétrica (LOPES, 2020).

Neste sentido, os RECs fomentam a produção de energia renovável e são uma fonte de receita extra para geradores. Os certificados podem ser transferidos, comprados, vendidos, retirados ou utilizados pelo consumidor para comprovar que utilizou energia renovável (REC BRAZIL, 2022)

Nos países que não possuem sua própria plataforma, os RECs são regulados pelo sistema de certificação global, da organização sem fins lucrativos International REC Standard (I-REC). Os RECs são emitidos por instituições creditadas, que permitem, de forma confiável, comprovar a origem da energia consumida e o comércio de certificados. No Brasil, o Instituto Totum é o responsável (I-REC STANDARD FOUNDATION, 2022).

2.8.6.3 Certificado de Biocombustíveis (CBIO)

O RenovaBio é a Política Nacional de Biocombustíveis, instituída por meio da Lei nº 13.576/2017 e tem como objetivo promover a expansão de biocombustíveis na

matriz brasileira. A Política visa garantir a previsibilidade do mercado de combustíveis, promovendo a redução de gases do efeito estufa na produção e uso de biocombustíveis, auxiliando o país a cumprir seus compromissos nacionais perante o Acordo de Paris (BRASIL, 2017).

Entre os principais instrumentos do programa estão as metas de redução de emissões de GEE na matriz de combustíveis, que são aplicadas às distribuidoras de combustíveis de acordo com sua participação no mercado de combustíveis fósseis. Outra ferramenta é a Certificação de Produção Eficiente de Biocombustíveis, realizada com base na metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (BRASIL, 2017).

Adicionalmente, outro mecanismo importante do RenovaBio é o Crédito de Descarbonização (CBIO), que é um instrumento derivado da certificação de produção eficiente e comercializado pelo produtor de biocombustível em bolsa de valores. As distribuidoras de combustíveis deverão então adquirir os CBIOs, para comprovar o cumprimento das suas metas individuais compulsórias (BRASIL, 2017).

Em resumo, os produtores de biocombustíveis certificam sua produção e recebem notas de eficiência energético-ambiental que, multiplicadas pelo volume de biocombustível comercializado, resulta na quantidade de CBIOs passíveis de emissão e comercialização em mercado. Um CBIO equivale a uma tonelada de emissões evitadas de CO₂ (BRASIL, 2022).

No contexto das usinas sucroenergéticas, os CBIOs podem ser emitidos diretamente tanto para a produção de etanol como para a de biometano. Ademais, a utilização de biogás e biometano na geração de energia, no processo produtivo em maquinários, como motobombas, e como combustível substituto do diesel na frota própria possibilitam o aumento da nota de eficiência e, conseqüentemente, maior emissão de CBIOs. Adicionalmente, a aplicação do biofertilizante produzido na usina no próprio plantio da cana também contribui para a nota de eficiência (ABIOGÁS, 2022).

2.8.6.4 Certificado de Gás Renovável (GAS-REC)

De forma semelhante ao I-REC, a Certificação GAS-REC rastreia o biogás e o biometano produzidos e distribuídos no Brasil e garante o atributo da renovabilidade do gás consumido, deslocando a mesma unidade de gás natural fóssil. Ou seja, cada

molécula de biogás ou biometano produzido e distribuído pode substituir uma molécula de gás de origem fóssil (LOPES, 2020).

Os certificados GAS-REC emitidos podem ser comercializados separadamente do gás físico, permitindo a determinado consumidor alegar que adquire gás natural renovável. Para os produtores de biogás, além da comercialização da commodity física, há a possibilidade de geração de receita extra com a venda do certificado GAS-REC (LOPES, 2020).

A emissão de certificados ambientais se caracteriza como oportunidade para as usinas sucroenergéticas. Em parte, pela comprovação de atividade de baixo impacto ambiental e reduzida emissão de GEE, em parte pela capacidade de desenvolvimento de novas fontes de receitas, através da comercialização dos certificados a empresas e países que necessitam compensar suas emissões.

2.8.7 Institutos de Inovação e Pesquisa

A pesquisa e inovação no setor sucroenergético brasileiro tem longa trajetória e importância. Desde o aprimoramento genético da planta e da evolução de técnicas agrícolas até a busca pela competitividade do etanol e atendimento aos requisitos das leis ambientais, o desenvolvimento tecnológico é elemento motor do setor (SANTOS, 2016).

Já Silva, Delboni e Gonçalves Filho (2020), identificaram que, nos últimos anos (2014 a 2018), o setor recebeu pesquisas relacionadas aos temas biologia e botânica, mas carece de desenvolvimento de pesquisa em negócios, especialmente nas áreas de Administração, Cadeia de Suprimentos, Logística e, principalmente, sobre o processo produtivo e os negócios-chave da usina sucroenergética.

Como destacado em seções anteriores, diversas são as oportunidades de processos e produtos que poderiam ser aprimorados ou desenvolvidos no setor sucroenergético. A reunião de usinas em *clusters* poderia estimular a implantação de laboratórios e institutos de pesquisa e inovação focados em assuntos específicos do setor. A exemplo dos subprodutos biogás, CO₂ ou enxofre, cada *cluster* teria responsabilidade pelo desenvolvimento de um tema.

Neste aspecto, um exemplo bem-sucedido e que deveria ser replicado a outras áreas do conhecimento é do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Foi implantando em 1969 e conta com laboratórios em Saint Louis, no estado americano

do Missouri, e em Piracicaba (SP), região de alta densidade de produção canavieira. O CTC é líder global em ciência, desenvolvimento e pesquisas que envolvem a cana-de-açúcar, especialmente na área de melhoramento genético, com foco no aumento de produtividade e proteção contra doenças e pragas (CTC, 2022).

Outro exemplo de sucesso é do Centro de Excelência em Recursos Renováveis KoNaRo. Situado na região alemã da Bavária, reúne três instituições de pesquisa, consultoria e financiamento, com objetivo de apoiar o uso sustentável de fontes alternativas de energia e matéria-prima a partir da biomassa. A primeira delas é a Universidade Técnica de Munique Campus Straubing para Biotecnologia e Sustentabilidade (TUMCS – sigla em alemão) que atua na pesquisa básica e ensino acadêmico para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e sua aplicação econômica. A segunda instituição é o Centro de Tecnologia e Suporte (TFZ), ligado ao Ministério da Alimentação, Agricultura e Silvicultura da Bavária, cuja missão é a pesquisa aplicada sobre diferentes espécies de vegetais e seus usos como recurso energético renovável.

Por fim, a terceira instituição que compõe o Centro KoNaRo é a Rede Central de Comercialização de Matérias-Primas Agrícolas e Energia (C.A.R.M.E.N. e.V.), que presta consultoria a empresas, agricultores e consumidores sobre os possíveis usos da biomassa e dos recursos renováveis. Os subprodutos da agricultura e da silvicultura, especialmente a madeira, têm importância histórica nesta região. Desde 2001 o Centro KoNaRo se dedica à pesquisa, desenvolvimento e teste de novas tecnologias e produtos, além da análise e desenvolvimento de mercado (KONARO, 2022).

Adicionalmente, outro modelo alemão é da Organização Fraunhofer-Gesellschaft, que mantém 76 institutos e unidades de pesquisa e conta com mais de 30 mil cientistas e engenheiros. A organização possui um orçamento de pesquisa anual de 2,9 bilhões de euros, sendo cerca de 70% dessa receita derivada de contratos com a indústria e de projetos de pesquisa financiados pelo setor público e 30% advindos dos governos alemães federais e estaduais sob a forma de financiamento de base. Diversos dos Institutos Fraunhofer dedicam pesquisas às transformações da biomassa e culturas energéticas em biocombustíveis e produtos químicos (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT, 2022).

Por fim, Viviano (2017) relata a importância da universidade holandesa Wageningen University & Research (WUR), responsável pelo desenvolvimento de

pesquisa e inovação no Vale dos Alimentos. O Vale dos Alimentos é um agrupamento de empresas tecnológicas inovadoras e explorações agrícolas experimentais e formado em parte pelas estruturas de estufas já descritas na seção sobre o dióxido de carbono. Segundo o autor, a universidade WUR é agente fundamental para o desenvolvimento de pesquisa aplicada com enfoque em negócios. Adicionalmente, desempenha papel similar ao da Universidade de Stanford, no Vale do Silício, na Califórnia, promovendo a interação entre os mundos acadêmico e empresarial (VIVIANO, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Conforme orienta Kauark et al. (2010), a pesquisa pode ser classificada quanto a sua natureza (pesquisa básica ou aplicada) e ao seu propósito ou objetivo (pesquisa descritiva, exploratória ou explicativa). Também, quanto a sua forma de abordagem do assunto (pesquisa quantitativa ou qualitativa) e aos procedimentos e meios utilizados para acessar os dados (experimental, levantamento, modelagem e simulação, estudo de caso).

Em relação a sua natureza, este trabalho possui caráter de pesquisa aplicada, pois busca, a partir da aplicação do método *k-means*, identificar *clusters* de geração de energia a partir da biomassa residual no setor sucroenergético. Quanto à forma de abordagem, trata-se de um estudo quantitativo, pois segundo Turrioni e Mello (2012), traduz as informações do setor sucroenergético em dados, para classificá-los e analisá-los.

A respeito de seu propósito, esta pesquisa se classifica como descritiva, devido à utilização de dados reais do setor, bem como a padronização da coleta desses dados, buscando-se inferir sobre as relações entre variáveis importantes da sociedade e do setor. Do ponto de vista de procedimentos técnicos, a pesquisa utiliza dados e documentos de fonte secundária, bem como tabelas de dados estatísticos do setor sucroenergético e ferramentas para observar a aglomeração das usinas de cana que possuem geração de energia a partir da biomassa residual.

3.2 A ANÁLISE DE *CLUSTERS*

A classificação de objetos similares em grupos é uma atividade importante que sempre está presente na vida das pessoas, como distinguir gatos de cachorros, agrupar frutas do mesmo tipo nas gôndolas do supermercado, ou ainda guardar camiseta com camiseta e meias com meias no guarda-roupa. Também na ciência, tem papel fundamental no agrupamento de espécies de plantas, animais, minerais, elementos químicos, ou na classificação de estrelas, por exemplo, com as mesmas características de luminosidade. Kaufman e Rousseeuw (1990) definem a Análise de

clusters como “a arte de achar grupos nos dados”. Também lembram que a análise de *cluster* pode ser usada não apenas para identificar algo já agrupado, mas também para impor uma estrutura a um conjunto de dados menos similares.

Da mesma forma, Ferreira et al. (2020), descrevem a análise de *clusters* como uma técnica matemática da estatística multivariada que procura agrupar um conjunto de dados em subgrupos homogêneos, denominados agrupamentos. E tem por objetivo evidenciar “estruturas de classificação nos dados do mundo real”.

3.2.1 O método k-means

De acordo com Scaramuzzino et al. (2019) a análise de *clusters* utiliza diversos métodos matemáticos para agrupar objetos que possuam características similares, o que pode facilitar o teste de hipóteses de pesquisa. Dentre as diferentes variações da análise de *cluster*, os autores citam um método de agrupamento não hierárquico chamado k-means e o descrevem como um método “rápido, intuitivo de usar e de fácil interpretação dos resultados”.

Para Murray e Grubestic (2002), o algoritmo *k-means* clássico, creditado a Fisher (1958) e MacQueen (1967), tem como objetivo encontrar um padrão entre dados similares e os agrupar de acordo com a média mais próxima. O método encontra k *clusters* diferentes no conjunto de dados. Ele também é muitas vezes referido como algoritmo de Lloyd (LLOYD, 1982).

O *k-means* é um algoritmo do tipo *unsupervised learning*, o qual exige apenas a posse dos dados e não o conhecimento de que classe cada observação pertence. Tem por objetivo agrupar n observações em k *clusters*, minimizando o momento de inércia de cada agrupamento. Em outros termos, objetiva alocar as observações em *clusters* de modo que a distância dos dados intra-*clusters* seja a menor possível, o que indicaria que esses dados são mais parecidos entre si. O momento de inércia é calculado como a soma do quadrado das distâncias de cada dado ao centro do cluster que ele foi agrupado.

O algoritmo pode ser expresso de acordo com as seguintes etapas (MUTHUKRISHNAN, 2018):

Passo 1: Inicialmente, calcula-se o número de *clusters*.

Passo 2: São definidos aleatoriamente os centróides (centros dos *clusters*).

Passo 3: Na sequência, associa-se cada observação ao centroide mais próximo, a partir do cálculo da distância Euclidiana. A distância Euclidiana entre dois pontos no espaço é dada pela equação 1:

$$d(p, q) = \sqrt{(q_1 - p_1)^2 + (q_2 - p_2)^2} \quad (1)$$

Passo 4: Em seguida, corrige-se a associação de cada ponto ao *cluster* cujo centroide está mais próximo.

Passo 5: Redefine-se o centro de cada *cluster* recém-formado, calculando a média de todos os pontos ligados a cada centroide.

Passo 6: Realiza-se o processo iterativo dos passos 3 ao 5, até que esse valor seja menor que um limite. Em outras palavras, repete-se até que os centroides não se movam significativamente. (ARTHUR; VASSILVITSKII, 2006).

Em termos matemáticos, considera-se uma base de dados com n observações $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, a qual pretende-se agrupar em k *clusters*, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$. Pode-se calcular a inércia do *cluster* C_i pela equação 2:

$$\sum_{x \in C} (\|x - \mu_i\|^2) \quad (2)$$

Na qual i representa o índice do *cluster* que se analisa, μ_i é o centro do *cluster* i e $\|x - \mu_i\|$ é a distância da observação x ao centro do *cluster* i . Em outras palavras, para as observações x que pertencem ao *cluster* C_i , soma-se o quadrado da distância de cada observação até o seu centro (SAMPAIO, 2018).

Este é o cálculo para um *cluster*. Para k *clusters*, tem-se que a soma da inércia de cada *cluster* C_i , com i variando de 1 a k , e a qual o algoritmo busca minimizar, é dada pela equação 3:

$$\sum_{i=1}^k \sum_{x \in C} (\|x - \mu_i\|^2) \quad (3)$$

Quando se tem poucos *clusters*, as diferenças entre eles são grandes. De modo inverso, quando se aumenta a quantidade de agrupamentos, as diferenças

entre eles se tornam pequenas, porém as diferenças das observações intra-*clusters* vão aumentando. É preciso, então, encontrar o equilíbrio para que os *clusters* sejam os mais diferentes possível, mas que as observações de cada *cluster* sejam o mais homogêneas (TEMPORAL, 2019).

Scaramuzzino et al. (2019), amparados por Kaufman e Rousseeuw (1990) ressaltam a importância da escolha das variáveis para a clusterização, uma vez que “uma variável que não contenha nenhuma informação relevante é pior do que inútil, porque torna a clusterização menos aparente”. Outra questão fundamental em clusterização é a possibilidade de definição prévia do número ideal de *cluster* (k) que se deseja agrupar os dados, bem como a análise do resultado final da clusterização (GODOIS, 2018).

3.2.2 O método *Elbow* (Cotovelo)

Para o estabelecimento do número ideal de *clusters*, exigência prévia do *k-means*, foi utilizado o método *Elbow*. Este método heurístico permite, através da análise visual do gráfico *Elbow*, determinar o número apropriado de *clusters* (k).

O método *k-means* calcula a distância das observações até o centróide do *cluster* que elas pertencem, sendo a menor distância possível como ideal. Matematicamente, busca-se uma quantidade de *clusters* em que a soma dos quadrados da distância dos intra-*clusters* (*wcss*, *within-clusters sum of squares*, do inglês) ou a soma dos quadrados dos erros (*SSE*, *sum of squared error*, em inglês) se aproxime de zero (TEMPORAL, 2019).

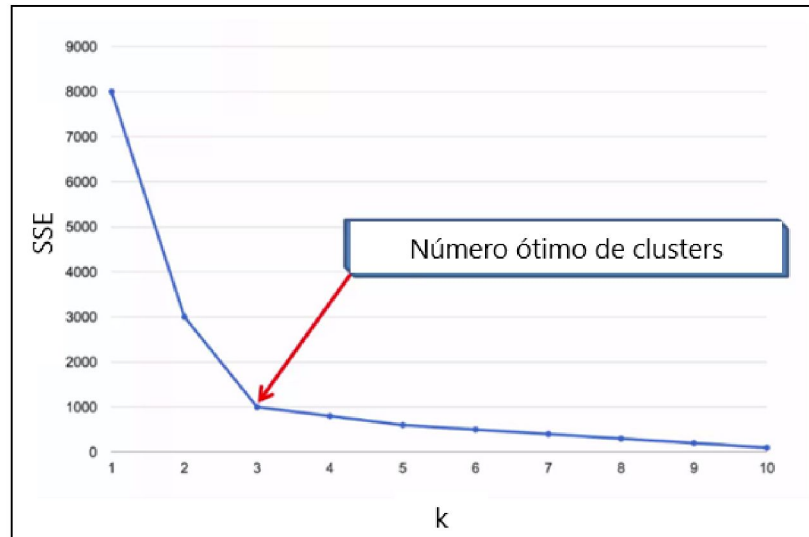
Em resumo, o método calcula a diferença quadrada para diferentes valores de k . À medida que o valor de k aumenta, a soma dos quadrados dos erros (*SSE*)¹⁵ diminui e o valor ideal de k corresponde ao cotovelo (*elbow*, em inglês) da curva *SSE* x k , a partir do qual há pouca variação da *SSE* (CUI, 2020).

Inicialmente, o *Elbow* precisa calcular o *k-means* ao conjunto de observações para um intervalo de *clusters* (1, L) (onde L é um número inteiro maior que 1). Na

¹⁵ A soma dos quadrados dos erros representa a discrepância entre os dados reais, observados e os dados estimados por um modelo. É a parte que as variáveis independentes não conseguem explicar as mudanças da variável dependente.

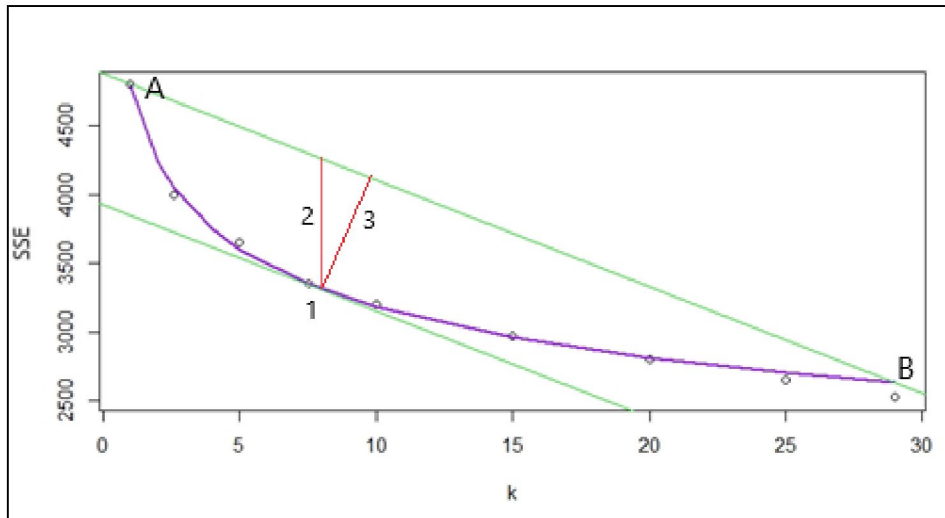
sequência, é calculado a SSE para cada número de *cluster*. Se plotarmos o gráfico do número de *clusters* versus o SSE, tem-se algo como a FIGURA 7.

FIGURA 7 – EXPLICAÇÃO GRÁFICA DO MÉTODO *ELBOW*



FONTE: Elaboração própria, adaptado de Perera (2017).

Então, visualmente, pode-se inferir o número ótimo de *clusters* exatamente no cotovelo do gráfico. Entretanto, quando a curva é bastante suave nem sempre é possível encontrar o *elbow* visualmente (Shi et al., 2021). Neste caso, Soakley (2021) sugere três métodos matemáticos para encontrar o ponto ótimo. Primeiro, deve-se traçar uma reta ligando os pontos extremos da curva SSE x k, segmento de reta AB (FIGURA 8). O primeiro método é traçar uma reta paralela a AB. Onde essa reta paralela tangenciar a curva SSE x k será o número de *k* ideal. O segundo método sugerido é encontrar a maior distância vertical da curva SSE x k ao segmento de reta AB. Este será o *k* ótimo.

FIGURA 8 – ABORDAGENS MATEMÁTICAS DO MÉTODO *ELBOW*

FONTE: Elaboração própria, adaptado de Soakley (2021).

E o terceiro método seria encontrar o ponto na curva SSE x k que possui a maior distância perpendicular à reta AB. Este ponto indica o equilíbrio entre a maior diferença entre *clusters* e a maior homogeneidade intra-cluster. Algebricamente, esta distância (d) pode ser calculada conforme a equação 4.

$$d(A, B, (x, y)) = \frac{\| (y_b - y_a)x - (x_b - x_a)y + x_b y_a - y_b x_a \|}{\sqrt{(y_b - y_a)^2 + (x_b - x_a)^2}} \quad (4)$$

Onde x_a, x_b, y_a, y_b são as coordenadas dos pontos A e B e x e y são as coordenadas dos pontos que se quer calcular a distância à reta.

3.2.3 A análise de *clusters* espaciais

Murray e Grubestic (2002) defendem as técnicas de clusterização como eficazes para encontrar padrões e relações através do espaço e que, embora estudado há décadas, a análise de informações espaciais via abordagens de detecção de *cluster* continua importante. Ademais, a integração de sistemas de informação geográfica (GIS) nas principais ferramentas comerciais de estatística corrobora sua relevância.

Neste trabalho executou-se, inicialmente, a clusterização espacial em nível nacional e para o Estado do Paraná, considerando a localização geográfica dos empreendimentos.

3.2.4 A análise de *clusters* por potência

Buscando um maior aprofundamento da aplicação da metodologia, desenvolveu-se um segundo estudo de clusterização, considerando desta vez considerando também os dados de potência instalada das usinas. Conforme argumenta Albu (1997), o conceito de *cluster* implica em aglomeração, além do simples aspecto de proximidade física, também por sua especialização produtiva e pela existência de uma rede de relacionamentos entre as empresas (ALBU, 1997).

Silvestre e Dalcol (2006) complementam a ideia e expandem para o conceito de Sistemas Tecnológicos de Inovação (STI), nos quais a inovação está focada em tecnologias específicas. Segundo os autores, o conceito de STI deriva das abordagens de Sistema Nacional de Inovação (SNI) e, deste, somado às definições de Porter sobre *cluster* regionais, dos Sistemas Regionais de Inovação (SRI), no qual segundo Cooke (2001), o contexto regional é decisivo para a promoção da inovação.

Silvestre e Dalcol (2006) enfatizam que a abordagem em STI “não considera aspectos relacionados com a territorialidade e proximidade geográfica como uma característica importante” e que pode ser aplicada a qualquer segmentação geográfica (“local, regional ou até mesmo supranacional”).

Neste sentido, a clusterização das usinas de cana por nível de potência se apresenta como interessante ferramenta para análise da inovação tecnológica do setor sucroenergético.

3.3 PERÍODO DE ANÁLISE, ÁREA DE ESTUDO, FONTES DE DADOS E SOFTWARE

Para aplicar o método de clusterização *k-means* foi considerado como período de análise os dados do ano de 2022. As áreas de estudo foram o território nacional e o estado do Paraná. As variáveis incluídas no modelo foram a localização dos empreendimentos, com base nas coordenadas geográficas latitude e longitude, e a potência instalada de cada empreendimento. Estas informações foram coletadas no

banco de dados de empreendimentos outorgados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (ANEEL, 2022). Os dados de latitude e longitude são baseados no sistema de referência geodésico SIRGAS2000, Datum oficial do Brasil (IBGE, 2022).

A metodologia de clusterização via *k-means* foi feita por meio do software QGIS®. A motivação foi a facilidade de aplicação das ferramentas de *cluster* neste software, além do resultado visual mais satisfatório da plotagem dos mapas.

O algoritmo *k-means* foi então implementado a partir do QGIS®, um software de Sistema de Informação Geográfica livre, de código-fonte aberto, que permite a visualização, edição, análise de dados espaciais e criação de mapas com diferentes camadas e para diferentes usos. (QGIS, 2022). Neste trabalho foi utilizada a versão QGIS 3.22.7-'Białowieża'.

Adicionalmente, o QGIS permite a extensão das suas funcionalidades por meio da instalação de *plugins* baseados na linguagem de programação Python. Para a execução das rotinas de *cluster*, foram necessárias as bibliotecas do Python NumPy, para o processamento de array e gerenciamento de matrizes, Sklearn, para implementação dos métodos de agrupamento e classificação, e Matplotlib, com o objetivo de gerar gráficos bidimensionais. A versão utilizada do Python foi a 3.9.5.

Na presente pesquisa, executou-se a clusterização espacial e por potência, baseada nas coordenadas geográficas e nos valores de potência instalada de cada usina. Para a espacial simples, foram utilizados o complemento do QGIS *Attribute based clustering* e a ferramenta de processamento de análise vetorial do QGIS Agrupamento *k-means* (KAZAKOV, 2019).

O complemento *Attribute based clustering* é um plugin para o QGIS, desenvolvido também em Python, por Eduard Kazakov, na sua primeira versão em 2016. Neste trabalho, utilizou-se a versão mais recente, 2.2, de 2021. O plugin permite o agrupamento de dados vetoriais com base em atributos e pode ser personalizado para utilizar duas variações do método *k-means* e duas variações de agrupamento hierárquico. Como resultado, tem-se um novo atributo, para o número do *cluster* informado. O *plugin* dispõe do método *Elbow*, para estimar o número ideal de *clusters*. Por fim, também permite calcular as distâncias de cada objeto aos centróides de cada *cluster* e salvá-los como atributos (QGIS, 2022).

Já para a rotina de agrupamento dos empreendimentos com base na distância e potência instalada das usinas, foi utilizado o complemento ClusterMap com a

ferramenta K-Means Clustering. ClusterMap é um plugin para o ambiente QGIS capaz de realizar a clusterização a partir de um conjunto de variáveis de tipo numérico associadas a objetos georreferenciados. O código do *plugin* foi implementado por Silvano e Correa (2020), na linguagem Python, com base no Processing Framework do QGIS e dispõe dos métodos k-means e hierárquico, além da ferramenta *Elbow* para estimativa do número de *clusters*. O plugin permite a exibição gráfica da distribuição espacial de *clusters* criados com base em variáveis não-espaciais (SILVANO et al., 2020).

As rotinas de cálculo dos agrupamentos por localização geográfica em nível nacional e no Estado do Paraná, bem como da clusterização por potência instalada são apresentadas nos Anexos 1, 2 e 3, respectivamente.

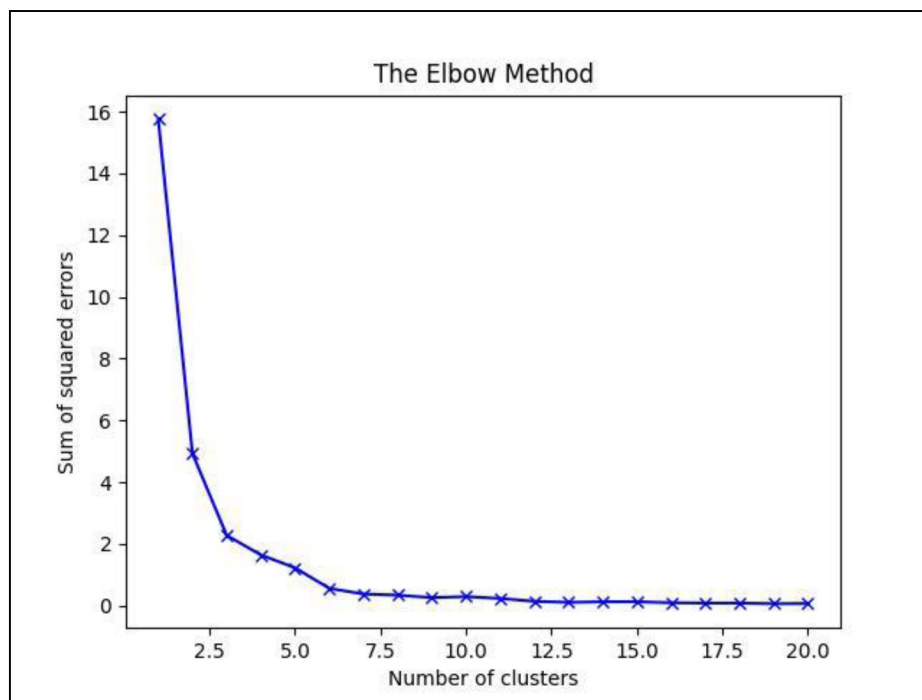
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CLUSTERS ESPACIAIS EM NÍVEL NACIONAL

A partir da execução do software QGIS e seus complementos, elaborados na linguagem de programação Python, foi possível aplicar a metodologia de clusterização aos dados de localização geográfica das usinas sucroenergéticas do Brasil.

Inicialmente, com o auxílio do método *Elbow*, disponível nas ferramentas do QGIS, foi determinado o número ideal de *clusters*. A FIGURA 9 expressa o resultado da análise do número de *cluster*.

FIGURA 9 – MÉTODO *ELBOW* APLICADO À ANÁLISE DE *CLUSTERS* ESPACIAIS, NACIONALMENTE



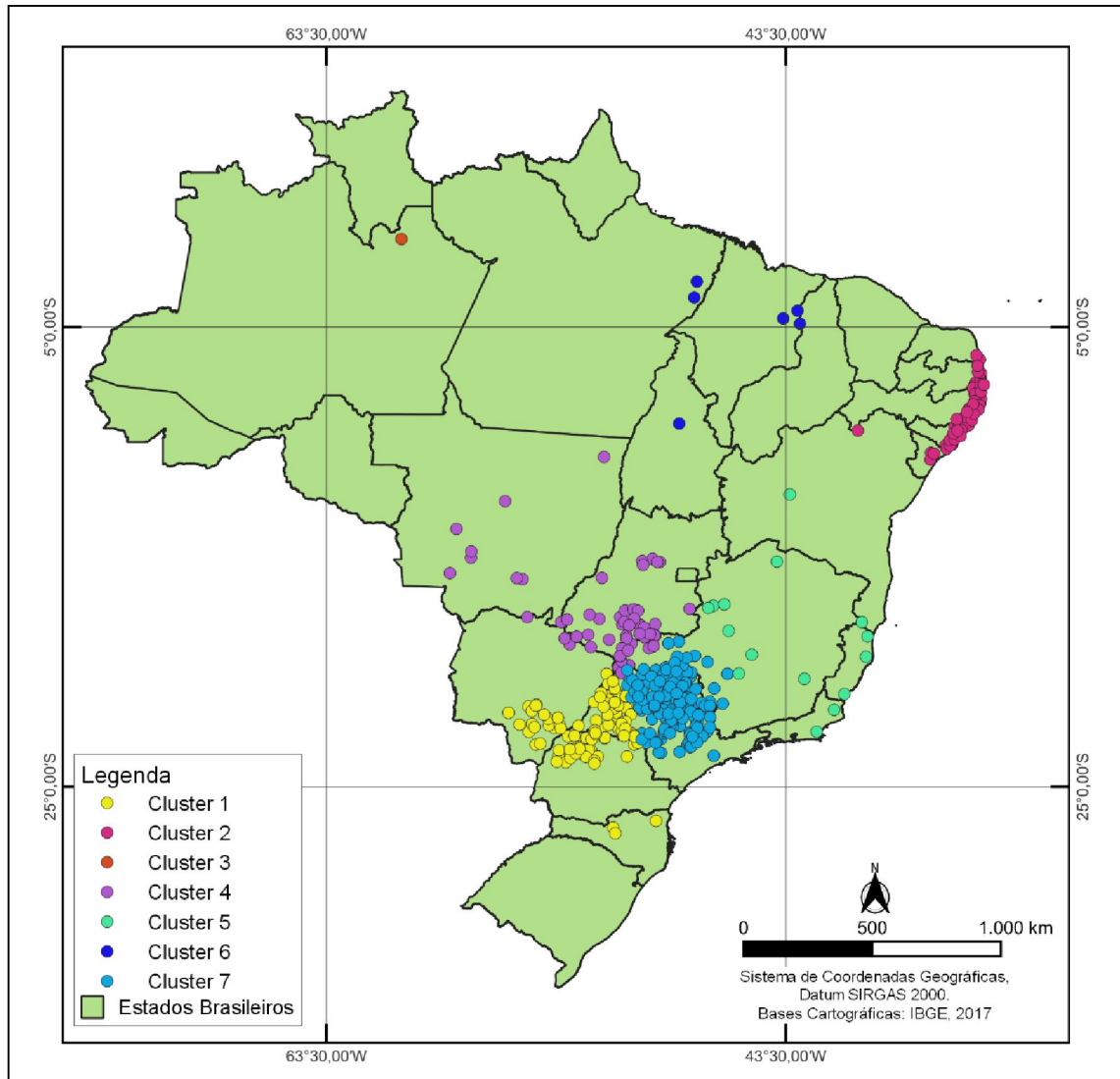
FONTE: Elaboração própria a partir do Software QGIS®.

Pela análise visual da FIGURA 9 foi possível constatar que, a partir de sete *clusters*, a soma do quadrado dos erros não apresenta redução significativa. Este foi então o número escolhido para a aplicação no método.

Na sequência, a partir dos complementos do QGIS e, com os dados das coordenadas geográficas e do número de *clusters*, foi possível executar o algoritmo *k-means* e plotar os resultados no mapa do território nacional. O mapa base do Brasil

foi plotado utilizando-se da base de dados, em formato *shapefile*, do IBGE, seção Geociências, Bases Cartográficas Contínuas, versão 2017.

FIGURA 10 – *CLUSTERS* ESPACIAIS DAS USINAS SUCROENERGÉTICAS BRASILEIRAS



FONTE: Elaboração própria a partir do Software QGIS®.

A FIGURA 10 ilustra os resultados do método *k-means* aplicado às usinas sucroenergéticas brasileiras, considerando a espacialidade. É possível verificar a aglomeração nos sete *clusters* determinados, quais sejam, *Cluster 1*, que concentra 101 usinas dos estados do Paraná, Santa Catarina, sul do Mato Grosso do Sul e oeste de São Paulo; *Cluster 2*, com 54 empreendimentos da costa da região Nordeste, além de um empreendimento no norte da Bahia; *Cluster 3*, que ficou com apenas uma usina, no estado do Amazonas; *Cluster 4*, com a aglomeração de 64

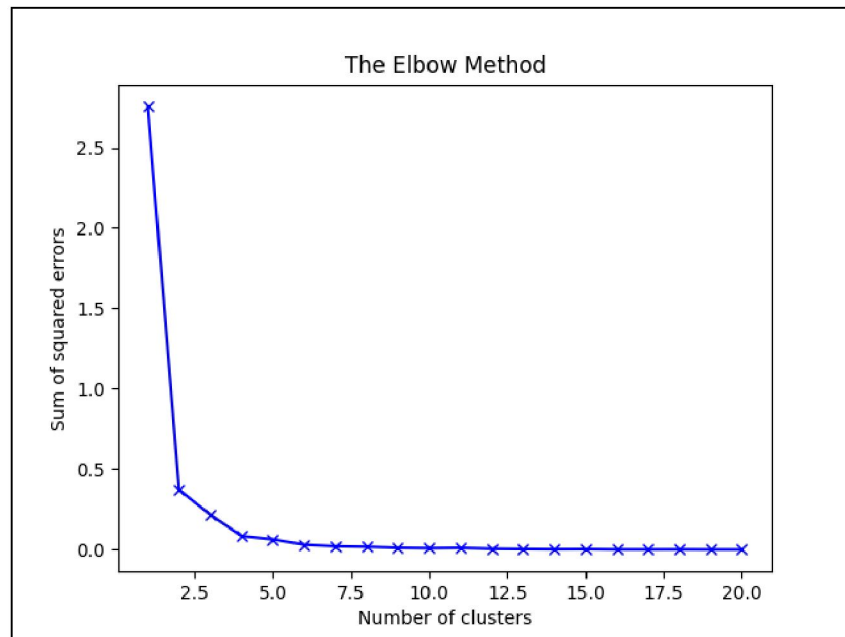
empreendimentos do Centro-Oeste, norte do triângulo mineiro e norte de São Paulo; *Cluster 5*, concentrando 16 usinas nos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo, centro-Norte de Minas Gerais e uma na Bahia; *Cluster 6*, contendo 6 empreendimentos espalhados no Piauí, Maranhão, Pará e Tocantins; e o *Cluster 7*, com 194 usinas em São Paulo e Minas Gerais. O APÊNDICE 1 traz os resultados tabelados da clusterização espacial.

4.2 CLUSTER ESPACIAL NO PARANÁ

Na sequência, aplicou-se a metodologia de clusterização espacial aos dados das usinas sucroenergéticas apenas do Estado do Paraná. Justifica-se este procedimento em função da proximidade geográfica entre as usinas para utilização dos subprodutos e desenvolvimento dos novos processos em conjunto, além da possibilidade de criação e aplicação de políticas públicas de forma regionalizada.

Inicialmente, utilizando-se do método *Elbow* e da análise visual de seu gráfico gerado, adotou-se o número de cinco *clusters* (FIGURA 11).

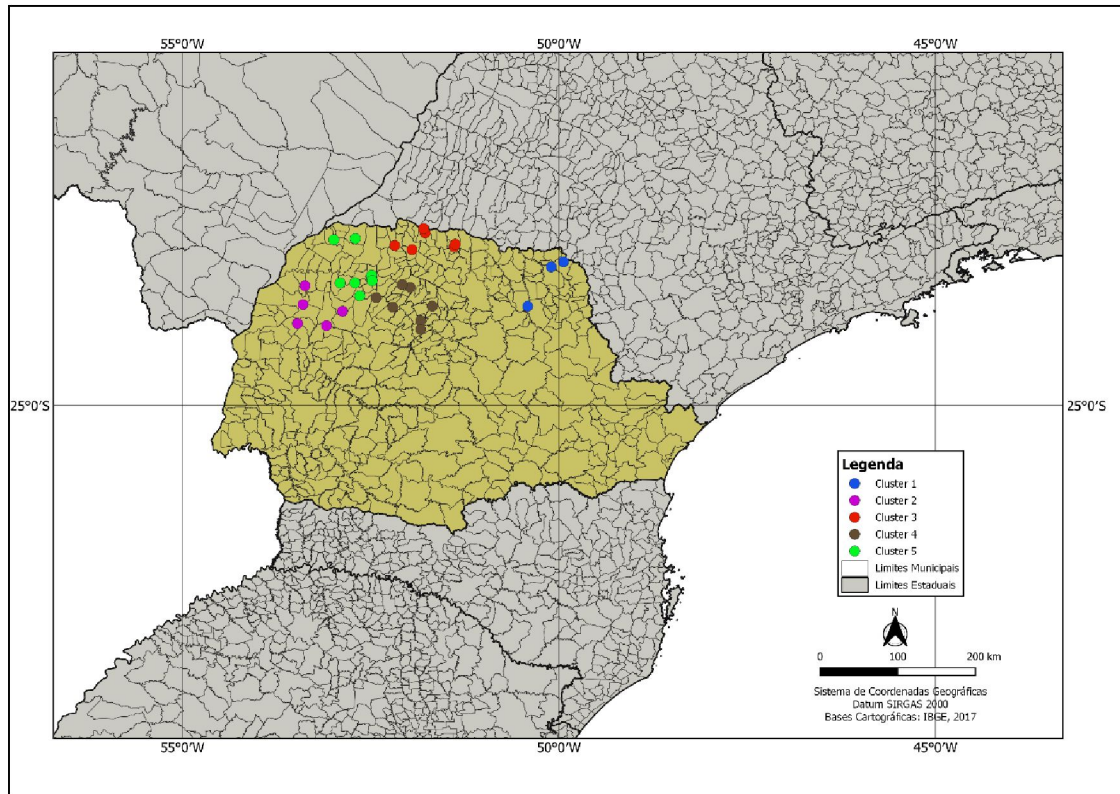
FIGURA 11 – MÉTODO *ELBOW* APLICADO À ANÁLISE DE *CLUSTERS* ESPACIAIS DAS USINAS DO PARANÁ



FONTE: Elaboração própria a partir do Software QGIS®.

Com o número de *clusters* e dos dados das coordenadas geográficas dos empreendimentos, o algoritmo *k-means* pôde ser executado. A FIGURA 12 ilustra os resultados plotados no mapa do Paraná.

FIGURA 12 – CLUSTERS ESPACIAIS DAS USINAS SUCROENERGÉTICAS NO PARANÁ



FONTE: Elaboração própria a partir do Software QGIS®.

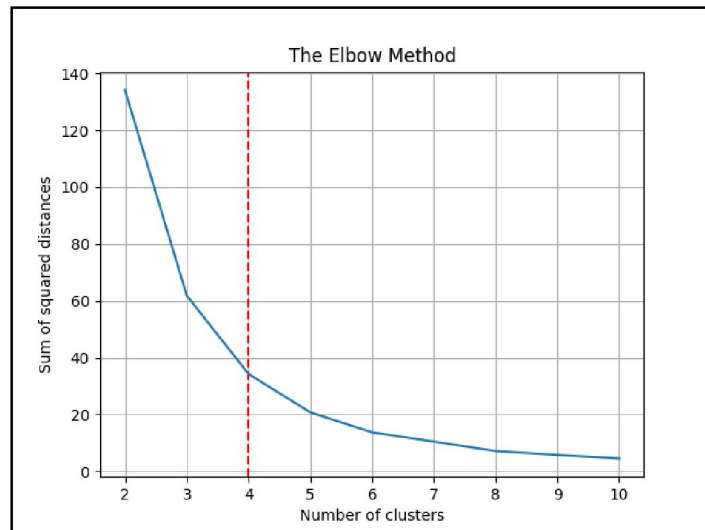
O *Cluster 1* ficou com três usinas localizadas na região Norte Pioneiro. O *cluster 2* concentra cinco empreendimentos no Noroeste do Paraná. Já os *Clusters 3, 4 e 5* reúnem sete usinas cada nas regiões Norte e Noroeste do Estado. O APÊNDICE 2 exibe os resultados tabelados da clusterização espacial no Estado do Paraná.

4.3 CLUSTERS POR POTÊNCIA

De modo similar ao realizado na clusterização espacial a partir unicamente da localização geográfica das usinas, pela execução do software QGIS e seus complementos, listados na seção 3.3, aplicou-se a metodologia de clusterização aos dados de potência instalada das usinas sucroenergéticas do Brasil.

Novamente, com o auxílio do método *Elbow*, disponível nas ferramentas do QGIS como um *plugin* desenvolvido em Python, foi determinado o número ideal de *clusters*. A FIGURA 13 expressa o resultado da análise do número de *cluster*

FIGURA 13 – MÉTODO *ELBOW* APLICADO À ANÁLISE DE *CLUSTERS* POR POTÊNCIA

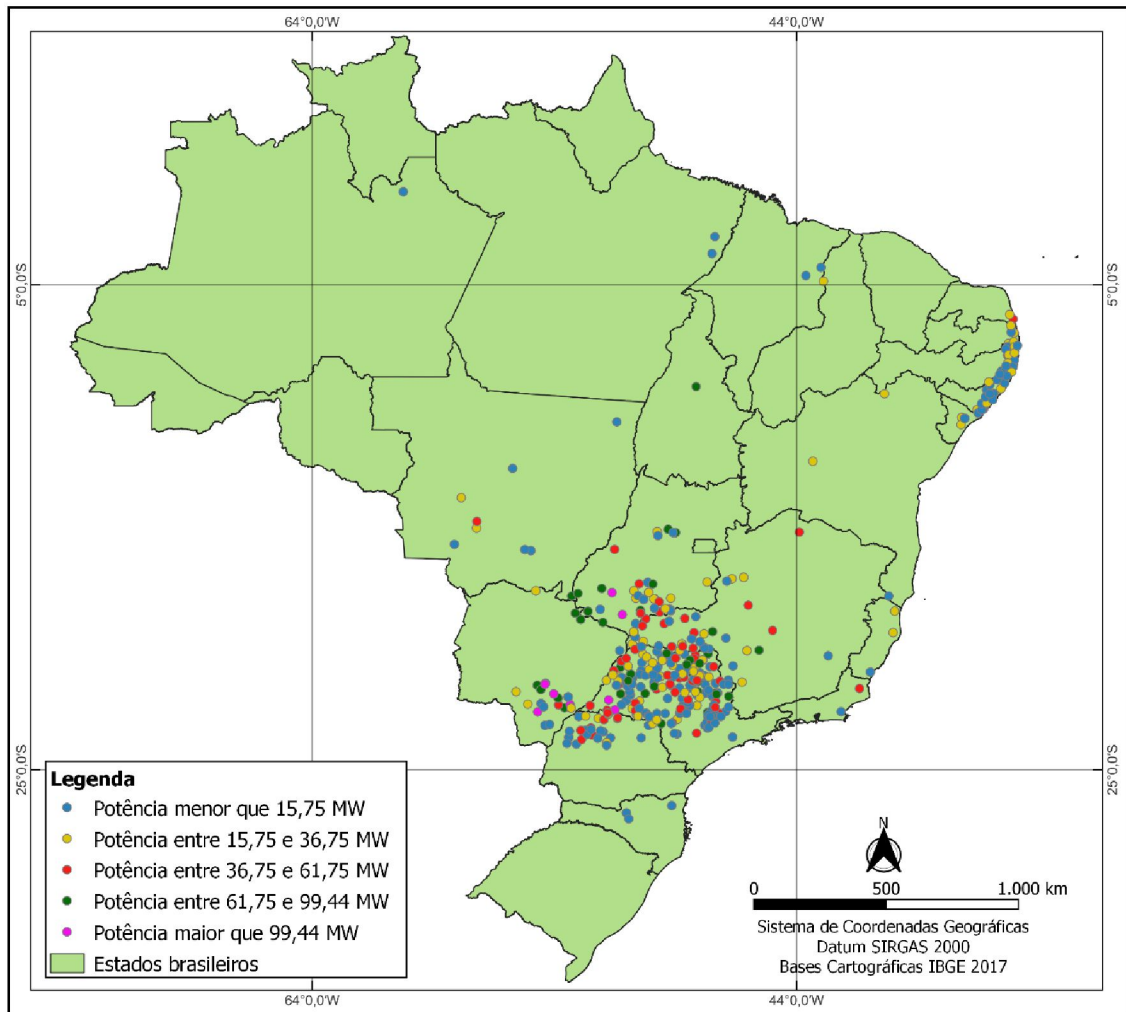


FONTE: Elaboração própria a partir do Software QGIS®.

Pela análise visual FIGURA 13 foi possível constatar que, a partir de cinco *clusters*, a soma do quadrado dos erros não apresenta redução significativa. Este foi então o número escolhido para a aplicação no método.

Na sequência, a partir do complemento do QGIS ClusterMap e da ferramenta K-Means Clustering e, com os dados da potência instalada das usinas e do número de *clusters*, foi possível executar o algoritmo *k-means* e plotar os resultados no mapa do território nacional. Novamente, o mapa base do Brasil foi plotado utilizando-se da base de dados, em formato *shapefile*, do IBGE, seção Geociências, Bases Cartográficas Contínuas, versão 2017 (IBGE, 2022).

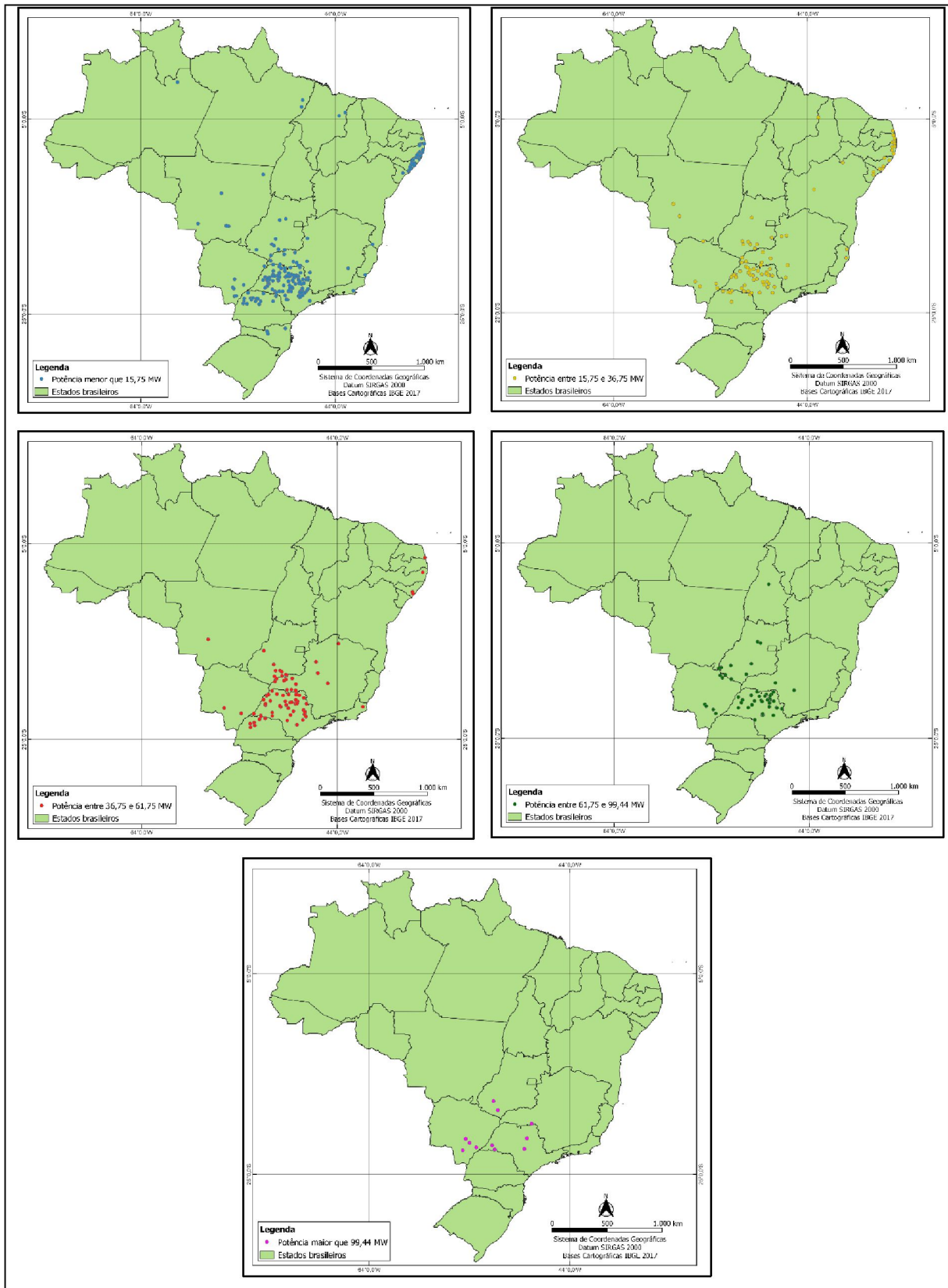
FIGURA 14 – CLUSTERS POR POTÊNCIA INSTALADA DAS USINAS SUCROENERGÉTICAS BRASILEIRAS



FONTE: Elaboração própria a partir do Software QGIS®.

Observa-se, pela análise da FIGURA 14, que as usinas de maior potência instalada, acima de 99,44 MW, estão localizadas na região Centro-Sul, especialmente nos estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo e Goiás. Também, os empreendimentos de médio porte se concentram nesta região, à exceção de duas usinas no Alagoas, uma no Rio Grande do Norte e uma no Pernambuco. Na região Nordeste, a maioria dos empreendimentos possui potência instalada de até 36,75 MW. Para melhor visualização dos clusters por potência, na FIGURA 15 são apresentados mapas contendo cada clusters isolado no território nacional.

FIGURA 15 – CLUSTERS POR POTÊNCIA APRESENTADOS ISOLADAMENTE



FONTE: Elaboração própria a partir do Software QGIS®.

A clusterização por potência também mostrou que no Brasil, a maioria das usinas, ou 67%, são de pequeno porte em termos de potência elétrica instalada (*clusters* azul e amarelo). Já as de grande porte (*clusters* verde e lilás), com potência superior a 61,75 MW somam 62 empreendimentos e apenas onze, do universo total de 436 usinas brasileiras, tem potência maior que 99,44 MW.

Para a categorização de porte das usinas, a UNICA indica como critério a capacidade de moagem, segundo o qual usinas “grandes” possuem capacidade superior a 2,5 milhões de toneladas por safra, usinas “médias” entre 1,0 e 2,5 milhões e usinas “pequenas” possuem capacidade de moagem de cana inferior a 1,0 milhão de toneladas por safra (CARLUCCI, 2012). Neste trabalho, utilizou-se a regra de decisão do QGIS, gerada automaticamente pela ferramenta ClusterMap e demonstrada na legenda da FIGURA 14. O APÊNDICE 3 apresenta os resultados da clusterização por potência instalada das usinas sucroenergéticas brasileiras.

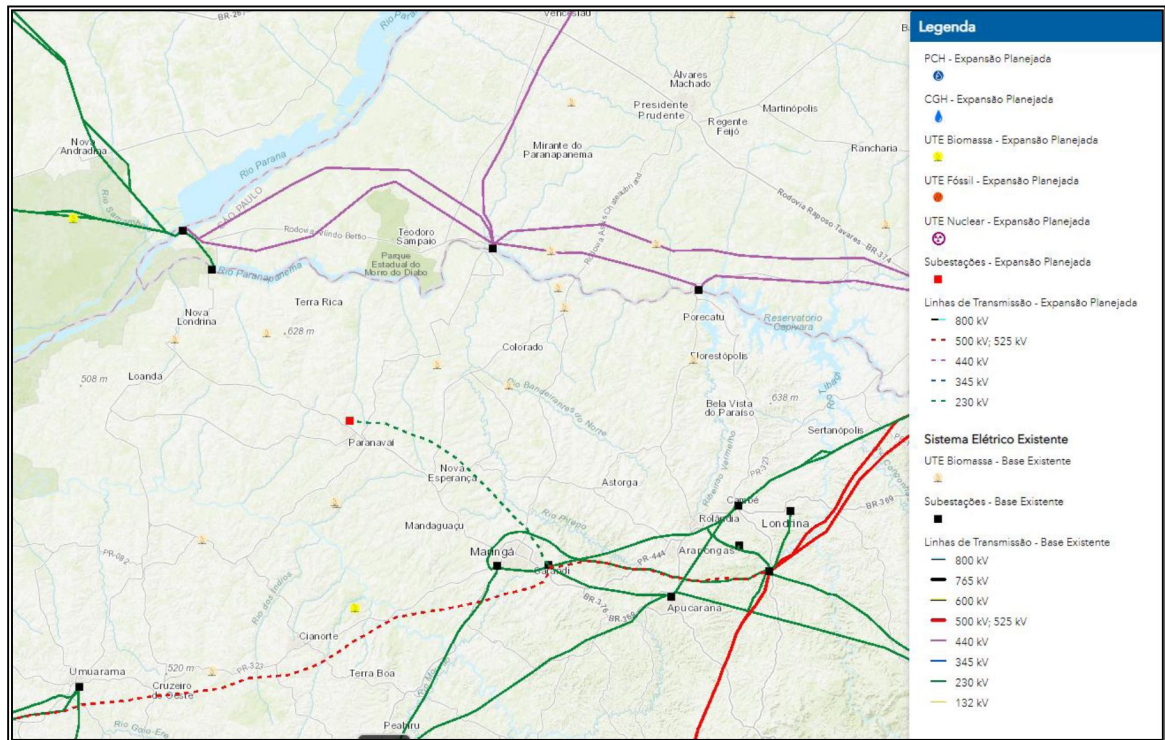
4.4 FATORES QUE PODEM FAVORECER A FORMAÇÃO DE *CLUSTERS*

Após a aplicação da metodologia de clusterização aos dados de localização e análise dos resultados, é importante realizar um levantamento de fatores que podem facilitar o desenvolvimento dos *clusters*. Um aspecto importante se refere à infraestrutura, disponível ou não, mas necessária para a criação ou melhoria de *clusters*.

A proximidade de usinas de cana-de-açúcar exportadoras de energia elétrica a subestações e linhas de transmissão/distribuição pode favorecer o desenvolvimento e expansão de projetos de bioenergia via aglomeração de usinas. Ressalta-se, todavia, que deve ser realizado estudo particular a cada caso para comprovar que a conexão ao SIN no ponto mais próximo é viável técnica e economicamente, em termos de capacidade de recebimento de carga de energia adicional, além de todo sistema de proteção associado à linha ou subestação. Neste caso, a depender do nível de tensão de conexão, deve ser consultada a concessionária local ou o ONS.

A EPE traz, por meio do seu Sistema de Informações Geográficas do Setor Energético Brasileiro, um mapa interativo, o Webmap EPE (EPE, 2022) no qual é possível verificar o Sistema Elétrico existente e planejado, em termos de usinas de geração, linhas de transmissão e subestações da rede básica. **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta um recorte do Webmap.

FIGURA 16 – RECORTE DO MAPA DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL



FONTE: EPE, 2022.

Pela análise da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é possível verificar as instalações termelétricas a biomassa, subestações e linhas de transmissão existentes e planejadas pelo Sistema Elétrico Brasileiro, na região noroeste do Paraná.

Explorando os resultados da aglomeração unicamente espacial das usinas do Estado do Paraná, nota-se que a região que engloba as usinas reunidas no *Cluster 3* (norte de Maringá e Londrina), por exemplo, carece de subestações de rede básica. A região também é pouco atendida por linhas de média ou alta tensão.

Utilizando da ferramenta de medição de distância do próprio Webmap, percebe-se que algumas usinas de cana de açúcar estão distantes mais que 80 km, em linha reta, de uma subestação. Isto pode acarretar maiores custos de conexão de uma usina e, conseqüentemente, menor atratividade de projetos de geração de bioenergia.

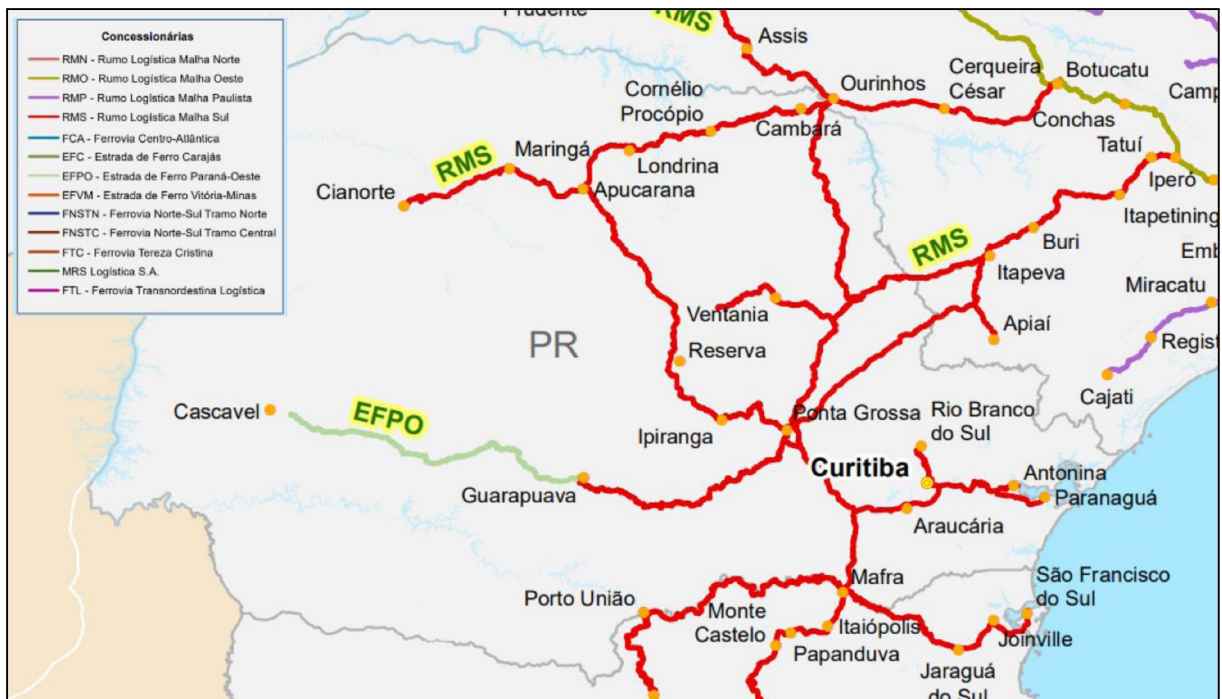
Então, o cruzamento dos resultados de clusterização com as informações organizadas do setor elétrico pode ser importante indicativo para orientação de investimentos. Ressalta-se que a distância de uma usina à subestação não é o único fator de decisão. Deve ser feito estudo específico para averiguar se a referida subestação e o sistema como um todo tem capacidade energética para receber nova carga.

De qualquer forma, as ferramentas de clusterização e as possibilidades de formação de *cluster* se mostram como importantes mecanismos para o planejamento de infraestrutura.

De maneira similar, é possível expandir a análise para outros aspectos relacionados à infraestrutura. No Estado do Paraná, 85% do transporte do açúcar da usina até o porto é realizado via modal ferroviário (DOS REIS, 2007).

O Ministério de Infraestrutura apresenta no seu Mapa Ferroviário as concessões ferroviárias vigentes. A FIGURA 17 apresenta um excerto do Estado do Paraná.

FIGURA 17 – RECORTE DO MAPA FERROVIÁRIO CONCESSÕES VIGENTES



FONTE: Ministério da Infraestrutura, 2019.

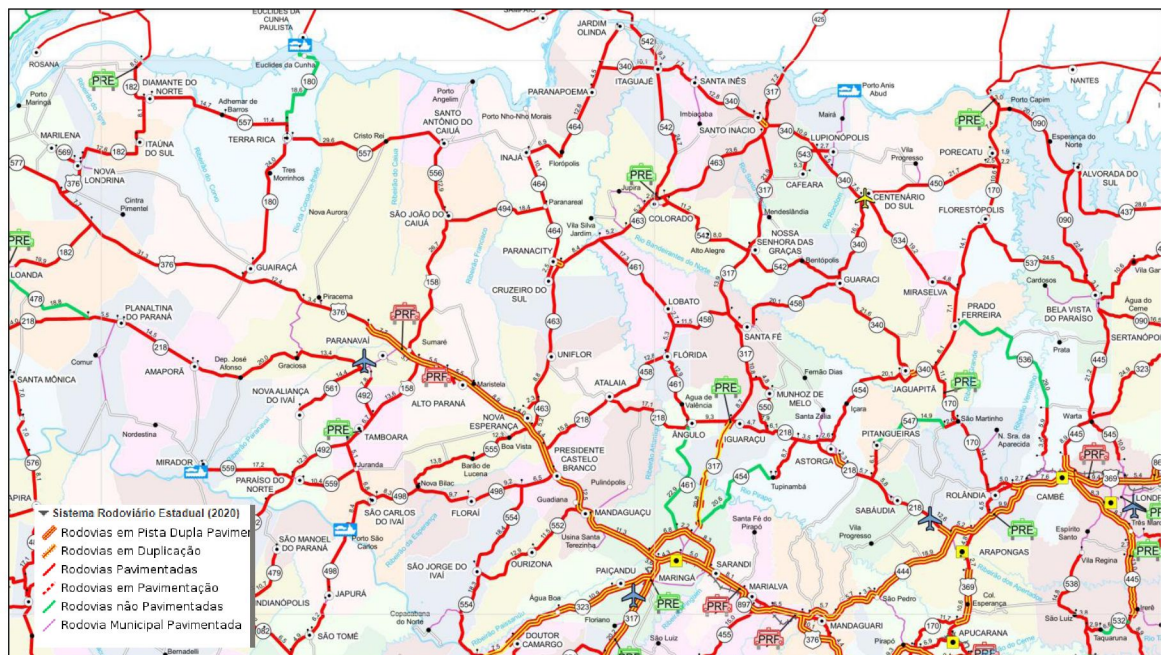
Utilizando-se novamente como exemplo os resultados da clusterização unicamente espacial no Paraná, infere-se pela FIGURA 17 que, para as usinas do *Cluster 3*, os tramos ferroviários mais próximos das usinas passam por Maringá e Londrina. Neste caso, o açúcar a granel, destinado à exportação, é levado de caminhões por rodovias secundárias até um terminal intermodal no qual ocorre o transbordo para o modal ferroviário (SETTEN, 2010).

Já o etanol produzido nas usinas é transportado majoritariamente via modal rodoviário. Isto porque grande parte da produção é destinada à comercialização a distribuidoras, além da possibilidade de venda direta a revendedores e postos.

Adicionalmente, as usinas estão localizadas em regiões agrícolas afastadas das importantes vias de transporte e não tem escala de comercialização que possibilite a aplicação de outros modais (MILANEZ et al., 2010).

O Departamento de Estradas de Rodagens – DER do Estado do Paraná disponibiliza em seu site o Mapa Rodoviário do Estado do Paraná, o qual apresenta a malha rodoviária e ferroviária do Estado. A FIGURA 18 traz um recorte deste Mapa.

FIGURA 18 – RECORTE DO MAPA RODOVIÁRIO DO ESTADO DO PARANÁ ANO 2020



FONTE: DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM, 2022.

Pela análise da FIGURA 18 pode-se verificar que as usinas do *Cluster 3* são atendidas por Estradas Municipais não pavimentadas ou por Rodovias Municipais ou Estaduais de pista simples. Conforme argumenta Milanez et al. (2010), a ampliação da escala de movimentação de etanol pode justificar investimentos em sistema logístico mais eficiente. Logo, pode-se concluir que a organização em *clusters* pode vir a estimular e justificar a construção ou ampliação de ferrovias e rodovias, ou modais interligados.

Exame complementar de infraestrutura pode ser feito quanto à disponibilidade de portos para exportação do açúcar e etanol. No Brasil, os maiores volumes são exportados pelos portos de Santos e Paranaguá.

As usinas do *Cluster 3* do Paraná estão distantes, em média, 600 km do Porto de Paranaguá. A aglomeração de usinas possibilitaria o ganho de escala e poderia

favorecer a escolha de um modal de transporte até o porto mais eficiente. Além disso, outros quesitos que podem influenciar a eficiência de exportação são a disponibilidade de silos e terminais com capacidade de armazenamento e a infraestrutura para o embarque, além da capacidade de atracação de navios de elevado porte (SETTEN, 2010).

Outro fator importante que pode impulsionar o desenvolvimento dos *clusters* de bioenergia se refere à disponibilidade e acesso a Universidades, Institutos de Pesquisa e Instituições Científica, Tecnológica e de Inovação (ICTs). Desde 1990, o Brasil possui a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), que conta com 79 bases de pesquisa organizadas por uma rede de dez universidades federais e que são responsáveis pelo programa de melhoramento da cultura da cana-de-açúcar no país (RIDESA, 2022).

O financiamento do programa de pesquisa é prioritariamente privado, oriundo de recursos das usinas e destilarias. As atividades de pesquisa são desenvolvidas e compartilhadas entre todas as universidades, favorecendo o intercâmbio de informações, de conhecimento e de resultados (RIDESA, 2022).

Adicionalmente, outra iniciativa nacional é o Programa Plurianual Integrado de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) em Cana-de-açúcar (Pluricana), que contempla 22 Instituições. Além das Universidades da RIDESA, mais sete unidades da Embrapa, três universidades e dois institutos estaduais compõem o Programa (MOLINARI, 2020).

O Pluricana tem como objetivo atuar na pesquisa de melhoramento genético e de sistemas de produção (plantio, manejo e irrigação) e biologia avançada. Também, busca soluções para a cogeração de energia a partir da cana e de outras culturas, prevê pesquisas em engenharia genética, Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e em fitossanidade da cana-de-açúcar e outras biomassas (MOLINARI, 2020).

Analisando-se o exemplo do *Cluster 3* do Paraná, infere-se que a região é atendida por Campi de importantes Universidades Federais e Estaduais, como UFPR, UTFPR, PUC-PR, UEM, UEL. Desta forma, tomando-se o exemplo da RIDESA e do Pluricana, a solução de desafios específicos desta aglomeração de usinas poderia ensejar a organização destas Instituições em rede para compartilhamento de pesquisa e conhecimento.

De forma complementar, pode-se analisar a disponibilidade de Parques Tecnológicos e Incubadoras de empresas inovadoras. Na região do exemplo

analisado, constata-se entre outros, a presença do Parque Tecnológico Maringatech, da Cocriagro Hub de Inovação, além de bases do Senai e Sebrae, que focam na interação entre institutos de pesquisa, empresas e startups. Porém, a região carece de ICTs focadas no tema cana-de-açúcar.

4.5 PRODUTOS E PROCESSOS QUE PODEM SER APLICÁVEIS AOS *CLUSTERS*

Porter (1999) definiu *cluster* como “um agrupamento geograficamente concentrado de empresas inter-relacionadas e instituições correlatas numa determinada área, vinculadas por elementos comuns e complementares”. Com base na definição de Porter e nos resultados alcançados pela metodologia de clusterização, infere-se que a organização das usinas sucroenergéticas em *clusters* pode facilitar e estimular o aproveitamento sistemático dos subprodutos para a geração - e criação de mercado - de diversos produtos, desenvolvimento de processos e novas oportunidades.

Ademais, segundo Vidal, Primo e Santos (2009), a organização em *cluster* traz vantagens para os membros da aglomeração como o compartilhamento de frete e recursos; redução de despesas por compras conjuntas; conhecimentos e melhores práticas, entre outros. Já para a sociedade, os benefícios seriam “concentração de empresas, geração de emprego e renda e melhoria de infraestrutura e desenvolvimento social” (VIDAL; PRIMO; SANTOS, 2009). Adicionalmente, Martin e Sunley (2003) corroboram o modelo de *cluster* de Porter como uma ferramenta para promover a competitividade, a inovação e o desenvolvimento local, regional e nacional.

Neste sentido, a solução dos desafios propostos nas seções 2.8 e 4.4 pode ser facilitada por meio do agrupamento de usinas, principalmente quando compartilhadas boas práticas agrônômicas, industriais e de gestão.

Adicionalmente, avista-se o estabelecimento de biorrefinarias, institutos de pesquisa, laboratórios e parque tecnológicos centralizados e relacionados a cada *cluster*, que atenderão aos objetivos das aglomerações organizadas. O avanço do conceito da transformação das usinas para biorrefinarias beneficia o setor e alavanca a valorização energética de resíduos. Ademais, propicia o desenvolvimento de novos processos e produtos: energia elétrica e térmica, biocombustíveis como biogás e biometano, biofertilizante, dióxido de carbono (CO₂), enxofre, certificados ambientais,

além do desenvolvimento de produtos químicos e combustíveis nobres como hidrogênio verde, plásticos verdes, fibras para fabricação de tecido e papel, gás de síntese e toda uma cadeia de química fina associada (ABILOGÁS, 2021).

Desta forma, a aglomeração estruturada das usinas em *clusters* incentiva a criação de biorrefinarias, favorecida pelo aumento de escala na geração dos subprodutos agrupados e pelo anseio de desenvolvimento de temas e produtos específicos de cada *cluster* ou região. Assim, cada *cluster* suportaria a geração de um conjunto de novos produtos qual fosse sua necessidade ou oportunidade regional.

De maneira similar e, valendo do exemplo holandês de produção de hortifrutigranjeiros, é razoável pensar no aproveitamento da energia elétrica renovável, do calor, do biofertilizante e do CO₂ gerados na usina sucroenergética para aplicação em estufas de produção de alimentos. Da mesma forma, utilizar o CO₂ para qualquer outro fim por meio da implantação de unidades beneficiadoras centrais aos *clusters*, conforme possibilidades de usos descritas em seção anterior específica. Novamente, a aglomeração estruturada de usinas de cana-de-açúcar com este propósito pode favorecer o ganho de escala e facilitar esta aplicação.

Com relação ao produto enxofre, a organização das sucroenergéticas em *clusters* poderia estimular a implantação de uma unidade beneficiadora e comercializadora de enxofre e fertilizante, central ao *cluster*, que receberia o H₂S das diversas usinas. De modo análogo, o agrupamento dos empreendimentos pode ampliar a emissão de certificados ambientais, mediante o compartilhamento de processos, da implantação de novas atividades e da geração de novos produtos.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho buscou, inicialmente, compreender a importância do setor sucroenergético para a economia nacional. Para tanto, foram detalhadas informações sobre a produção de cana-de-açúcar e seus produtos no Brasil.

A pesquisa analisou dados da produtividade, área plantada, área colhida e produção de cana nos estados e regiões brasileiras. Da mesma forma, foram reunidas informações sobre a evolução da produção de açúcar e de etanol anidro e hidratado no país.

Na sequência, foram expostos aspectos relacionados à cogeração de energia nas usinas, além da capacidade de ampliação da geração elétrica por meio da modernização das usinas, utilização de palha e outros subprodutos para produção de biogás com vistas à geração de bioeletricidade. Adicionalmente, o trabalho detalhou a matriz energética brasileira e a contribuição da geração de energia elétrica renovável, a partir da biomassa residual do setor, para a matriz energética nacional.

Em seguida, foram reunidas informações sobre os encadeamentos econômicos do setor bem como sobre as políticas para *clusters*, em especial para o desenvolvimento *clusters* de energias renováveis. Ainda como parte do objetivo buscou-se compreender o conceito de *cluster* e aplicar metodologia específica *k-means* para a clusterização das usinas geradoras de energia elétrica a partir da biomassa residual do setor sucroenergético em nível nacional e, regionalmente, no estado do Paraná. O método *Elbow* foi utilizado para a estimativa ideal do número de *clusters*.

Com base nos resultados obtidos verificou-se que a região Centro-Sul, em especial os estados de São Paulo, Paraná, sul de Mato Grosso do Sul, sul de Goiás e o Triângulo Mineiro se apresentam como importantes aglomerações de usinas sucroenergéticas que possuem geração de energia a partir do bagaço. Na pesquisa, os empreendimentos desta região foram agrupados nos *Clusters* 1, 4 e 7. De maneira similar, o *Cluster* 2, que engloba as usinas da costa do Nordeste também se configura como uma aglomeração relevante. Em termos regionais, no estado do Paraná os empreendimentos foram agrupados em cinco *clusters*, contendo de três a sete empreendimentos, cada.

Após analisar a distribuição espacial do aproveitamento energético a partir da biomassa residual do setor sucroenergético brasileiro e da organização dos

empreendimentos em *clusters* foi possível identificar oportunidades para a geração de novos produtos e processos econômicos para as usinas, mediante o aproveitamento racional dos recursos sucroenergéticos.

Neste sentido, foi realizado um levantamento de alguns fatores que poderiam influenciar o desenvolvimento de clusters, especialmente relacionados à infraestrutura, disponível ou não.

Foi abordada a disponibilidade de infraestrutura relacionada à conexão de energia elétrica, especificamente o acesso a subestações e linhas de transmissão e distribuição, bem como relativo à logística, em especial a proximidade de rodovias, ferrovias e distância das usinas aos portos. Também se verificou a existência de Universidades, Instituições Científica, Tecnológica e de Inovação (ICTs), Parques Tecnológicos e Incubadoras de empresas de inovação. Para tanto, utilizou-se como exemplo o possível Cluster 3, resultado da clusterização unicamente espacial do Estado do Paraná.

Na sequência, foram apresentadas algumas possibilidades que a organização em agrupamentos pode propiciar, quais sejam, a geração de energia elétrica e térmica, a produção em larga escala dos biocombustíveis biogás e biometano, o biofertilizante, o dióxido de carbono (CO₂) e o enxofre elementar. Além disso, pode ser facilitada a emissão de certificados ambientais, a implantação de institutos de pesquisa e inovação e o desenvolvimento de biorrefinarias para produção de químicos e combustíveis nobres, como hidrogênio verde, plásticos verdes, fibras para fabricação de tecido e papel, gás de síntese e toda uma cadeia de química associada.

Adicionalmente, estendeu-se a aplicação da metodologia de *cluster k-means* aos dados de potência instalada das usinas sucroenergéticas brasileiras. Constatou-se que, para o critério de decisão de porte gerado automaticamente pelo QGIS, apenas 2,5% das usinas brasileiras se enquadram no maior nível de potência (99,44 MW) e que a maioria (67%) se enquadram como usinas de pequeno porte (até 36,75 MW).

Infere-se que para as usinas de pequeno porte, grande parte da energia produzida é utilizada para consumo interno do próprio empreendimento. Ou seja, em termos de aproveitamento energético e efetiva disponibilização de energia excedente ao SIN, há pouca contribuição, individualmente, das usinas pequenas. No caso destes empreendimentos, o foco deve ser o aumento de eficiência dos seus processos visando ampliar a produção dos derivados da cana (açúcar, etanol, energia elétrica).

Por outro lado, os empreendimentos de maior porte buscam investir em tecnologias que proporcionam um ganho de eficiência operacional (CALUCCI, 2012) e, conseqüentemente, ganho de escala. O foco destas usinas deve ser estabelecer e ampliar a sua participação de mercado. Adicionalmente, usinas maiores teriam maior capacidade de aplicação de novas tecnologias, como por exemplo implantação de biorrefinarias.

Neste contexto, a clusterização por potência se mostra como uma importante ferramenta para a formulação de políticas públicas para o setor. Os *clusters* de usinas de pequeno porte poderiam, por exemplo, receber benefícios fiscais e tributários ou ter acesso a crédito ou linhas de financiamento diferenciadas com foco no aumento da eficiência industrial. Já para os *clusters* de usinas de maior porte, o enfoque das políticas poderia ser na aplicação e difusão de novas tecnologias.

Espera-se que os resultados dessa dissertação estimulem a análise crítica das possibilidades de investimento e desenvolvimento deste setor por parte dos setores privado e público e da academia. Os resultados alcançados demonstram a utilidade dos clusters como forma de equacionar problemas e potencializar oportunidades para o setor, seja por aproximação espacial ou por potência distribuída no espaço geográfico.

Neste sentido, para clusters unicamente espaciais, em que aqui a proximidade geográfica é o fator mais relevante, pode-se propor a estruturação de alguns instrumentos, quais sejam:

- a) Políticas regionais privadas com foco em gestão e tecnologia, considerando as características edafoclimáticas agrícolas e de produção, desde o insumo cana-de-açúcar até a distribuição do produto energia e demais subprodutos e encadeamentos inerentes ao sistema produtivo sucroenergético;
- b) Políticas públicas regionais de inovação, observando as características regionais das usinas e produção do insumo cana-de-açúcar. Neste caso, deve-se promover políticas que estimulem a pesquisa em temas relacionados à cadeia da cana-de-açúcar bem como o fortalecimento de institutos de pesquisa e universidades para o desenvolvimento tecnológico das usinas. Aqui, inserem-se como atores relevantes os parques tecnológicos e os institutos regionais de inovação, como exemplo, a Fundação Araucária, no Paraná;

- c) Políticas públicas regionais de fortalecimento do setor por meio da estruturação de leilões regionais e dedicados à bioenergia da cana-de-açúcar, via Ministério de Minas e Energia e o desenvolvimento da indústria sucroenergética, via estímulos do Ministério da Economia.

Já para os clusters espaciais em que o atributo potência tem maior importância, faz sentido pensar em:

- a) Políticas nacionais privadas de gestão e tecnologia, considerando as dificuldades e oportunidades do setor como um todo;
- b) Políticas públicas nacionais de inovação tecnológica por meio, por exemplo, da estruturação de Editais e Chamadas Públicas para o desenvolvimento de pesquisa e inovação em temas específicos do setor, via Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovações (CNPq, FINEP), da Educação (CAPES) e de Minas e Energia (P&Ds ANEEL e ANP).
- c) Políticas públicas nacionais de fortalecimento do setor por meio do reconhecimento dos atributos ambientais positivos e estratégicos para o fornecimento de energia para todo o território nacional e desenvolvimentos dos demais subprodutos abordados ao longo deste trabalho.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se uma análise de viabilidade técnica e econômico-financeira aprofundada dos produtos e processos elencados nesta pesquisa. Além disso, expandir para todos os clusters identificados como resultados da aplicação da metodologia k-means a análise de infraestrutura existente, ou não disponível, mas necessária para a criação ou desenvolvimento das aglomerações.

Por fim, sugere-se a concepção de políticas públicas para o desenvolvimento de aglomerações industriais locais com um encaminhamento para a estruturação de um programa regulatório e de incentivos que propiciem o desenvolvimento econômico, tecnológico e socioambiental de regiões sucroenergéticas, em especial no Estado do Paraná.

Assim, busca-se para esta atividade e região específica do Estado, além da incorporação da metodologia de cooperação, a construção de estratégias que fomentem a criação de *cluster* industrial e de pesquisa da cana-de-açúcar no Paraná. Isto poderá agregar competitividade, propiciar a aceleração do processo inovativo e garantir o aumento de investimentos, a descentralização industrial, a criação de mais empregos e o aumento da geração de renda.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. 2022. Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração – SCG. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/sig>. Acesso em 29 jul. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução ANP nº 19, de 15 de abril de 2015**. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-19-2015?origin=instituicao&q=19/2015>. Acesso em: 22 ago. 2021

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução ANP nº 807, de 23 de janeiro de 2020**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-807-de-23-de-janeiro-de-2020-239635261>. Acesso em 22 ago. 2021

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução ANP nº 08, de 30 de janeiro de 2015**. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-8-2015?origin=instituicao&q=8/2015>. Acesso em: 14 mai. 2021.

ALBU, M. **Technological Learning and Innovation in Industrial Clusters in the South**. Electronic Working Paper nº 7, Science Policy Research Unit, University of Sussex 1997. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.144.9687&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 29 jul. 2022.

ALBUQUERQUE, G. D. A. S. C. D.; AZAMBUJA, R. S. L.; LINS, F. A. F. **Agrominerais-enxofre**. 2008. CETEM/MCTI. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1095/1/06%20%20Agrominerais%20-%20ENXOFRE%20%28texto%20revisado%29.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2022.

ANDERSSON, T.; SCHWAAG-SERGER, S.; SÖRVIK, J., WISE, E. **Cluster Policies Whitebook**. 2004. Disponível em: <https://lucris.lub.lu.se/ws/files/5954460/1304064.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2022.

ANDRADE, J. C. S.; COSTA, P. **Mudança climática, protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global**. 2008. Organizações & Sociedade, 15, 29-45. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1984-92302008000200002>. Acesso em 10 jun. 2022.

AQUINO, A. L.; BRESCIANI, L. P. **Arranjos produtivos locais: uma abordagem conceitual**. Revista Organizações em Contexto, v. 1, n. 2, p. 153-167, 2005. Instituto Metodista de Ensino Superior. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15603/1982-8756/roc.v1n2p153-167>. Acesso em: 05 mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS E BIOMETANO (ABIOGÁS). **Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano**. 2021. Disponível em:

https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2021/01/PNBB_Versao_Final.pdf. Acesso em: 13 mai. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS E BIOMETANO (ABIOGÁS). **PNBB - Programa Nacional do Biogás e do Biometano**. 2022. Disponível em: <https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2022/01/PNBB.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS E BIOMETANO (ABIOGÁS). **O Potencial Brasileiro de Biogás**. 2020. Nota Técnica. Disponível em: https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2020/11/NOTA-TECNICA_POTENCIAL_ABIOGAS.pdf. Acesso em: 15 mai. 2021.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO (BNDES). **Etanol 2G: inovação em biocombustíveis**. 2016. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/etanol-2g-inovacao-biocombustiveis>. Acesso em: 24 ago. 2021.

BARBOSA, G. D. **Parcerias estratégicas entre propriedades rurais para a geração de bioenergia**. 2018. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

BARROS, A. R. **Raízes históricas das idéias que subsidiam as políticas de clustering**. 2002. Brazilian Journal of Political Economy, 22, 136-155. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-31572002-1227>. Acesso em: 13 mar. 2022.

BENEDEK, J.; CRISTEA, M.; BARTÓK, B. **Regional Development and Establishment of Renewable Energy Clusters in North-West Region of Romania**. Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), v. 12, n. 2, 2013. Disponível em: http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol12/no2/6_5_Benedek_13.pdf. Acesso em: 22 mar. 2022.

BERMUDO NETO, A. **Substituição do diesel por biometano, em caminhões e colhedoras, utilizando sistema “dual-fuel”**. São Paulo, SP. Disponível em: <https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2022/01/artigo-antonio-bermudo-neto.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2022.

BETTIOL, W.; TRATCH, R.; GALVÃO, J.A.H. **Controle de doenças de plantas com biofertilizantes**. 1998. 22 p. EMBRAPA-CNPMA. Circular Técnica, 02. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/87937/1/CT02.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2022.

BONDARIK, R.; PILATTI, L.A.; HORST, D.J. **Uma Visão Geral sobre o Potencial de Geração de Energias Renováveis no Brasil**. Interciencia. 2018, 43(10), 680-688. ISSN: 0378-1844. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33957861002>. Acesso em: 06 fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 76.593/1975**. Institui o Programa Nacional do Álcool e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1975.

BRASIL. **Decreto n. 11.075, de 19 de maio de 2022.** Estabelece os procedimentos para a elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e dá outras disposições. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 19 mai. 2022. Edição: 94-A. Seção: 1 - Extra A. Página: 1

BRASIL. **Lei Nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017.** Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm. Acesso em: 16 jun, 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **RenovaBio.** Brasília, DF, 23 jun. 2022. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>. Acesso em: 16 jun. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020.** Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2022.

CAMARGO, C. A. (Coord.) **Conservação de Energia na Indústria do Açúcar e do Alcool, Manual de Recomendações.** 1 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (Publicação IPT, v. 1871), 1990.

CARLUCCI, F. V. **Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação do impacto das variáveis tamanho e localização na eficiência operacional de usinas de cana-de-açúcar na produção de açúcar e etanol no Brasil.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96132/tde-09112012-172303/en.php>. Acesso em: 02 ago. 2022.

CASTRO, N.; DANTAS, G. D. A.; BRANDÃO, R. **A dinâmica estrutural do setor sucroenergético como elemento indutor de investimentos em bioeletricidade.** CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA (AGRENER), 2010 Campinas, SP. Disponível em: <http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/artigo1.pdf>. Acesso em 06 jun. 2022.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – BIOGÁS (CIBIOGÁS). **Panorama do Biogás no Brasil em 2019.** Disponível em: <https://biblioteca.cibogas.org/biblioteca/notatecnica/pdf/panorama-do-biogas-no-brasil-em-2019.pdf>. Acesso em 26 abr. 2021.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). Piracicaba, 2022. Disponível em: <https://ctc.com.br/>. Acesso em: 18 jun. 2022.

COELHO JUNIOR, L. M.; SANTOS JUNIOR, E. P.; NUNES, A. M. M.; SOUZA, Á. N. de; BORGES, L. A. C.; SIMIONI, F. J. **Concentração e clusters de termelétricas de licor negro no Brasil**. 2021. IEEE Latin America Transactions, 19(12), 2122-2129. Disponível em: <https://latamt.ieee9.org/index.php/transactions/article/view/5244/1226>. Acesso em: 18 mar. 2022.

COELHO JUNIOR, L. M.; SANTOS JUNIOR, E. P.; NUNES, A. M. M.; SIMIONI, F. J.; ABRAHAO, R.; ROTELLA JUNIOR, P. **Concentration and Spatial Clustering of Forest-Based Thermoelectric Plants in Brazil**. 2020. IEEE Access, vol. 8, pp. 221932–221941, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3042945. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9284480>. Acesso em 18 ma. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**, primeiro levantamento, abril/2013 - Brasília: Conab 2013. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: ago a out. 2021

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Cana-de-Acucar - Análise Mensal - Janeiro-fevereiro-2021**. Análises do Mercado Agropecuário e Extrativista. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-cana-de-acucar/item/15317-cana-de-acucar-analise-mensal-janeiro-fevereiro-2021>. Acesso em: 30 abr. 2021

COOKE, P. **Regional innovation systems, clusters, and the knowledge economy**. *Industrial and Corporate Change*, v. 10, n. 4, p. 945-974, 2001.

COPERSUCAR **Proálcool: o momento em que o Brasil começou a valorizar energias renováveis**. 2017 Disponível em: <https://www.copersucar.com.br/noticias/proalcool-o-momento-em-que-o-brasil-comecou-valorizar-energias-renovaveis/>. Acesso em: 04 abr. 2021.

CORTEZ, L. A. B (Org.); CRUZ, C. H. de B.; SOUZA, G. M.; CANTARELLA, H.; SLUYS, M-A van; MACIEL FILHO, R.; CEUZ, C. H. de B. **Proálcool. Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro**. São Paulo: Blucher, 2016. 224 p.: il., color.

CUI, M. **Introduction to the K-Means Clustering Algorithm Based on the Elbow Method**. *Geoscience and Remote Sensing*, 2020. Vol. 3: 9-16. Disponível em: <https://www.clausiuspress.com/article/592.html>. Acesso em: 03 jun. 2022.

DAIYAN, R.; MACGILL, I.; AMAL, R. **Opportunities and challenges for renewable power-to-X**. 2020. *ACS Energy Lett.* 2020, 5, 12, 3843–3847. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsenerylett.0c02249>. Acesso em: 27 jun.2022.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER). **Mapa Rodoviário do Estado do Paraná ano 2020**. Disponível em: <https://www.der.pr.gov.br/Pagina/Mapas-Rodoviaros>. Acesso em: 31 out.2022.

DIETZENBACHER, E.; VAN DER LINDEN, J. A.; STEENGE, A. E. **The regional extraction method: EC input-output comparisons**. Economic Systems Research, v. 5, n. 2, p. 185-206, 1993.

DUARTE, N. **Cogeração a gás natural pode contribuir para futuro energético do País**. 2021. Artigo. COGEN – ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. Disponível em: <https://www.cogen.com.br/>. Acesso em: 03 out. 2021.

EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION (EBA). **Biogas simply the best**. 2011. Publications Renewable Energy House. Bruxelas, Bélgica. Disponível em: <https://www.europeanbiogas.eu/biogas-simply-the-best/>. Acesso em 15 jun. 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Agricultura de baixa emissão de carbono**. 2021. Espaço Temático. Perguntas e Respostas. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-agricultura-de-baixo-carbono/perguntas-e-respostas>. Acesso em 25 abr. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Avaliação do Ciclo de Vida da cana-de-açúcar e seus derivados produzidos no Centro Sul brasileiro, baseada em dados, fatores e modelos adaptados às condições nacionais**. 2017. Projetos. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/204693/avaliacao-do-ciclo-de-vida-da-cana-de-acucar-e-seus-derivados-produzidos-no-centro-sul-brasileiro-baseada-em-dados-fatores-e-modelos-adaptados-as-condicoes-nacionais>. Acesso em: 20 mai. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2021: Ano base 2020 / Empresa de Pesquisa Energética**. – Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2020**. Nota Técnica NOTA TÉCNICA EPE/DPG/SDB/2021/03. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-615/NT-EPE-DPG-SDB-2021-03_Analise_de_Conjuntura_dos_Biocombustiveis_ano_2020.pdf. Acesso em: 06 ago. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Webmap. Sistema de Informações Geográficas do Setor Energético Brasileiro**. Disponível em: <https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/>. Acesso em 31 out. 2022.

ESPOSITO, E.; DELLAMUZIA, L.; MORETTI, U.; FUOCO, A.; GIORNO, L.; JANSEN, J. C. **Simultaneous production of biomethane and food grade CO₂ from biogas: An industrial case study**. Energy & Environmental Science, v. 12, n. 1, p. 281-289, 2019. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2019/ee/c8ee02897d>. Acesso em: 29 jun. 2022.

- FAUSTINO, P. **Indústrias criativas, media e clusters**. Lisboa: Media XXI, 2013.
- FERRACIOLI, K.; JACOMINI, R. L.; MARQUES, P. V. **Certificados ambientais e o setor sucroalcooleiro paulista: estudo de caso**. Revista de Política Agrícola, v. 22, n. 3, p. 96-109, 2013. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/775>. Acesso em: 14 ago. 2022.
- FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS (FINEP). **Bioetanol (Etanol de 2ª Geração)**. 2021. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/aqui-tem-finep/bioetanol-etanol-de-2-geracao>. Acesso em: 23 ago. 2021.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Food Outlook: Biannual Report on Global Food Markets**. Roma, 2021. 169 p. ISBN: 978-92-5-132848-4. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cb4479en>. Acesso em 25 jul. 2021.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **WORLD FOOD AND AGRICULTURE - STATISTICAL YEARBOOK 2021**. ROMA, 2021. 368P. ISBN: 978-92-5-134332-6. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cb4477en>. Acesso em 25 jul. 2021
- FORMANN, S.; HAHN, A.; JANKE, L.; STINNER, W.; STRÄUBER, H.; LOGROÑO, W.; NIKOLAUSZ, M. **Beyond sugar and ethanol production: value generation opportunities through sugarcane residues**. Frontiers in Energy Research, v. 8, p. 579577, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.579577>. Acesso em: 27 jun. 2022.
- GARCIA, J.R.; LIMA, D.A.L.L.; VIEIRA, A.C.P. **A Nova Configuração da Estrutura Produtiva do Setor Sucroenergético Brasileiro: Panorama e Perspectivas**. 2015. Revista de Economia Contemporânea (2015) 19(1): p. 162-184. Journal of Contemporary Economics. ISSN 1980-5527 <http://dx.doi.org/10.1590/198055271917>
- GARCIA-ARRIAGA, V.; ALVAREZ-RAMIREZ, J.; AMAYA, M.; SOSA, E. **H₂S and O₂ influence on the corrosion of carbon steel immersed in a solution containing 3 M diethanolamine**. Corrosion Science, v. 52, n. 7, p. 2268-2279, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.03.016>. Acesso em 03 jun. 2022.
- GEROLAMO, M. C.; CARPINETTI, L. C. R.; FLESCHUTZ, T.; SELIGER, G. **Clusters e redes de cooperação de pequenas e médias empresas: observatório europeu, caso alemão e contribuições ao caso brasileiro**. 2008. Gestão & Produção, 15(2), 351-365. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/7B6kxcZL43xGBvP3VyD6P3S/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 13 mar. 2022.
- GOLDEMBERG, J.; NIGRO, F. E. B.; COELHO, S. T. **Bioenergia no Estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2008.

GRIGORAS, G.; SCARLATACHE, F. **An assessment of the renewable energy potential using a clustering based data mining method. Case study in România.** Energy, Volume 81, 2015, Pages 416-429, ISSN 0360-5442, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.054>. Acesso em: 20 mar. 2022.

GUMIEIRO, D. da S.; SILVA, Â. A. da. **Industrialização do CO2 Produzido em Dornas de Fermentação, através da Reação de Conversão dos Açúcares em Etanol: Avaliação da Viabilidade Econômico-Financeira do Investimento.** 2015. Congresso dos TOC. Ordem dos Técnicos Oficiais de Contas. ISBN: 978-972-9171-86-4. Disponível em: <https://www.occ.pt/news/trabalhoscongv/pdf/17.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2022.

GURGEL, M. N. A. **Tecnologia para aproveitamento de resíduos da agroindústria sucroalcooleira como biofertilizante organomineral granulado.** Revista de Engenharia Agrícola, 2012. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/296866876.pdf>. Acesso em 14 jun. 2022.

GUTIERREZ, M. B. S. **A Comunicação Corporativa e as Políticas de Combate às Mudanças Climáticas: Teorias, Perspectivas e uma Avaliação do Uso das Redes Sociais no Caso do Brasil.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Boletim regional, urbano e ambiental | 24 | jul.- dez. 2020. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/brua24art13>. Acesso em: 02 fev. 2022.

HART, S.L.; MILSTEIN, M.B. **Criando Valor Sustentável.** Fundação Getúlio Vargas, Escola de Administração de Empresas de São Paulo. RAE Executivo, vol.3, nº 2 maio/julho 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.12660/gvexec.v3n2.2004.34820>. Acesso em: 06 fev. 2022

HEFNER III, R. A. **The Age of Energy Gases: China's Opportunity for Global Energy Leadership.** 2007. The GHK Company. Oklahoma City, Oklahoma. USA.

HENDRICKSON, R. G.; CHANG, A.; HAMILTON, R. J. **Co-Worker fatalities from hydrogen sulfide.** American Journal of Industrial Medicine, v. 45, p. 346-350, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ajim.10355>. Acesso em: 03 jun. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Renewables 2020. Analysis and forecast to 2025.** Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2020>. Acesso em: 25 abr. 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2021.** Disponível em: <http://iea.org/weo>. Acesso em: 25 out. 2021.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable Energy Sources.** 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/>. Acesso em: 25 abr. 2021.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Ensuring the uninterrupted availability of energy sources at an affordable price.** 2021. Our

work on energy security. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/energy-security>. Acesso em 26 abr. 2021

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>. Acesso em: 06 set. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Bases Cartográficas Contínuas**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 22 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **SIRGAS**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/sirgas.html>. Acesso em: 17 ago. 2021.

INSTITUTO **Fraunhofer-Gesellschaft**. Munique, Alemanha, 2022. Disponível em: <https://www.fraunhofer.de/>. Acesso em: 19 jun. 2022.

I-REC STANDARD FOUNDATION. **The International REC Standard Foundation**. 2022. Disponível em: <https://www.irecstandard.org/>. Acesso em 17 jun. 2022.

KONDRATENKO, E.V.; MUI, G.; BALTRUSAITIS, J.; LARRAZÁBAL, G. O.; PÉREZ-RAMÍREZ, J. **Status and perspectives of CO₂ conversion into fuels and chemicals by catalytic, photocatalytic and electrocatalytic processes**. Energy & environmental science, v. 6, n. 11, p. 3112-3135, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C3EE41272E>. Acesso em 29 jun. 2022.

KRETER, A.C.; PASTRE, R.; BASTOS FILHO, G.S. **Comércio exterior de produtos do agronegócio: Balanço de 2020 e perspectivas para 2021**. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Carta de Conjuntura. Número 50, nota de conjuntura 29, 1 ° trimestre de 2021. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/index.php/2021/03/comercio-exterior-de-produtos-do-agronegocio-balanco-de-2020-e-perspectivas-para-2021/>. Acesso em: 20 mai. 2021.

JAEGERSBERG, G.; URE, J. **Barriers to knowledge sharing and stakeholder alignment in solar energy clusters: Learning from other sectors and regions**. 2011. The Journal of Strategic Information Systems, Volume 20, Issue 4, 2011, Pages 343-354, ISSN 0963-8687. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2011.03.002>. Acesso em 23 mar. 2022.

JESUS, R. H. G. de. **Modelo de localização de biodigestor com ênfase em cluster de parceria estratégica para geração de bioenergia**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24358>. Acesso em: 17 mar. 2022.

KAUARK, F.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia da pesquisa: guia prático**. Itabuna: Via Litterarum, 2010. 88p.

KAUNDINYA, D. P.; BALACHANDRA, P.; RAVINDRANATH, N.H.; Veilumuthu ASHOK, V. **GIS (geographical information system)-based spatial data mining approach for optimal location and capacity planning of distributed biomass power generation facilities: A case study of Tumkur district, India**. Energy, Volume 52, 2013, Pages 77-88, ISSN 0360-5442. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.011>. Acesso em 21 mar. 2022.

KAZAKOV, E. **Attribute Based Clustering**. 2019. Disponível em: <https://github.com/eduard-kazakov/attributeBasedClustering>. Acesso em 22 jul. 2022.

KIMURA Júnior, A.; NORTE, N.; PALHETA, R.; PARENTE, R.; SBRAGLIA, R. **As empresas do ramo eletroeletrônico do polo industrial de Manaus sob o olhar conceitual dos clusters**. Amazon Business Research, [S.l.], n. 1, p. 74-85, jan. 2018. ISSN 2595-8909. Disponível em: <http://periodicos.uea.edu.br/index.php/abr/article/view/1078>. Acesso em: 21 mar. 2022.

KONARO, Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe - **Centre of Excellence for Renewable Resources**. Straubing, Alemanha. 2022 Disponível em: <https://www.konaro.de/>. Acesso em: 19 jun. 2022.

LAASASENAHO, K.; LENSU, A.; LAUHANEN, R.; RINTALA, J. **GIS-data related route optimization, hierarchical clustering, location optimization, and kernel density methods are useful for promoting distributed bioenergy plant planning in rural areas**. Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 32, 2019, Pages 47-57, ISSN 2213-1388. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.01.006>. Acesso em: 20 mar. 2022.

LEITÃO, F. O.; DA SILVA, W. H. **Geração de Energia e Renda a partir do Tratamento dos Resíduos da Suinocultura**. Informe GEPEC, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 116–132, 2018. DOI: 10.48075/igepec.v22i1.18024. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/gepec/article/view/18024>. Acesso em: 22 fev. 2022.

LEITE, C.; AWAD, J. C. M. **Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

LEONTIEF, W. **Input-Output Analysis**. 1987. em Eatwell, J., M. Milgate, e P. Newman (eds.). The New Palgrave. A Dictionary of Economics, vol. 2., pp.860-64.

LLOYD, S. **Least squares quantization in PCM**. IEEE transactions on information theory, v. 28, n. 2, p. 129-137, 1982. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1056489/>. Acesso em: 01 ago. 2022.

LOPES, F.G. **Ativos Ambientais White Paper 2020. RECs, Créditos de Carbono, CBIos e GAS-REC. Quais são as diferenças?** 2020. Disponível em:

https://www.institutototum.com.br/images/totum/arquivos/whitepaper_entendendo_ativos_ambientais.pdf. Acesso em: 10 jun. 2022.

LOPES, L. A. **Vinte anos de Proálcool: avaliações e perspectivas**. Economia & Empresa, v.3, n.2, p.49-57, abr./jun. 1996.

LORENZI, B. R.; ANDRADE, T. H. N. de. **O Etanol de Segunda Geração no Brasil: Políticas e Redes Sociotécnicas Disponível**. Rev. bras. Ci. Soc. 34 (100), 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/3410014/2019>. Acesso em: 24 ago. 2021.

LOSEKANN, L.; TAVARES, A. **Transição Energética e Potencial de Cooperação nos Brics em Energias Renováveis e Gás Natural**. Textos para Discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Brasília: Rio de Janeiro, 2021 - ISSN 1415-4765. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/210803_td_2680.pdf. Acesso em 22 jul. 2021. <http://dx.doi.org/10.38116/td2680>

MA, J.; SCOTT, N. R.; DEGLORIA, S. D.; LEMBO, A. J. **Siting analysis of farm-based centralized anaerobic digester systems for distributed generation using GIS**. 2005. Biomass and Bioenergy, Volume 28, Issue 6, 2005, Pages 591-600, ISSN 0961-9534, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.12.003>. Acesso em: 23 mar. 2022.

MACHADO, S.S. **Tecnologia da Fabricação do Açúcar**. 2012. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG)-Inhumas; Universidade Federal de Santa Maria; 56 p.: il. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/12/11_tecnologia_fabricacao_acucar.pdf. Acesso em: 20 jul. 2021.

MARAFON, A. C.; SALOMON, K. R.; AMORIM, E. L. C.; PEITER, F. S. **Use of sugarcane vinasse to biogas, bioenergy, and biofertilizer production. In: Sugarcane biorefinery, technology and perspectives**. Academic Press, 2020. p. 179-194. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814236-3.00010-X>. Acesso em 27 jun. 2022.

MARTIN, R.; SUNLEY, P. **Deconstructing clusters: chaotic concept or policy panacea?** Journal of economic geography, v. 3, n. 1, p. 5-35, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jeg/3.1.5>. Acesso em 02 jul.2022.

MARTINS, V. **Energia e Desenvolvimento: Porque o Brasil Precisa de Mmis Eficiência Energética**. 2018. Caderno Opinião. Fundação Getúlio Vargas Energia – FGV. Disponível em: <http://www.fgv.br/fgvenergia/ColunaOpinioNovembro-Energia-Desenvolvimento/files/assets/basic-html/page-1.html#>. Acesso em 25 abr. 2021.

MENDES, R. V. **O fomento ao empreendedorismo e à economia criativa na cidade do Recife: um estudo de caso sobre o Porto Digital**. 2019. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Indústrias Criativas. Mestrado em Indústrias Criativas, Recife,

2019. Disponível em: <http://tede2.unicap.br:8080/handle/tede/1361>. Acesso em: 10 mar. 2022

MILANEZ, A. Y.; SOUZA, J. A. P. de; MANCUSO, R. V. **Panoramas setoriais 2030: sucroenergético**. In: *Panoramas setoriais 2030: desafios e oportunidades para o Brasil*. Rio de Janeiro : Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017. p. [107]-121. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14245>. Acesso em: 29 jul. 2022.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; GARCIA, J. L. F.; XAVIER, C. E. O. **Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 31, p. 49-98, mar. 2010

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. Cambridge University Press, 2009.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Mapa Ferroviário Concessões Vigentes**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/map-ferro-concessoes-pdf>. Acesso em 03 nov. 2022.

MOLINARI, H. B. C. **Rede Pluricana: Contribuições e impactos para o Setor Sucroenergético**. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355063/32772467/Hugo+Molinari.pdf/72686627-11fa-113b-7926-3e96b3954817>. Acesso em: 03 nov. 2022.

MONTOYA, M.A.; ALLEGRETTI, G.; BERTUSSI, L.A.S.; TALAMINI, E. **Renewable and Non-renewable in the energy-emissions-climate nexus: Brazilian contributions to climate change via international trade**. *Journal of Cleaner Production*, Volume 312, 2021, 127700, ISSN 0959-6526. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621019181>. Acesso em 23 jul. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127700>.

MOREIRA, T. de M.; VERGES, P. H.; RIBEIRO, L. C. S. **Encadeamentos produtivos do complexo sucroalcooleiro no Brasil: a década de 2000 em uma nova abordagem da matriz insumo-produto**. Repositório do Conhecimento do IPEA. Pesquisa e planejamento econômico, ppe, v. 44, n. 2, ago. 2014. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/3452>. Acesso em: 12 out. 2021.

MUTHUKRISHNAN. **Mathematics behind K-Mean Clustering algorithm**. 2018. Disponível em: <https://muthu.co/mathematics-behind-k-mean-clustering-algorithm/#:~:text=K%2DMeans%20is%20one%20of,is%20to%20the%20cluster%20centroid>. Acesso em: 01 ago. 2022.

NEVES, M. F.; KALAKI, R. B. **Bioenergy from sugarcane**. 2020. Livro Eletrônico 1. ed. Guariba, SP: Socicana, 2020. ISBN 978-65-993349-0-0.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G. **A dimensão do setor sucroenergetico**. Ribeirão Preto: Markestrat, 2014. Disponível em: <https://unica.com.br/wp-content/uploads/2019/06/A-Dimensao-do-Setor-Sucroenergetico.pdf>. Acesso em 23 jul. 2022.

NIGRI, E. M.; LEITE, W. de O.; FARIA, P. E.; ROMEIRO FILHO, E. **PRODUÇÃO INTEGRADA: Aplicação de Novas Tecnologias e Formas de Gestão Para Diminuição de Custos e Impactos Ambientais no Processo de Produção de Cachaça**. 2011. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Caxias do Sul. Disponível em: <http://alvarestech.com/temp/cobef2011/grima.ufsc.br/cobef2011/media/trabalhos/COF11-0427.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2022.

NOCACANA, Portal. **Cana-energia, a revolução sucroenergética está começando**. 2015. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/cana/variedades/especial-cana-energia-revolucao-sucroenergetica-201015>. Acesso em: 08 abr. 2021.

NOCACANA, Portal. **ProÁlcool: 40 anos de improviso**. 2015. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/proalcool-40-anos-improviso-121115>. Acesso em: 04 abr. 2021.

NOCACANA, Portal. **Cogeração: como funciona a produção de energia elétrica numa usina sucroalcooleira**. 2021. Disponível em: <https://www.novacana.com/usina/cogerao-como-funciona-producao-energia-eletrica>. Acesso em: 26 jul. 2021.

ODDONE, D. C. **Cogeração: uma alternativa para produção de eletricidade**. 2001. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

OLANYK, L. Z.; SCHIRMER, W.N.A. **Matriz Energética Brasileira, Biocombustíveis e Emissões Atmosféricas**. Revista *Ambiência*, v.8 (suplemento) – ISSN 2175-9405. 1º Congresso do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais da Unicentro Guarapuava, 05 a 08 de novembro de 2012. Disponível em: <https://bityli.com/MXohg>. Acesso em: 03 fev. 2022.

OLIVEIRA, G.; CURI, A.Z.; FELINI, P.S.; FICARELLI, T.R.A. **Impactos Socioeconômicos e Ambientais da Geração de Energia Eólica no Brasil**. 2020. Disponível em: https://epbr.com.br/wp-content/uploads/2021/02/ABEEolica_GO-Associados-V.-Final.pdf. Acesso em: 23 nov. 2021.

PARANÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Paraná. **Lei 19.500 - 21 de Maio de 2018**. Dispõe sobre a Política Estadual do Biogás e Biometano e adota outras providências. Disponível em: http://portal.alep.pr.gov.br/modules/mod_legislativo_arquivo/mod_legislativo_arquivo.php?leiCod=51410&tipo=L&tlei=0. Acesso em: 15 jun. 2022.

PACHECO, G.; SILVA, F. F. **Utilização de resíduos gerados por indústria do setor sucroalcooleiro, pela RAUDI Indústria e Comércio LTDA, na produção de bicarbonato de sódio**. *Agro@ambiente On-line*, v. 2, n. 1, 2008. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ2012062104>. Acesso em: 23 fev. 2022.

PEIXOTO, E. M. A. Enxofre. Química Nova na Escola. São Paulo: Instituto de Química, Universidade de São Paulo. ISSN: 0104-8899 n. 16, p. 51, 2002. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001286691>. Acesso em: 01 jun. 2022.

PELLEGRINI, L. F.; OLIVEIRA JUNIOR S. Combined production of sugar, ethanol and electricity: Thermoeconomic and environmental analysis and optimization. Energy, v.36, p.3704-3715, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054421000438X>. Acesso em: 30 nov. 2021.

PEREIRA, C. N.; SILVEIRA, J. M. F. J. **Análise exploratória da eficiência produtiva das usinas de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil.** Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 54, p. 147-166, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005401008>. Acesso em: 12 ago. 2022.

PERERA, A. **Finding the optimal number of clusters for K-Means through Elbow method using a mathematical approach compared to graphical approach.** 2017. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/finding-optimal-number-clusters-k-means-through-elbow-asanka-perera/>. Acesso em: 03 ago. 2022.

PETROBRAS. **Se a Petrobras aumentar a produção de petróleo isso impactará o preço da gasolina.** Disponível em: <https://duvidasgasolina.petrobras.com.br/>. Acesso em: 22 ago. 2021.

POGGI, F.; FIRMINO, A.; AMADO, M. (2018). **Clusters municipais de bioenergia: um contributo para a prevenção de incêndios florestais.** Finisterra, 53(108), 39-52. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/13717>. Acesso em 17 mar. 2022.

PORTAL HIDROGÊNIO VERDE, Aliança Brasil Alemanha. **Campeão na produção de etanol, Brasil tem vantagens na era do hidrogênio verde.** 2021. Artigo. Disponível em: <https://www.h2verdebrasil.com.br/noticia/campeonato-na-producao-de-etanol-brasil-tem-vantagens-na-era-do-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 06 nov. 2021.

PORTER, Michael E. **Competição: Estratégias competitivas essenciais.** Rio de Janeiro: Campus, 1999.

PORTER, M. E. **Clusters and the New Economics of Competition.** Cambridge, MA: Harvard Business School Press, 1998.

PORTER, M. E. **Location, competition, and economic development: Local clusters in a global economy.** Economic development quarterly, 14(1), 15 -34. 2000. Universidade de Illinois. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=1506365>. Acesso em: 18 mar. 2022.

PORTER, M. E. **Clusters and Economic Policy: Aligning Public Policy with the**

New Economics of Competition. Institute for Strategy and Competitiveness, 2009. Disponível em: <https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=46864>. Acesso em: 09 mar. 2022.

PRADO, E. F. S. **Estrutura tecnológica e desenvolvimento regional.** São Paulo: USP, 1981.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD); Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA); AGENDA 2030. **Plataforma Agenda 2030.** Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/ods/7/>. Acesso em: 02 ago. 2021

QAZI, A; HUSSAIN, F.; RAHIM, N.ABD.; HARDAKER, G.; ALGHAZZAWI, D.; SHABAN, K.; HARUNA, K. **Towards Sustainable Energy: A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions.** IEEE Access, vol. 7, pp. 63837-63851, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2906402. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8721134>. Acesso em: 06 fev. 2022.

QGIS. **QGIS 3.22.7-'Białowieża.** 2022. Programa de computador. Disponível em: <http://qgis.org>. Acesso em: 05 mai. 2022.

REC BRAZIL. **Certificado de Energia Renovável.** Disponível em: <https://recbrazil.com.br/>. Acesso em: 17 jun. 2022.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROENERGÉTICO (RIDESA). 2022. **Site Oficial.** Disponível em: www.ridesa.com.br. Acesso em: 03 nov. 2022.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION (RFA). **World Fuel Ethanol Production by Region.** Markets & Statistics. 2021. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>. Acesso em: 25 jul. 2021

RODRIGUES, G. S. de S. C.; ROSS, J. L. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental.** – Uberlândia: EDUFU, 2020. ISBN: 978-65-86084-00-9. DOI: 10.14393/EDUFU/978-65-86084-00-9

RODRIGUES, J. A. R. **Do engenho à biorrefinaria. A usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis.** Quim. Nova, Vol. 34, No. 7, 1242-1254, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000700024>. Acesso em: 22 out. 2021.

SAKAKURA, T.; CHOI, J.; YASUDA, H. **Transformation of carbon dioxide.** Chemical reviews, v. 107, n. 6, p. 2365-2387, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/cr068357u>. Acesso em: 29 jun. 2022.

SAMPAIO, P.E. **Entendendo k-Means, agrupando dados e tirando camisas.** 2018. Disponível em: <https://pauloesampaio.medium.com/entendendo-k-means-agrupando-dados-e-tirando-camisas-e90ae3157c17>. Acesso em 02 ago. 2022.

SANTOS, F.; MACHADO, P. E. G.; MATTIA, J. de; SOUZA, G. de. **Chapter 2 - By-products of the sugarcane industry**. Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives, Academic Press, 2020, p.21-48, ISBN 9780128142363, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814236-3.00002-0>. Acesso em: 14 mai. 2021.

SANTOS, G. R. (Org.). **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas**. 1. ed. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 2016. v. 1. 324p. ISBN: 978-85-7811-269-1. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6035>. Acesso em: 16 jun. 2022.

SANTOS, T.; SILVA JÚNIOR, C. H. F. da.; SILVA, F. A. F. da; FÉLIX, S. L. S.; PORTO, L. F. de S.; MARCIANO, V. de M. **MERCOSUL+ 2 e Segurança Energética: Uma Análise Comparada das Interpretações do Conceito e das Políticas Energéticas Nacionais**. Proceedings of the IX ENABED-Encontro Nacional de Estudos de Defesa, Florianópolis, Brasil, p. 6-8, 2016. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/ptbr/arquivos/ensino_e_pesquisa/defesa_academia/cadn/artigos/XIII_cadn/mercosul_2_e_seguranca_energetica_uma_analise_comparada_das_interpretacoes_do_conceito_e_das_politicas_energeticas_nacionais.pdf. Acesso em: 02 fev. 2022.

SCHMIDT, V.K. **Resiliência de cluster: um estudo no cluster vinícola da Serra Gaúcha**. 2020. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/212049>. Acesso em: 03 mar. 2022.

SETTEN, A. de M. **Infraestrutura logística de exportação de açúcar e etanol no centro-sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado Profissional em Agronegócios) - Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas - FGV, São Paulo, 2010.

SHIKIDA, P. F. A. **A evolução diferenciada da agroindústria canvieira no Brasil de 1975 a 1995**. 1997. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997. Disponível em: [doi:10.11606/T.11.2020.tde-20200111-134404](https://doi.org/10.11606/T.11.2020.tde-20200111-134404). Acesso em: 16 abr. 2021.

SILVA, A. A. da ; CASTRO, C. H. de; FERNANDES, L. C. de A. T. **Avaliação de Dificuldades para Recuperação do Setor Sucroenergético no Estado de Alagoas**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 06, Vol. 03, pp. 23-31, Junho de 2018. ISSN:2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/administracao/setor-sucroenergetico>. Acesso em: 25 jul. 2022.

SILVA, A. F. M. S.; GOMES, G. N.; BACCHI, M. R. P. **A importância das cadeias da cana-de-açúcar: uma análise insumo-produto**. Economia Ensaios, Uberlândia, 33(2): 149-174, Jan./Jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/REE-v33n2a2019-37521>. Acesso em: 12 out. 2021.

SILVA, J.M.D.; ANDRADE, M. E. A. de. **O Estado como Indutor das Indústrias Criativas: um mapeamento dos condicionantes da gênese e evolução do Porto Digital e do PORTOMÍDIA**. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO, 40. Anais. 2017, Curitiba. Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação. Disponível em: <https://portalintercom.org.br/anais/nacional2017/resumos/R12-2385-1.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2022

SILVA, J. P.N. da; SILVA, M. R. N. da. **Noções da cultura da cana-de-açúcar**. – Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 105 p.

SILVA, M. L.; MEZZARI, M. P. **Tratamento e purificação de biogás-Capítulo IV**. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato, p. 70-89, 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1108617/1/LivroBiogas.pdf>. Acesso em 08 jun. 2022.

SILVA, R. G.; DELBONI, C.; GONÇALES FILHO, M. **Reconhecimento da Escassez de Investigação Científica sobre a Produção da Cana-de-Açúcar no Setor Sucroenergético**. Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE, p. 143-156, 2020. Disponível em: <https://www.periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/29151>. Acesso em 13 jun. 2022.

SILVANO, T. P.; CORREA, B. M. **Plugin de Visualização de Dados Multivariados em Mapas Coropléticos**. Disponível em: <https://github.com/tiagoPrudencio/ClusterMap/blob/master/project.pdf>. Acesso em 29 jul. 2022.

SILVANO, T. P.; CORREA, B. M.; BORBA, P.; BARBOSA, I. **Clustermap: Plugin de Visualização de Dados Multivariados em Mapas Coropléticos**. Disponível em: <https://github.com/tiagoPrudencio/ClusterMap/blob/master/documentation.pdf>. Acesso em 29 jul. 2022.

SILVESTRE, B. dos S.; DALCOL, P. R. T. **As abordagens de clusters e de sistemas de inovação: modelo híbrido de análise de aglomerações industriais tecnologicamente dinâmicas**. Revista Gestão Industrial, v. 2, n. 4, 2006. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/96>. Acesso em: 29 jul. 2022.

SIMAS, M; PACCA, S. **Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável**. Estudos avançados, v. 27, n. 77, p. 99-116, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142013000100008>. Acesso em 06 fev. 2022

SOAKLEY. **What is the mathematical definition of the 'Elbow Method'?**, 2021. Disponível em: <https://stats.stackexchange.com/q/508814>. Acesso em: 03 ago.2022.

SONG, C. **Global challenges and strategies for control, conversion and utilization of CO2 for sustainable development involving energy, catalysis,**

adsorption and chemical processing. *Catalysis today*, v. 115, n. 1-4, p. 2-32, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2006.02.029>. Acesso em: 29 jun. 2022.

SOUTO, T.J.M.P.; COELHO, A.C.D.; HOLANDA, R.M. de; MORAES, A.S.; PAZ, Y.M.; SILVA, R.J. **Viabilidade da Bioeletricidade a Partir da Cana-de-Açúcar.** 2018 *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 11, n. 2, p. 409-429, abr./jun. 2018 - ISSN 1981-9951 - e-ISSN 2176-9168. Maringá, PR. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n2p409-429>. Acesso em 07 fev. 2022

SOUZA, Z.J. de. **A bioeletricidade e a Semana do Meio Ambiente.** 2021. Artigo. União da Indústria de Cana-de-açúcar. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/artigo-bioeletricidade-meio-ambiente/>. Acesso em: 02 jul. 2021.

STENNER, C. **A Geografia da cana-de-açúcar.** Dinâmica territorial da produção agropecuária. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Coordenação de Geografia. - Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 172p. ISBN 978-85-240-4443-4. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101436>. Acesso em: 20 jul. 2021.

TEMPORAL, J. **Como definir o número de clusters para o seu KMeans.** 2019. Disponível em: <https://medium.com/pizzadedados/kmeans-e-metodo-do-cotovelo-94ded9fdf3a9>. Acesso em: 01 ago. 2022.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção. Estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas.** 2012. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. Disponível em: http://www.marco.eng.br/adm-organizacao-I/Apostila_Metodologia_Completa_2012_%20UNIFEI.pdf. Acesso em: 27 out. 2021.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Observatório da Cana.** 2021. Disponível em: <https://observatoriodacana.com.br/>. Acesso em: 13 mai. 2021.

VAN GRINSVEN, H. J. M.; VAN EERDT, M. M.; WESTHOEK, H.; KRUITWAGEN, S. **Benchmarking eco-efficiency and footprints of Dutch agriculture in European context and implications for policies for climate and environment.** *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 3, p. 13, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00013>. Acesso em: 30 mai. 2022.

VIDAL, M. D. F. (2019). **Produção e uso de biocombustíveis no Brasil.** Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 4, n.79, maio 2019. Caderno Setorial ETENE, n.79. Disponível em: <https://cultura.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/630>. Acesso em: 03 fev. 2022

VIDAL, R. M. de C. e S.; PRIMO, M. A. M.; SANTOS, C. I. **Que fatores facilitam a gestão do conhecimento em um *cluster* de empresas?** 2009. *Revista*

Espacios, Vol 30 (3). Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a09v30n03/093003101.html>. Acesso em: 02 jul. 2022.

VIOLA, E.; FRANCHINI, M. **Os limiares planetários, a Rio+ 20 e o papel do Brasil**. Cadernos Ebape. BR, 10, 470-491. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1679-39512012000300002>. Acesso em: 03 fev. 2022.

VIVIANO, F. **How the Netherlands feeds the world**. 2017. National Geographic Magazine. Disponível em: https://investinholland.com/wp-content/uploads/2019/06/NFIA-National-Geographic-Article_final-A4.pdf. Acesso em: 13 jun. 2022.

WORLD BANK. **Tracking SDG 7: The Energy Progress Report**. World Bank, Washington DC., jun. 2021. IEA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO. License: Creative Commons Attribution—NonCommercial 3.0 IGO (CC BYNC 3.0 IGO). Disponível em: <https://trackingsdg7.esmap.org/>. Acesso em 02 ago. 2021.

APÊNDICE 1 – RESULTADO DA CLUSTERIZAÇÃO ESPACIAL

<i>Cluster</i>	Empreendimento	UF
1	Água Bonita	SP
	Alcídia	SP
	Alcomira	SP
	Alcoolvale	MS
	Amandina	MS
	Amandina II	MS
	Angélica	MS
	Atena	SP
	Benálcool	SP
	Bio Coopcana	PR
	Branco Peres	SP
	BVE Antiga Ceni	SP
	Caarapó	MS
	Centro Oeste Iguatemi	MS
	Cerona	MS
	Clealco Clementina	SP
	Clealco Queiroz	SP
	Cocal	SP
	Cocal II	SP
	Cocamar Maringá	PR
	Cofercatu	PR
	Conquista do Pontal	SP
	Coocarol	PR
	Coopernavi	MS
	Cooperval	PR
	Costa Bioenergia	PR
	Da Mata	SP
	Da Mata 2	SP
	Dacal	SP
	Dacalda	PR
	Decasa	SP
	Destilaria de Álcool Ibaiti	PR
	Destilaria Melhoramentos	PR
	Destilaria Melhoramentos - Nova Londrina	PR
	Destivale	SP
	Eldorado	MS
	Eldorado Unidade Nova Andradina	MS
	Energética Santa Helena	MS
	Fany	SP
	Fátima do Sul Agroenergética Álcool e Açúcar	MS
Gasa	SP	

Cluster	Empreendimento	UF
1	Goioerê	PR
	Granol OC	SP
	Ibéria	SP
	Iguatemi Antiga Santa Terezinha Iguatemi	PR
	Interlagos	SP
	Ipê Antiga Ceni	SP
	Jacarezinho	PR
	Laguna	MS
	LDC Bioenergia Rio Brilhante	MS
	Lucélia	SP
	Madecal	SC
	Maracaí	SP
	Monteverde	MS
	Mumbuca	SP
	Mundial	SP
	Paranapanema	SP
	Passa Tempo	MS
	Pau DAlho	SP
	Paulicéia	SP
	Perobálcool	PR
	Pioneiros	SP
	Pioneiros II	SP
	Quatá	SP
	Raízen Paraguaçu	SP
	Rio Vermelho	SP
	Rio Vermelho 2	SP
	Rio Vermelho 3	SP
	Sabarálcool	PR
	Safi	MS
	Santa Helena	MS
	Santa Hermínia	SP
	Santa Luzia I	MS
	Santa Terezinha	PR
	Santa Terezinha Ivaté	PR
	Santa Terezinha Paranacity	PR
	São Tomé	PR
	Tarumã Antiga Nova América	SP
	Termocana	PR
	Trombini	SC
	UFA	SP
UFL	PR	
UJU	PR	
UJU Bio	PR	
Unialco	SP	

Cluster	Empreendimento	UF
1	Univalem	SP
	Univalem Bioenergia	SP
	Urbano Jaraguá	SC
	Usaciga	PR
	Usaçúcar Terra Rica	PR
	Usalpa	SP
	USI Antiga Unidade Santo Inácio USI	PR
	USI BIO	PR
	Vale do Ivaí	PR
	Vale do Ivaí Cambuí	PR
	Vale do Paraná	SP
	Vicentina	MS
	Viralcool Castilho	SP
	Viralcool Castilho 2	SP
	Vista Alegre I Antiga Energética Vista Alegre	MS
	Vista Alegre II	MS
2	Agrovale	BA
	Baía Formosa	RN
	BEN Bioenergia	AL
	Bioflex Caeté	AL
	Bom Jesus	PE
	Campo Lindo	SE
	Capricho	AL
	Central Olho D Água	PE
	Cepasa	PE
	COAF	PE
	Coruripe	AL
	Cucaú	PE
	CVW Energética	AL
	Destilaria Porto Alegre	AL
	Estivas	RN
	Giasa II	PB
	Guaxuma	AL
	Iolando Leite	SE
	Ipojuca	PE
	Itaenga	PE
	Japungu	PB
	JB	PE
	Jitituba Santo Antônio	AL
	Junco Novo	SE
	Laginha Matrix	AL
	Laranjeiras	PE
	Marituba	AL
Miriri	PB	

Cluster	Empreendimento	UF
2	Monte Alegre2	PB
	Paísa	AL
	Petribu	PE
	Pindorama	AL
	Pirapama	PE
	Porto Alegre	AL
	Pumaty	PE
	Ribeirão	PE
	Salgado	PE
	Sali	AL
	Santa Maria Açucareira	AL
	Santa Teresa	PE
	São José PE	PE
	São José do Pinheiro	SE
	Seresta	AL
	Serra Grande	AL
	Sinimbu	AL
	Sumaúma	AL
	Tabu	PB
	Taquari	SE
	Trapiche	PE
	Triunfo	AL
	Una Açúcar e Energia	PE
	União	PE
Uruba	AL	
Vitória	PE	
3	JAYORO	AM
4	Asolo 2	GO
	Barralcool	MT
	Bio Alvorada	MG
	Boa Vista	GO
	Bom Sucesso	GO
	Cachoeira Dourada	GO
	Caçú I	GO
	Cambuí	GO
	Canápolis	MG
	Canápolis 2	MG
	Caramuru Itumbiara	GO
	Caramuru Sorriso	MT
	Carneirinho	MG
	CEM Antiga Camen	GO
	Codora	GO
	Colombo Santa Albertina	SP
	Cooper Rubi	GO

Cluster	Empreendimento	UF
4	Coprodia	MT
	Coruripe Açúcar e Álcool	MG
	Coruripe Iturama	MG
	CRV	GO
	Entre Rios	GO
	Esplanada Antiga Jalles Machado	GO
	Floresta	GO
	Gameleira	MT
	Goianésia	GO
	Goiasa	GO
	Iaco Agrícola	MS
	Itamarati	MT
	Ituiutaba	MG
	Itumbiara	GO
	Jaciara	MT
	Jataí	GO
	Lago Azul	GO
	Limeira do Oeste	MG
	Manacá	GO
	Nardini Aporé	GO
	NG Bioenergia I	GO
	Nova Geração	GO
	Novo Milênio	MT
	Panorama	GO
	Pantanal	MT
	Porto das Águas	GO
	Porto das Águas II	GO
	Quirinópolis	GO
	Rio Claro de Goiás	GO
	Santa Helena Açúcar e Álcool	GO
	Santa Vitória	MG
	São Martinho Boa Vista	GO
	São Simão	GO
	Serranópolis	GO
	Sonora	MS
	Triálcool	MG
	Tropical Bioenergia	GO
	Tropical Bioenergia II	GO
	Unidade de Bioenergia Água Emendada	GO
	Unidade de Bioenergia Alto Taquari	MT
Unidade de Bioenergia Costa Rica	MS	
Unidade de Bioenergia Morro Vermelho	GO	
Vale do Pontal Antiga Cabrera	MG	
Vale do Pontal 2	MG	

Cluster	Empreendimento	UF
4	Vale do São Simão	MG
	Vale do Verdão	GO
	Vale do Verdão 2	GO
5	Agrisa Agroindustrial São João Sa	RJ
	Agropéu	MG
	Alcon	ES
	Bioenergética Vale do Paracatu BEVAP	MG
	Canabrava	RJ
	Dasa	MG
	DVPA	MG
	Enervale	MG
	Jatiboca	MG
	Lasa	ES
	LDC Bioenergia Lagoa da Prata	MG
	Paineiras	ES
	PAM Destilaria	MG
	São Judas Tadeu	MG
	Sérgio Paranhos	BA
WD	MG	
6	Comvap	PI
	Energética Itajubara	MA
	Floraplac	PA
	Pagrisa	PA
	Pedro Afonso	TO
	TG AGRO	MA
7	Agroalcool	SP
	Água Limpa	SP
	Albertina	SP
	Alta Mogiana	SP
	Alvorada	MG
	Aralco	SP
	Artivinco Antiga Rio Pardo	SP
	Baldin	SP
	Bambuí	MG
	Barra Bioenergia	SP
	Barra Grande 2	SP
	Barra Grande Lençóis	SP
	Batatais	SP
	Bazan	SP
	Bela Vista	SP
	Bellão Schiavon	SP
	Bem Brasil	MG
	Bertolo Açúcar e Álcool	SP
Bioenergia Mococa	SP	

Cluster	Empreendimento	UF
7	Biolins	SP
	Boituva	SP
	Bom Retiro	SP
	Bonfim	SP
	Bortolo Carolo	SP
	Brotas	SP
	Brotas II	SP
	Buriti	SP
	Buriti2	SP
	Campo Florido	MG
	Canaã	SP
	Casa de Força	SP
	Catanduva	SP
	Catanduva I Antiga Cerradinho	SP
	Central Energética Alta Mogiana	SP
	Central Energética Ribeirão Preto Antiga Galo Bravo	SP
	Cerba	SP
	Cerradão	MG
	Cerradão 2	MG
	Cerradão 3	MG
	CET Antiga Bioenergética Aroeira	MG
	Cevasa	SP
	Citrosuco	SP
	Citrovita Catanduva	SP
	Coinbra Frutesp	SP
	Coinbra2 Frutesp	SP
	Colombo Ariranha	SP
	Colombo Ariranha 2	SP
	Colombo Palestina	SP
	Colorado	SP
	Conquista de Minas	MG
	Continental	SP
	Cooperfrigo	SP
	Coplasa	SP
	Coraci	SP
	Córrego Azul	SP
	Coruripe Energética Filial Campo Florido	MG
	Costa Pinto	SP
	Da Pedra	SP
	Della Coletta	SP
	Delos	SP
Delta	MG	
Destil	SP	
Destilaria Guaricanga	SP	

Cluster	Empreendimento	UF
7	Destilaria Malosso	SP
	Diamante	SP
	Diana	SP
	Dois Córregos	SP
	Dulcini	SP
	Energética Tupaciguara	MG
	Equipav	SP
	Equipav II	SP
	Ester	SP
	Fartura	SP
	Ferrari	SP
	Figueira Indústria e Comércio	SP
	Fischer	SP
	Fronteira	MG
	Frutal	MG
	Furlan	SP
	Furlan Avaré	SP
	Galvani	SP
	Generalco	SP
	Grizzo	SP
	Guaíra Energética	SP
	Guarani	SP
	Guarani Andrade	SP
	Guarani Tanabi	SP
	Guarani Cruz Alta	SP
	Guarani Cruz Alta 2	SP
	Guarani Tanabi 2	SP
	Guariroba	SP
	Iacanga	SP
	Ibitiúva Bioenergética Antiga Destilaria Andrade	SP
	Ipaussu Bioenergia	SP
	Ipiranga Mococa	SP
	Ipiranga Descalvado	SP
	Iracema	SP
	Itaiquara	SP
	Itapagipe	MG
	J L G	SP
	J Pilon	SP
	José Bonifácio	SP
	Junqueira	SP
LDC Bioenergia Leme Cresciumal	SP	
Lins	SP	
Londra	SP	
Louis Dreyfus Commodities Agroindustrial	SP	

Cluster	Empreendimento	UF
7	Lwarcel	SP
	Mandu	SP
	MB	SP
	Mendonça	SP
	Meridiano I Antiga Meridiano	SP
	Meridiano II Antiga Noble Energia II	SP
	Moema	SP
	Mogiana BioEnergia	SP
	Monções	SP
	Monte Alegre	MG
	Monterey	SP
	Moreno	SP
	Müller Destilaria	SP
	N O Bioenergia	SP
	Nardini	SP
	Nova Moreno	SP
	Nova Tamoio	SP
	Novo Horizonte	SP
	Ouroeste	SP
	Panorâmica	SP
	Passos	MG
	Pederneiras	SP
	Pitangueiras	SP
	Potirendaba I Antiga Cerradinho Potirendaba	SP
	Rafard	SP
	Rio Pardo	SP
	Rosa SA Indústria e Comércio de Produtos Agrícolas	SP
	Ruette	SP
	Santa Adélia	SP
	Santa Cândida I	SP
	Santa Cândida II	SP
	Santa Clara	SP
	Santa Cruz AB Antiga Ometto	SP
	Santa Elisa Unidade I	SP
	Santa Elisa Unidade II	SP
	Santa Fé	SP
	Santa Helena2	SP
	Santa Inês	SP
	Santa Isabel	SP
	Santa Juliana	MG
Santa Lúcia	SP	
Santa Maria de Lençóis	SP	
Santa Rita	SP	
Santa Rosa	SP	

Cluster	Empreendimento	UF
7	Santo Ângelo	MG
	Santo Antônio	SP
	Santo Antônio	SP
	São Domingos	SP
	São Francisco	SP
	São Francisco	SP
	São João	SP
	São João da Boa Vista	SP
	São José	SP
	São José2	SP
	São José 2 Antiga Planalto Bioenergia	SP
	São José Colina	SP
	São José da Estiva	SP
	São Luiz	SP
	São Luiz2	SP
	São Manoel	SP
	São Martinho	SP
	São Martinho Bioenergia	SP
	São Martinho Energia	SP
	Sebastianópolis I Antiga Noroeste Paulista	SP
	Sebastianópolis II Antiga Noble Energia	SP
	Selecta	MG
	Sobar	SP
	TGN	SP
	Total	MG
	Triângulo	MG
	Uberaba	MG
	Uberaba 2	MG
	Usina da Pedra	SP
	Usina da Serra	SP
	Vale	SP
	Vale do Rosário	SP
	Vale do Tijuco	MG
	Vale do Tijuco II	MG
	Veríssimo	MG
	Vertente	SP
	Viralcool	SP
	Viralcool 2	SP
	Virgolino de Oliveira Fazenda Canoas	SP
	Virgolino de Oliveira Itapira	SP
Vista Alegre	SP	
Volta Grande	MG	
Zanin	SP	

**APÊNDICE 2 – RESULTADO DA CLUSTERIZAÇÃO DAS USINAS DO
PARANÁ**

Cluster	Empreendimento	Potencia (kW)
1	Dacalda	6.000
	Destilaria de Álcool Ibaiti	3.600
	Jacarezinho	20.000
2	Costa Bioenergia	15.000
	Goioerê	15.000
	Perobálcool	2.400
	Santa Terezinha	50.500
	Santa Terezinha Ivaté	9.000
3	Cofercatu	4.000
	Santa Terezinha Paranacity	36.000
	UFL	42.000
	UJU	30.000
	UJU Bio	55.000
	USI	35.000
	USI BIO	43.000
4	Cocamar Maringá	13.000
	Cooperval	3.600
	Destilaria Melhoramentos	40.000
	Iguatemi	3.400
	Sabarálcool	4.365
	Vale do Ivaí	18.400
	Vale do Ivaí Cambuí	3.600
5	Bio Coopcana	50.000
	Coocarol	10.000
	Destilaria Melhoramentos Nova Londrina	7.600
	São Tomé	5.775
	Termocana	9.500
	Usaciga	40.000
	Usaçúcar - Terra Rica	16.500

APÊNDICE C – RESULTADO DA CLUSTERIZAÇÃO POR POTÊNCIA

Cluster	Empreendimento	UF	Potência (kW)
1	Agrisa Agroindustrial São João Sa	RJ	5.000
	Agroalcool	SP	1.200
	Água Limpa	SP	2.760
	Albertina	SP	4.000
	Alcomira	SP	2.400
	Alcoolvale	MS	4.200
	Alvorada	MG	8.000
	Aralco	SP	4.800
	Artivinco Antiga Rio Pardo	SP	4.500
	Atena	SP	2.800
	Batatais	SP	8.400
	Bellão Schiavon	SP	650
	Bem Brasil	MG	2.125
	Benálcool	SP	4.200
	Bertolo Açúcar e Álcool	SP	3.800
	Boituva	SP	1.380
	Bom Jesus	PE	3.200
	Bom Retiro	SP	3.600
	Bortolo Carolo	SP	11.000
	Branco Peres	SP	15.000
	Buriti	SP	5.000
	Canápolis	MG	15.000
	Capricho	AL	2.400
	Caramuru Itumbiara	GO	8.500
	Caramuru Sorriso	MT	9.696
	Catanduva	SP	12.000
	Central Energética Ribeirão Preto Antiga Galo Bravo	SP	9.000
	Centro Oeste Iguatemi	MS	4.000
	Cepasa	PE	5.000
	Cerba	SP	360
	Citrosuco	SP	7.000
	Citrovita Catanduva	SP	15.000
	Clealco Clementina	SP	11.200
	COAF	PE	12.000
	Cocamar Maringá	PR	13.000
	Cofercatu	PR	4.000
	Coinbra Frutesp	SP	8.000
	Coinbra2 Frutesp	SP	5.000
	Colombo Palestina	SP	15.000
	Conquista de Minas	MG	3.600
Continental	SP	8.000	
Coocarol	PR	10.000	

Cluster	Empreendimento	UF	Potência (kW)
1	Cooperfrigo	SP	4.000
	Coopernavi	MS	12.000
	Cooperval	PR	3.600
	Coplasa	SP	10.000
	Coraci	SP	1.384
	Córrego Azul	SP	520
	Costa Bioenergia	PR	15.000
	CRV	GO	10.000
	Cucaú	PE	12.600
	Dacal	SP	4.400
	Dacalda	PR	6.000
	Dasa	MG	4.200
	Della Coletta	SP	8.600
	Delos	SP	700
	Destil	SP	8.949
	Destilaria de Álcool Ibaiti	PR	3.600
	Destilaria Guaricanga	SP	1.600
	Destilaria Malosso	SP	4.000
	Destilaria Melhoramentos - Nova Londrina	PR	7.600
	Destilaria Porto Alegre	AL	2.400
	Destivale	SP	5.000
	Diamante	SP	7.000
	Diana	SP	6.000
	Dois Córregos	SP	6.500
	Dulcini	SP	1.851
	Energética Itajubara	MA	4.400
	Energética Santa Helena	MS	3.200
	Fany	SP	1.200
	Fátima do Sul Agroenergética Álcool E Açúcar	MS	4.200
	Figueira Indústria e Comércio	SP	4.400
	Fischer	SP	5.000
	Floraplac	PA	1.250
	Fronteira	MG	2.600
	Furlan	SP	3.600
	Galvani	SP	11.500
	Gameleira	MT	4.032
	Generalco	SP	3.800
	Goianésia	GO	7.300
	Goioerê	PR	15.000
	Granol OC	SP	7.000
Grizzo	SP	1.968	
Guarani	SP	9.400	
Guarani Andrade	SP	14.000	
Guariroba	SP	12.000	

Cluster	Empreendimento	UF	Potência (kW)
1	Guaxuma	AL	14.312
	Iguatemi Antiga Santa Terezinha Iguatemi	PR	3.400
	Iolando Leite	SE	8.000
	Ipiranga Mococa	SP	7.000
	Ipiranga Descalvado	SP	4.000
	Ipojuca	PE	11.200
	Iracema	SP	14.000
	Itaiquara	SP	3.200
	Itapagipe	MG	6.000
	J L G	SP	1.600
	J Pilon	SP	3.800
	Jaciara	MT	2.800
	Jatiboca	MG	3.800
	JAYORO	AM	5.000
	Junco Novo	SE	1.200
	Junqueira	SP	14.700
	Laginha Matrix	AL	4.950
	Laranjeiras	PE	4.825
	Limeira do Oeste	MG	5.000
	Londra	SP	3.880
	Louis Dreyfus Commodities Agroindustrial	SP	4.000
	Lucélia	SP	12.000
	Lwarcel	SP	4.000
	Madecal	SC	3.200
	Manacá	GO	5.000
	Miriri	PB	11.300
	Monterey	SP	8.000
	Moreno	SP	10.000
	Müller Destilaria	SP	2.180
	Mumbuca	SP	1.520
	Mundial	SP	4.650
	Nova Geração	GO	6.200
	Nova Moreno	SP	15.504
	Nova Tamoio	SP	6.600
	Novo Milênio	MT	12.000
	Ouroeste	SP	12.000
	Pagrisa	PA	11.200
	Paineiras	ES	3.200
	Paísa	AL	4.400
	PAM Destilaria	MG	1.200
Panorâmica	SP	3.700	
Pantanal	MT	5.000	
Passos	MG	14.090	
Pau Dalho	SP	4.160	

Cluster	Empreendimento	UF	Potência (kW)
1	Pederneiras	SP	2.400
	Perobácool	PR	2.400
	Pindorama	AL	4.000
	Porto Alegre	AL	2.400
	Pumaty	PE	8.000
	Raízen Paraguaçu	SP	14.000
	Ribeirão	PE	6.400
	Rosa SA Indústria e Comércio de Produtos Agrícolas	SP	1.280
	Sabarácool	PR	4.365
	Safi	MS	4.640
	Salgado	PE	3.600
	Sali	AL	9.900
	Santa Clara	SP	302
	Santa Elisa Unidade II	SP	4.000
	Santa Helena	MS	10.000
	Santa Helena2	SP	4.800
	Santa Helena Açúcar e Álcool	GO	4.400
	Santa Hermínia	SP	1.200
	Santa Inês	SP	12.500
	Santa Lúcia	SP	4.968
	Santa Maria Açucareira	AL	4.600
	Santa Maria de Lençóis	SP	3.040
	Santa Rita	SP	6.400
	Santa Rosa	SP	2.760
	Santa Terezinha Ivaté	PR	9.000
	Santo Antônio	SP	1.160
	São Domingos	SP	12.000
	São Francisco	SP	4.200
	São José2	SP	4.800
	São Manoel	SP	14.800
	São Simão	GO	4.200
	São Tomé	PR	5.775
	Selecta	MG	11.400
	Seresta	AL	9.500
	Serranópolis	GO	10.000
	Sobar	SP	3.864
	Sumaúma	AL	4.000
	Tabu	PB	12.200
	Taquari	SE	8.000
	Termocana	PR	9.500
TG AGRO	MA	5.000	
TGN	SP	1.200	
Triálcool	MG	15.000	
Triunfo	AL	14.000	

Cluster	Empreendimento	UF	Potência (kW)
1	Trombini	SC	4.870
	Uberaba	MG	12.000
	Una Açúcar e Energia	PE	3.000
	Unialco	SP	6.800
	União	PE	10.000
	Univalem	SP	8.000
	Urbano Jaraguá	SC	3.000
	Uruba	AL	10.000
	Usalpa	SP	3.000
	Vale	SP	10.000
	Vale do Ivaí Cambuí	PR	3.600
	Vale do Verdão	GO	15.000
	Vale do Verdão 2	GO	4.720
	Veríssimo	MG	5.000
	Vicentina	MS	2.000
	Virgolino de Oliveira Fazenda Canoas	SP	5.000
	Virgolino de Oliveira Itapira	SP	5.800
	Vitória	PE	4.225
2	Agrovale	BA	16.000
	Água Bonita	SP	17.000
	Alcon	ES	33.000
	BambuÍ	MG	30.000
	Barralcool	MT	30.000
	Bom Sucesso	GO	16.000
	Brotas	SP	35.000
	Brotas II	SP	35.000
	BVE Antiga Ceni	SP	30.000
	CambuÍ	GO	20.000
	Campo Florido	MG	30.000
	Campo Lindo	SE	25.000
	Canaã	SP	30.000
	Carneirinho	MG	24.000
	Casa de Força	SP	16.400
	CEM Antiga Camen	GO	24.000
	Central Olho D Água	PE	30.000
	CET Antiga Bioenergética Aroeira	MG	16.000
	Cocal	SP	25.000
	Comvap	PI	23.500
	Cooper Rubi	GO	20.000
	Coprodia	MT	27.200
	Coruripe	AL	32.000
	Coruripe Açúcar e Álcool	MG	20.000
	Coruripe Energética Filial Campo Florido	MG	30.000
	Coruripe Iturama	MG	24.000

Cluster	Empreendimento	UF	Potência (kW)
2	Decasa	SP	33.000
	DVPA	MG	28.000
	Eldorado Unidade Nova Andradina	MS	22.000
	Energética Tupaciguara Antiga Central Energética Tupaciguara	MG	35.000
	Enervale	MG	30.000
	Estivas	RN	21.000
	Floresta	GO	20.000
	Frutal	MG	16.092
	Furlan Avaré	SP	30.000
	Giasa II	PB	30.000
	Guarani Cruz Alta 2	SP	25.000
	Guarani Tanabi 2	SP	34.000
	Ibéria	SP	16.520
	Ibitiúva Bioenergética Antiga Destilaria Andrade	SP	33.000
	Ipê Antiga Ceni	SP	25.000
	Jacarezinho	PR	20.000
	Japungu	PB	28.800
	JB	PE	30.000
	Jitituba Santo Antônio	AL	27.400
	José Bonifácio	SP	19.000
	Lago Azul	GO	21.700
	Laguna	MS	21.200
	Lasa	ES	33.000
	Lins	SP	16.000
	Marituba	AL	20.500
	MB	SP	16.400
	Mendonça	SP	30.000
	Meridiano II Antiga Noble Energia II	SP	30.000
	Mogiana BioEnergia	SP	33.000
	Monções	SP	22.000
	Monte Alegre	MG	16.000
	Monte Alegre2	PB	19.200
	Monteverde	MS	20.000
	N O Bioenergia	SP	28.000
Novo Horizonte	SP	30.000	
Panorama	GO	20.000	
Paulicéia	SP	33.750	
Petribu	PE	22.000	
Pioneiros	SP	32.000	
Pioneiros II	SP	35.000	
Pirapama	PE	25.000	
Rio Vermelho 3	SP	20.000	
Ruette	SP	28.000	
Santa Cândida I	SP	30.000	

Cluster	Empreendimento	UF	Potência (kW)
2	Santa Fé	SP	22.000
	Santa Teresa	PE	20.200
	Santa Terezinha Paranacity	PR	36.000
	Santo Antônio	SP	23.000
	São Francisco	SP	25.200
	São José PE	PE	26.205
	São José do Pinheiro	SE	17.500
	São Luiz2	SP	20.000
	Sebastianópolis II Antiga Noble Energia	SP	30.000
	Sérgio Paranhos	BA	22.500
	Serra Grande	AL	17.200
	Sinimbu	AL	18.000
	Sonora	MS	35.000
	Tarumã Antiga Nova América	SP	27.500
	Total	MG	25.000
	Trapiche	PE	26.000
	Tropical Bioenergia II	GO	32.000
	Uberaba 2	MG	35.000
	UJU	PR	30.000
	Usaúcar Terra Rica	PR	16.500
	USI Antiga Unidade Santo Inácio USI	PR	35.000
	Usina da Pedra	SP	35.000
	Usina da Serra	SP	16.200
	Vale do Ivaí	PR	18.400
	Vale do Pontal Antiga Cabrera	MG	25.000
	Vale do Pontal 2	MG	25.000
	Viralcool 2	SP	30.000
Viralcool Castilho 2	SP	25.000	
Vista Alegre II	MS	30.000	
Zanin	SP	16.000	
3	Agropéu	MG	51.600
	Alcídia	SP	38.100
	Amandina II	MS	40.000
	Asolo 2	GO	40.000
	Baía Formosa	RN	40.000
	Baldin	SP	45.000
	BEN Bioenergia	AL	53.000
	Bio Alvorada	MG	50.000
	Bio Coopcana	PR	50.000
	Bioenergética Vale do Paracatu BEVAP	MG	60.000
	Bioenergia Mococa	SP	45.000
	Biolins	SP	44.000
	Boa Vista	GO	40.000
	Cachoeira Dourada	GO	40.000

Cluster	Empreendimento	UF	Potência (kW)
3	Canabrava	RJ	44.000
	Canápolis 2	MG	40.000
	Central Energética Alta Mogiana	SP	50.000
	Cerradão	MG	54.000
	Cerradão 2	MG	40.000
	Cerradão 3	MG	40.000
	Cevasa	SP	54.000
	Colombo Ariranha 2	SP	40.000
	Colombo Santa Albertina	SP	50.000
	Colorado	SP	56.715
	CVW Energética	AL	40.000
	Da Mata	SP	50.000
	Destilaria Melhoramentos	PR	40.000
	Entre Rios	GO	50.000
	Equipav	SP	58.400
	Ester	SP	40.000
	Goiasa	GO	46.520
	Guaíra Energética	SP	55.000
	Guarani Tanabi	SP	38.000
	Iacanga	SP	53.000
	Interlagos	SP	40.000
	Itaenga	PE	47.000
	Itamarati	MT	37.500
	Ituiutaba	MG	56.000
	Itumbiara	GO	61.500
	LDC Bioenergia Leme Cresciumal	SP	39.600
	Maracaí	SP	51.000
	Meridiano I Antiga Meridiano	SP	60.000
	Nardini	SP	54.000
	NG Bioenergia I	GO	47.000
	Paranapanema	SP	60.000
	Potirendaba I Antiga Cerradinho Potirendaba	SP	40.200
	Quatá	SP	56.078
	Rafard	SP	50.000
Rio Claro de Goiás	GO	38.250	
Rio Pardo	SP	60.000	
Rio Vermelho	SP	40.000	
Rio Vermelho 2	SP	40.000	
Santa Adélia	SP	42.000	
Santa Cândida II	SP	55.000	
Santa Elisa Unidade I	SP	58.000	
Santa Isabel	SP	44.000	
Santa Terezinha	PR	50.500	
Santa Vitória	MG	41.400	

Cluster	Empreendimento	UF	Potência (kW)
3	Santo Ângelo	MG	40.000
	São João	SP	40.750
	São José 2 Antiga Planalto Bioenergia	SP	50.000
	São José da Estiva	SP	42.500
	São Judas Tadeu	MG	56.000
	São Martinho Bioenergia	SP	40.000
	São Martinho Boa Vista	GO	44.500
	São Martinho Energia	SP	39.500
	Triângulo	MG	40.000
	UFL	PR	42.000
	UJU Bio	PR	55.000
	Usaciga	PR	40.000
	USI BIO	PR	43.000
	Vale do Paraná	SP	48.500
	Vale do São Simão	MG	55.000
	Vale do Tijuco	MG	45.000
	Vale do Tijuco II	MG	40.000
	Vertente	SP	53.000
	Viralcool	SP	43.000
	Viralcool Castilho	SP	50.000
Vista Alegre	SP	60.000	
Vista Alegre I Antiga Energética Vista Alegre	MS	60.000	
Volta Grande	MG	54.938	
WD	MG	46.000	
4	Alta Mogiana	SP	71.000
	Amandina	MS	80.000
	Angélica	MS	70.000
	Barra Grande 2	SP	70.000
	Barra Grande Lençóis	SP	62.900
	Bazan	SP	75.000
	Bela Vista	SP	75.000
	Bioflex Caeté	AL	62.500
	Buriti2	SP	74.250
	Catanduva I Antiga Cerradinho	SP	75.000
	Clealco Queiroz	SP	95.000
	Codora	GO	78.000
	Colombo Ariranha	SP	63.000
	Costa Pinto	SP	75.000
	Da Mata 2	SP	70.000
	Da Pedra	SP	70.000
	Equipav II	SP	80.000
	Esplanada Antiga Jalles Machado	GO	65.000
	Fatura	SP	62.000
	Ferrari	SP	80.500

Cluster	Empreendimento	UF	Potência (kW)
4	Gasa	SP	78.000
	Guarani Cruz Alta	SP	64.800
	Iaco Agrícola	MS	71.500
	Ipaussu Bioenergia	SP	76.000
	LDC Bioenergia Lagoa da Prata	MG	85.000
	LDC Bioenergia Rio Brilhante	MS	90.000
	Mandu	SP	90.000
	Moema	SP	89.000
	Nardini Aporé	GO	75.000
	Passa Tempo	MS	73.800
	Pedro Afonso	TO	80.000
	Pitangueiras	SP	70.000
	Porto das Águas	GO	80.000
	Porto das Águas II	GO	80.000
	Quirinópolis	GO	80.000
	Santa Cruz AB Antiga Ometto	SP	84.000
	Santa Juliana	MG	82.000
	São João da Boa Vista	SP	70.000
	São José	SP	80.300
	São José Colina	SP	83.000
	São Luiz	SP	70.000
	São Martinho	SP	73.000
	Sebastianópolis I Antiga Noroeste Paulista	SP	68.000
	Tropical Bioenergia	GO	80.000
	UFA	SP	63.700
	Unidade de Bioenergia Água Emendada	GO	79.828
	Unidade de Bioenergia Alto Taquari	MT	72.700
	Unidade de Bioenergia Costa Rica	MS	79.828
Unidade de Bioenergia Morro Vermelho	GO	72.700	
Univalem Bioenergia	SP	80.000	
Vale do Rosário	SP	97.000	
5	Barra Bioenergia	SP	136.000
	Bonfim	SP	111.000
	Caarapó	MS	114.000
	Caçú I	GO	130.000
	Cerona	MS	150.000
	Cocal II	SP	131.300
	Conquista do Pontal	SP	110.000
	Delta	MG	101.875
	Eldorado	MS	140.000
	Jataí	GO	105.000
	Santa Luzia I	MS	130.000

ANEXO 1 – ROTINA DE CÁLCULO DA CLUSTERIZAÇÃO ESPACIAL EM NÍVEL NACIONAL

Versão do QGIS: 3.22.7-Bia?owie?a
Código de revisão do QGIS: 5a65627a
Versão do Qt: 5.15.3
Versão do Python: 3.9.5
Versão do GDAL: 3.4.3
Versão do GEOS: 3.10.2-CAPI-1.16.0
Versão do PROJ: Rel. 9.0.0, March 1st, 2022
Versão PDAL: 2.3.0 (git-version: 0a6ef5)
Algoritmo iniciado as: 2022-06-03T11:05:46
Algoritmo 'Agrupamento k-means' iniciando...
Entrada de parâmetros:
{ 'CLUSTERS' : 7, 'FIELD_NAME' : 'CLUSTER_ID', 'INPUT' :
'C:/Users/Gustavo/Desktop/Shapes/Dados.xlsx.Planilha1.vrt', 'OUTPUT' : 'TEMPORARY_OUTPUT',
'SIZE_FIELD_NAME' : 'CLUSTER_SIZE' }

A reunir pontos de entrada
A calcular os agrupamentos
O cluster convergiu após 16 iterações
Execution completed in 0.23 segundos
Resultados:
{'OUTPUT': 'Agrupados_adabca7b_2dda_4275_bd66_503fe7d184ec'}

Carregando camada resultante
Algoritmo 'Agrupamento k-means' finalizado

ANEXO 2 – ROTINA DE CÁLCULO DA CLUSTERIZAÇÃO ESPACIAL PARA O ESTADO DO PARANÁ

```

Versão do QGIS: 3.22.7-Bia?owie?a
Código de revisão do QGIS: 5a65627a
Versão do Qt: 5.15.3
Versão do Python: 3.9.5
Versão do GDAL: 3.4.3
Versão do GEOS: 3.10.2-CAPI-1.16.0
Versão do PROJ: Rel. 9.0.0, March 1st, 2022
Versão PDAL: 2.3.0 (git-version: 0a6ef5)
Algoritmo iniciado as: 2022-06-03T12:01:19
Algoritmo 'Agrupamento k-means' iniciando...
Entrada de parâmetros:
{ 'CLUSTERS' : 5, 'FIELD_NAME' : 'CLUSTER_ID', 'INPUT' :
'C:/Users/Gustavo/Desktop/Shapes/DadosParana.xlsx.Plan1.vrt', 'OUTPUT' :
'TEMPORARY_OUTPUT', 'SIZE_FIELD_NAME' : 'CLUSTER_SIZE' }

```

```

A reunir pontos de entrada
A calcular os agrupamentos
O cluster convergiu após 2 iterações
Execution completed in 0.13 segundos
Resultados:
{'OUTPUT': 'Agrupados_525bfd5f_f894_4143_a939_0e7cf2dd78df'}

```

```

Carregando camada resultante
Algoritmo 'Agrupamento k-means' finalizado

```

ANEXO 3 – ROTINA DE CÁLCULO DA CLUSTERIZAÇÃO POR POTÊNCIA

```

Versão do QGIS: 3.22.7-Bia?owie?a
Código de revisão do QGIS: 5a65627a
Versão do Qt: 5.15.3
Versão do Python: 3.9.5
Versão do GDAL: 3.4.3
Versão do GEOS: 3.10.2-CAPI-1.16.0
Versão do PROJ: Rel. 9.0.0, March 1st, 2022
Versão PDAL: 2.3.0 (git-version: 0a6ef5)
Algoritmo iniciado as: 2022-06-03T15:31:09
Algoritmo 'K-Means Clustering' iniciando...
Entrada de parâmetros:
{'N_CLUSTERS': 5, 'OUTPUT': 'TEMPORARY_OUTPUT', 'PARAMETERS': {'attributes': ['Potencia'],
'dataset': array
([[-0.86063802],          [-0.4747877 ],          [ 3.56962514],          [-0.97990084],
[-0.99393176],          [ 2.85755592],          [-0.58001961],          [-0.89571532],
[ 0.77396422],          [-0.65017421],          [ 1.70000498],          [ 0.36706753],
[-0.4747877 ],          [-0.509865 ],          [-0.89571532],          [-0.76943703],
[-0.4397104 ],          [ 0.19168102],          [-0.75540611],          [-0.951839 ],
[-0.93921117],          [ 0.19168102],          [-0.86063802],          [-0.86063802],
[-0.89571532],          [-0.86063802],          [ 1.17384546],          [-0.79048341],
[ 0.30042066],          [ 1.5684651 ],          [ 0.36706753],          [-0.82556071],
[-0.951839 ],          [ 0.01629452],          [-0.509865 ],          [-0.80802206],
[ 0.12152642],          [ 2.96278782],          [ 0.71784054],          [-0.97108942],
[-0.88869986],          [ 0.36706753],          [ 0.95338462],          [-0.05386009],
[ 1.45446387],          [ 3.52402464],          [-0.21170794],          [ 3.87479766],
[-0.75540611],          [-0.3344785 ],          [-0.90974624],          [-0.26432389],
[ 1.77015958],          [ 0.01629452],          [ 2.82247862],          [-0.8816844 ],
[ 0.36706753],          [-0.15909199],          [-0.75540611],          [-0.92377716],
[ 1.41938657],          [ 0.01629452],          [-0.68525151],          [ 0.19168102],
[-0.86765348],          [ 0.50737673],          [-0.89571532],          [ 0.01629452],
[-0.87817667],          [-0.509865 ],          [-0.61509691],          [ 0.71784054],
[ 0.36706753],          [ 0.36706753],          [-0.3344785 ],          [ 1.01248987],
[-0.93780808],          [-0.951839 ],          [-0.90974624],          [ 1.77015958],
[ 0.36706753],          [-0.73786746],          [-0.68525151],          [ 1.24400006],
[ 0.54245404],          [-0.69591501],          [-0.08192193],          [ 0.36706753],
[ 0.01629452],          [-0.19416929],          [-0.98747754],          [-0.29940119],
[ 3.73448845],          [-0.46075678],          [-1.01778433],          [-0.99393176],
[ 1.41938657],          [-0.61509691],          [ 0.08644912],          [ 1.13876816],
[ 1.17033773],          [ 1.59477307],          [-0.3344785 ],          [-0.88869986],
[ 0.01629452],          [-0.19416929],          [ 0.01629452],          [ 1.78769823],
[-0.74137519],          [ 0.71784054],          [-0.19416929],          [-0.8816844 ],
[ 1.59477307],          [-0.72032881],          [-0.509865 ],          [-0.86063802],
[ 1.59477307],          [ 0.01629452],          [ 1.59477307],          [-0.9921779 ],
[-1.01322428],          [-0.89571532],          [-0.68525151],          [-0.3344785 ],
[-0.96148526],          [-0.86063802],          [-0.59405053],          [-0.94482354],
[ 0.82307245],          [-1.02339669],          [ 0.36706753],          [-0.47156059],
[-0.88869986],          [ 4.22557067],          [ 0.71784054],          [-0.90974624],
[-0.90273078],          [ 0.85814975],          [ 1.41938657],          [ 0.01629452],
[ 0.71784054],          [ 0.36706753],          [ 1.41938657],          [-0.63263556],
[ 0.71784054],          [ 0.36706753],          [-0.8816844 ],          [-0.89459284],
[ 1.06861356],          [-0.4747877 ],          [-0.82556071],          [ 1.70000498],
[ 0.54245404],          [ 0.85814975],          [-0.88869986],          [-0.90273078],
[ 1.15630681],          [-0.79048341],          [ 0.12152642],          [ 0.01629452],
[ 0.50737673],          [-0.509865 ],          [-0.73435973],          [-0.77996022],
[ 0.36706753],          [-0.64315875],          [-1.01147041],          [ 0.59577153],
[-0.98761785],          [ 2.2963191 ],          [ 2.53747555],          [-0.509865 ],
[-0.92377716],          [-0.61509691],          [-0.72211775],          [-0.79048341],
[-0.90974624],          [-0.15909199],          [-0.90974624],          [-0.96699239],

```

[0.89322705],	[-0.46075678],	[0.36706753],	[0.01629452],
[-0.70629789],	[0.01629452],	[-0.3344785],	[-0.63614329],
[-0.5449423],	[1.06861356],	[-0.99112558],	[-0.70279016],
[0.29691293],	[0.01629452],	[-0.05386009],	[-0.24678524],
[1.2369846],	[-0.63965102],	[-0.8829121],	[-0.43269494],
[-0.15909199],	[2.08585529],	[-0.87326584],	[-0.68525151],
[0.15660372],	[0.12152642],	[-0.90974624],	[-0.4046331],
[-0.61509691],	[-0.26432389],	[-0.68875924],	[-0.90048583],
[-0.53399819],	[-0.4747877],	[0.43722213],	[0.19168102],
[0.82307245],	[-0.36254034],	[0.01629452],	[-0.89571532],
[1.47200252],	[-0.75540611],	[0.89322705],	[-0.60808145],
[-0.4565475],	[-0.3344785],	[-1.02543118],	[-0.75540611],
[0.12152642],	[-0.68525151],	[1.91046879],	[-0.07139874],
[-0.9167617],	[-0.959556],	[0.99845895],	[-0.70279016],
[0.36706753],	[-0.98270702],	[-0.89571532],	[-0.86063802],
[-0.75540611],	[-0.87291507],	[-0.26432389],	[-0.99393176],
[1.62985038],	[-0.05386009],	[-0.68525151],	[-0.15909199],
[-0.15909199],	[0.85814975],	[-0.86765348],	[-0.12401469],
[-0.79048341],	[1.59477307],	[-0.8816844],	[-0.509865],
[-0.89571532],	[0.61260864],	[-0.99393176],	[0.36706753],
[-0.64315875],	[-0.81854525],	[-0.59755826],	[-0.5449423],
[-0.5449423],	[-0.49218604],	[0.50737673],	[-0.86519806],
[0.61260864],	[-0.80451433],	[1.84031418],	[1.77015958],
[-0.92377716],	[0.01629452],	[-0.86176049],	[0.08644912],
[0.27937428],	[-0.61509691],	[3.52402464],	[-0.61509691],
[-0.82556071],	[-0.61509691],	[-0.87466894],	[0.19168102],
[0.92830435],	[-0.64315875],	[-0.92938953],	[1.19839957],
[1.12122951],	[-0.92377716],	[-0.81152979],	[0.43722213],
[-0.97990084],	[-0.8816844],	[-0.93921117],	[0.01629452],
[-0.90273078],	[-0.99393176],	[-0.32746304],	[0.89322705],
[-0.3344785],	[-0.3344785],	[0.73537919],	[-0.93079262],
[-0.93780808],	[-0.90623851],	[-0.72032881],	[-0.79749887],
[-0.02579824],	[-0.86063802],	[0.22675832],	[-0.68525151],
[2.64709211],	[1.06861356],	[0.41617575],	[1.76412628],
[-0.90273078],	[1.55268031],	[0.36706753],	[1.51409528],
[-0.86063802],	[-0.54178535],	[-0.99533485],	[1.76412628],
[0.01629452],	[-0.89010295],	[-0.22924659],	[1.51409528],
[-0.07490647],	[0.1478344],	[-0.61509691],	[-0.75540611],
[-0.3695558],	[-0.951839],	[-0.88869986],	[1.77015958],
[-0.99393176],	[1.77015958],	[-0.15207653],	[-0.93079262],
[-0.52038819],	[-0.951839],	[0.39337551],	[-0.68525151],
[-0.86239188],	[-0.26432389],	[1.41938657],	[0.36706753],
[-0.27484708],	[-0.89571532],	[1.78068277],	[-0.45724905],
[-0.29238573],	[0.08644912],	[-0.11682384],	[-0.93079262],
[-0.86677654],	[0.19168102],	[-0.86765348],	[0.19168102],
[0.12152642],	[-0.15909199],	[0.71784054],	[0.47229943],
[1.94554609],	[1.41938657],	[1.87539148],	[0.19168102],
[0.35303661],	[-0.951839],	[0.45476078],	[-0.46777224],
[2.12093259],	[1.77015958],	[-0.42217175],	[-0.68525151],
[-0.86063802],	[1.77015958],	[0.92830435],	[-0.39060218],
[-0.4747877],	[0.37408299],	[1.41938657],	[-0.90974624],
[-0.89992459],	[-0.75540611],	[-0.3344785],	[0.66522459],
[-0.89571532],	[0.93104038],	[-0.51688046],	[-0.15909199],
[-0.61509691],	[1.77015958],	[1.52461847],	[-0.15909199],
[-0.89571532],	[0.71784054],	[0.36706753],	[2.3664737],
[-0.92377716],	[-0.5449423],	[0.52491539],	[0.89322705],
[-0.86063802],	[-0.81152979],	[0.34952888],	[0.54245404],
[2.12093259],	[0.30568225],	[-0.88869986],	[0.36706753],
[0.75291784],	[1.06861356],	[-0.83345311],	[-0.509865],
[-0.31693985],	[0.36706753],	[1.34923197],	[-0.87045966],

```
[-0.86063802],          [ 0.01629452],          [-0.83257617],          [-0.88782292],
[ 0.82307245],          [ 0.71784054],          [ 1.06861356],          [ 0.89105226],
[-0.96586992],          [-0.15909199],          [ 1.06861356],          [ 0.57753134],
[ 0.47229943],          [-0.86063802],          [ 0.01629452],          [-0.4747877 ]],
'id': [], 'layer': <QgsVectorLayer: 'Dados-Planilha1' (ogr)> }
```

THE AVERAGE SILLHOUETTE SCORE EACH CLUSTER

Cluster 0 the average silhouette_score is: 0.7285400723056917

Cluster 1 the average silhouette_score is: 0.52797495430478

Cluster 2 the average silhouette_score is: 0.6311299480532486

Cluster 3 the average silhouette_score is: 0.48531750048826117

Cluster 4 the average silhouette_score is: 0.5571090292436542

THE AVERAGE TOTAL SILLHOUETTE SCORE

The average total silhouette_score is: 0.6193147175617126

RULES OF A DECISION TREE

Class 0: Potencia<=15752.0

Class 1: Potencia>15752.0 & Potencia>36750.0 & Potencia<=61750.0

Class 2: Potencia>15752.0 & Potencia>36750.0 & Potencia>61750.0 & Potencia<=99437.5

Class 3: Potencia>15752.0 & Potencia<=36750.0

Class 4: Potencia>15752.0 & Potencia>36750.0 & Potencia>61750.0 & Potencia>99437.5

Execution completed in 0.58 segundos

Resultados:

```
{'OUTPUT': 'Output_layer_6e0ebc1a_6bb7_49d6_acaf_dc492e7051a2'}
```

Carregando camada resultante

Algoritmo 'K-Means Clustering' finalizado