



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS



JOSICLEIDE DE MOURA PEREIRA

**DISPARIDADES REGIONAIS DA PRODUÇÃO E
DEPENDÊNCIA ESPACIAL DAS EMISSÕES DE GASES DO
EFEITO ESTUFA DO CONSUMO DE LENHA NO BRASIL**

JOÃO PESSOA - PB
2024

PPGER / MESTRADO ACADÊMICO / N° 107

JOSICLEIDE DE MOURA PEREIRA

**DISPARIDADES REGIONAIS DA PRODUÇÃO E
DEPENDÊNCIA ESPACIAL DAS EMISSÕES DE GASES DO
EFEITO ESTUFA DO CONSUMO DE LENHA NO BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em Energias Renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Luiz Moreira Coelho Junior
Orientador

**JOÃO PESSOA - PB
2024**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P436d Pereira, Josicleide de Moura.

Disparidades regionais da produção e dependência espacial das emissões de gases do efeito estufa do consumo de lenha no Brasil / Josicleide de Moura Pereira. - João Pessoa, 2024.

100 f. : il.

Orientação: Luiz Moreira Coelho Junior.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR.

1. Bioenergia. 2. Biomassa florestal. 3. Economia florestal. 4. Economia regional. I. Coelho Junior, Luiz Moreira. II. Título.

UFPB/BC

CDU 620.91(043)

JOSICLEIDE DE MOURA PEREIRA

**DISPARIDADES REGIONAIS DA PRODUÇÃO E
DEPENDÊNCIA ESPACIAL DAS EMISSÕES DE GASES DO
EFEITO ESTUFA DO CONSUMO DE LENHA NO BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em Energias Renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 31 de janeiro de 2024.

Prof^a. Dr^a. Márcia Batista da Fonseca

CCSA-UFPB

Prof. Dr.. Josimar Vieira Dos Reis

PPGEMA- UFPB

Diogo Santos Telles
Prof. Dr.. Diogo Santos Telles

IDR-Paraná


Prof. Dr. Luiz Moreira Coelho Junior
Orientador

**JOÃO PESSOA - PB
2024**

À Terezinha de Jesus (*in memoriam*).
Dedico!

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por me conceder o dom da vida, por suas bênçãos diárias que me fortalecem, permitindo-me superar obstáculos e chegar até aqui.

Aos meus pais Maria das Graças e Janilson por sempre se dedicarem a proporcionar o melhor para mim, incentivando-me e oferecendo apoio em todas as minhas decisões.

À minha amada vó Terezinha de Jesus (*in memoriam*) que com muita dedicação, carinho e amor, fez parte da minha criação.

Ao meu marido Kaio Rodrigo por estar sempre ao meu lado, que compreendeu minha ausência durante o tempo dedicado aos estudos, que aguentou tantas crises de estresse e ansiedade.

À minha irmã Josicléa por estar sempre pronta para me ajudar em qualquer momento. Ao meu irmão Thiago por todo o apoio. Aos meus sobrinhos Lívia e João Pedro, por colorirem meus dias com tanta alegria.

Ao meu orientador Prof. Luiz Moreira Coelho Junior pela orientação, dedicação, compreensão e paciência. Sou grata pela confiança e pelas contribuições para minha vida acadêmica.

Aos colegas de mestrado pelo companheirismo, apoio e conhecimentos compartilhados, em especial Iago, Victor, Clarisse e Felipe.

Agradeço à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ) pelo suporte financeiro concedido, por meio da bolsa de estudos, conforme termo de outorga n° 1062/21.

RESUMO

A lenha, historicamente integrada à matriz energética brasileira, não apenas representa uma importante fonte energética para suprir as demandas econômicas, mas também contribui para a sustentabilidade e o desenvolvimento socioeconômico. Esta dissertação analisou as disparidades regionais da produção e dependência espacial das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) decorrentes do consumo de lenha no Brasil. Para tanto, realizou uma revisão de literatura da bioenergia sob os aspectos da biomassa florestal; analisou a concentração regional da produção de lenha no Brasil e analisou a dependência espacial das emissões de GEE decorrentes do consumo de lenha no país. As metodologias utilizadas incluíram revisão sistemática de literatura, indicadores locais, concentração e a análise exploratória de dados espaciais. Os principais resultados revelaram uma amostra de 47 artigos para revisão sistemática de literatura, distribuídos em 23 países, sendo o Brasil e os Estados Unidos os que mais publicaram. Houve uma tendência de concentração da produção de lenha proveniente do extrativismo vegetal nas Regiões Norte e Nordeste, enquanto a lenha oriunda da silvicultura esteve concentrada nas regiões intermediárias das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Nas análises espaciais, foram observadas elevadas emissões de GEE e alta vizinhança no consumo de lenha. Esse padrão foi identificado tanto para o extrativismo vegetal em parte das regiões intermediárias da região Nordeste, especialmente nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia, quanto para a silvicultura nas regiões intermediárias da Região Sul e algumas da região Sudeste. Esta dissertação proporcionou uma compreensão dos aspectos regionais e espaciais do uso da lenha e suas emissões, podendo orientar ações e políticas públicas para promover o uso sustentável da lenha no Brasil.

Palavras-chave: Bioenergia, biomassa florestal, economia florestal, economia regional.

ABSTRACT

Firewood, historically integrated into the Brazilian energy matrix, not only represents an important energy source to meet economic demands, but also contributes to sustainability and socioeconomic development. This dissertation analyzed regional disparities in the production and spatial dependence of Greenhouse Gas (GHG) emissions resulting from the consumption of firewood in Brazil. To this end, a literature review of bioenergy was carried out under the aspects of forest biomass; analyzed the regional concentration of firewood production in Brazil and analyzed the spatial dependence of GHG emissions resulting from the consumption of firewood in the country. The methodologies used included a systematic literature review, locational indicators, concentration and exploratory analysis of spatial data. The main results revealed a sample of 47 articles for systematic literature review, distributed in 23 countries, with Brazil and the United States being the ones that published the most. There was a tendency for the production of firewood from plant extraction to be concentrated in the North and Northeast Regions, while firewood from forestry was concentrated in the intermediate regions of the South, Southeast and Central-West Regions. In spatial analyses, high GHG emissions and high neighborhood consumption of firewood were observed. This pattern was identified both for plant extractivism in part of the intermediate regions of the Northeast region, especially in the states of Rio Grande do Norte, Ceará and Bahia, and for forestry in the intermediate regions of the South Region and some of the Southeast region. This dissertation provided an understanding of the regional and spatial aspects of the use of firewood and its emissions, being able to guide actions and public policies to promote the sustainable use of firewood in Brazil.

Keywords: Bioenergy, forest biomass, forest economy, regional economy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1. INTRODUÇÃO	13
1.2. OBJETIVOS	16
1.2.1. Objetivo Geral.....	16
1.2.2. Objetivos Específicos.....	16
2. ARTIGO 1 - BIOENERGIA SOB PERSPECTIVA DA BIOMASSA FLORESTAL: UMA REVISÃO	17
2.1. INTRODUÇÃO	19
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	20
2.2.1. Etapa 1: Planejamento da revisão	21
2.2.2. Etapa 2: Condução da revisão.....	21
2.2.3. Etapa 3: Relatório dos dados obtidos	22
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
2.4. CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38
3. ARTIGO 2 – LOCALIZAÇÃO E CONCENTRAÇÃO DA LENHA NO BRASIL: Uma análise sob a nova geografia econômica	45
3.1. INTRODUÇÃO	47
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	49
3.2.1. Dados utilizados	49
3.2.2. Medidas de localização e especialização sob a nova geografia econômica.....	49
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
3.4. CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	62
4. ARTIGO 3 – DISTRIBUIÇÃO E DEPENDÊNCIA ESPACIAL DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA A PARTIR DO CONSUMO DE LENHA NO BRASIL	66
4.1. INTRODUÇÃO	68
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	70
4.2.1. Dados utilizados	70
4.2.2. Análise Exploratória de Dados Espaciais	71
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.4. CONCLUSÃO	82
REFERÊNCIAS	83
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Estágios da pesquisa para obtenção da amostragem da revisão sistemática a respeito da bioenergia sob perspectiva da biomassa florestal.	22
Figura 2.2 - Distribuição espacial dos países, por quartis, da quantidade de publicações científicas para bioenergia sob perspectiva da biomassa florestal, no período de 2001 a 2022.	24
Figura 2.3 - Evolução anual das publicações (artigos e artigos de revisão) no campo da bioenergia florestal, durante o período de 2001 a 2022.	24
Figura 2.4 - Evolução anual das citações (artigos e artigos de revisão) no campo da bioenergia florestal, durante o período de 2001 a 2022.	25
Figura 2.5 - Diagrama de Venn da classificação dos estudos sobre bioenergia florestal.	27
Figura 3.1 - Evolução do Quociente Locacional (QL) para produção de lenha na silvicultura nas Regiões Intermediárias, Estados e Regiões do Brasil, nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2020.	54
Figura 3.2 - Evolução do Quociente Locacional (QL) para a produção de lenha no extrativismo vegetal nas Regiões Intermediárias, Estados e Regiões do Brasil, nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2020.	56
Figura 3.3 - Evolução do Índice de Hoover para produção de lenha no extrativismo vegetal, silvicultura e total de 1990 a 2020.	57
Figura 3.4 - Demonstração do Índice de Dessemelhança de Krugman (SI) para produção de lenha nas Regiões Intermediárias, Estados e grandes Regiões brasileiras, em 1990, 2000, 2010 e 2020.	59
Figura 3.5 - Evolução do Índice de Ellison-Glaeser para produção de lenha no extrativismo vegetal, dos anos 1990 a 2020.	60
Figura 4.1 - Convenção (A) “rainha” e (B) “torre” de contiguidade.	72
Figura 4.2 - Diagrama de dispersão de Moran.	73
Figura 4.3 - Diagrama de dispersão de Moran para emissão de GEE para cada tipo de manuseio de lenha nas regiões intermediárias do Brasil, para matriz de contiguidade “rainha”, nas décadas de 1990, 2000 e 2010.	78
Figura 4.4 - Mapas de clusters para emissão de GEE para cada tipo de lenha nas regiões intermediárias do Brasil, para matriz de contiguidade convenção Rainha, nas décadas de 1990, 2000 e 2010.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classificação dos periódicos mais relevantes para o campo da bioenergia florestal, indicando a quantidade de produções e citações por periódico.....	26
Tabela 2.2 - Distribuição das referências e quantidade de citações quanto a classificação dos artigos, por áreas de análise de conteúdo no campo da bioenergia florestal, de 2001 a 2022. 27	
Tabela 3.1 -Evolução da produção de lenhado extrativismo vegetal e silvicultura nas grandes Regiões do Brasil, em milhões de metros cúbicos ($\times 10^6 \text{ m}^3$), para 1990, 2000, 2010 e 2020. 53	
Tabela 4.1 - Evolução das emissões de GEE ($\text{kg } \times 10^6 \text{ CO}_2\text{-eq}$) para lenha de extrativismo vegetal, silvicultura e total nas grandes Regiões do Brasil, para as décadas 1990, 2000 e 2010.	75
Tabela 4.2 - Índices de Moran de emissão de GEE para cada tipo de lenha no Brasil, para matriz k-vizinhos mais próximos (2, 4, 6 e 8) e matriz de contiguidade (convenções “rainha” e “torre”), nas décadas de 1990, 2000 e 2010.....	76
Tabela 4.3 - Indicador Local de Associação Espacial (LISA) de emissões de GEE para cada tipo de lenha no Brasil, para matriz k-vizinhos mais próximos (2 e 4) e matriz de contiguidade (convenções “rainha” e “torre”), nas décadas de 1990, 2000 e 2010.....	79

LISTA DE SIGLAS

AEDE	Análise Exploratória de Dados Espaciais
BF	Biomassa Florestal
CRP	Carvão vegetal, Resíduos florestais e <i>Pellets</i>
CR	Índice de Concentração
E	Entropia
EG	Ellison e Glaeser
EJ	Exajoule
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases do Efeito Estufa
GIS	Sistema de Informação Geográfica
H	Índice de Hoover
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
HHI	Índice de Hirshman-Herfindahl
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP-OES	<i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
L	Lenha
LISA	Indicador Local de Associação Espacial
PEVS	Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura
PJ	Petajoule
QL	Quociente Locacional
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
SAR	Radar de Abertura Sintética
SI	Índice de Dessemelhança de Krugman
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
t	Toneladas
TGC	Taxa Geométrica de Crescimento
WOS	<i>Web of Science</i>

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. INTRODUÇÃO

A demanda global por energia está em ascensão, e a busca por fontes renováveis tornou-se um tópico central nas discussões científicas e profissionais sobre energia e mudanças climáticas. A transição para um sistema energético sustentável é imprescindível, considerando os impactos ambientais resultantes do uso contínuo de combustíveis fósseis. Estes impactos incluem as mudanças climáticas em curso, que estão associadas ao aumento das temperaturas globais, elevação do nível do mar e incidência mais frequente de incêndios florestais, entre outros problemas. Ademais, o esgotamento gradual desses recursos não renováveis também traz consigo uma crescente preocupação com a insegurança energética (Comic *et al.*, 2021; Laschi *et al.*, 2016).

Uma das fontes mais amplamente utilizadas de energia renovável é a biomassa, conforme destacado por Toklu (2017). A biomassa origina-se de matéria orgânica vegetal ou animal, sendo empregada como fonte de energia desde os primórdios. Atualmente, ela continua a desempenhar uma função essencial, servindo como a principal fonte de energia em muitos países em desenvolvimento (Ruoso *et al.*, 2019; IQBAL *et al.*, 2018).

A biomassa florestal, uma vertente importante da biomassa, representa uma fonte limpa, renovável e economicamente viável que pode contribuir para melhorias ambientais, reduzindo as emissões de gases do efeito estufa e minimizando resíduos. Esta forma de biomassa é composta por subprodutos do processo de extração de madeira, incluindo, entre outros, cavacos de lenha e resíduos florestais miúdos, como galhos, copas de árvores, postes, arbustos e matos, além de resíduos da indústria madeireira. Adicionalmente, a lenha e o carvão vegetal também são considerados. A lenha é definida como madeira queimada para produção direta de energia (Comic *et al.*, 2021; Roman *et al.*, 2021; Njenga, Sears, Mendum, 2023).

A utilização da lenha acarreta tanto impactos positivos quanto negativos. Entre as características positivas associadas, destacam-se: flexibilidade, autossuficiência, acesso, controle, acessibilidade e segurança de abastecimento. Por outro lado, os impactos negativos incluem: poluição atmosférica, alterações climáticas, problemas respiratórios, degradação de florestas, erosão do solo e ameaça os habitats (Abdu *et al.*, 2022; Stojilovska *et al.*, 2023; Magargal *et al.*, 2023).

Um dos grandes desafios enfrentados com o uso de lenha são os gases gerados na combustão. A composição desses gases é influenciada por diversos fatores, tais como o tipo de

madeira, seu teor de umidade e sua origem. Os poluentes associados à queima da lenha incluem: monóxido de carbono, metano, hidrocarbonetos não metânicos, óxido nitroso, óxido de nitrogênio, material particulado, carbono negro ou carbono elementar, carbono orgânico, matéria orgânica e outros, como o levoglucosan. Apesar dos impactos negativos, quando utilizada de maneira sustentável e eficiente, a biomassa da madeira pode contribuir para mitigação desses efeitos, por meio da substituição de combustíveis fósseis por biomassa e o sequestro de carbono na biomassa existente (Singh *et al.*, 2021; Pérez *et al.*, 2022; Hagen *et al.*, 2023).

Para as próximas décadas, em escala global o consumo de lenha deve aumentar em 54%, entre 2010 e 2050, e as principais formas de obtenção são por meio do extrativismo vegetal e da silvicultura (Nigussie *et al.*, 2021; Peng *et al.*, 2023). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020), o extrativismo vegetal deriva da exploração de recursos naturais, geralmente permitindo apenas uma produção. Já a lenha proveniente da silvicultura origina-se da reprodução de florestas, possibilitando uma produção sustentável quando manejada de maneira adequada.

Da oferta de energia primária global, a bioenergia corresponde a 55,6 exajoule (EJ) de energia. Desse total, apenas a lenha representa 67% e corresponde a 6% da energia primária global, sendo a fonte de energia renovável mais significativa (Errera *et al.*, 2023; Gioda, 2019). No Brasil, o consumo final de lenha em 2021 correspondeu a 7,0% do consumo total por fonte. Em relação ao consumo industrial, esse percentual foi de 9,0%, enquanto no consumo residencial foi de 26,1%, apresentando um aumento de 3,2% em comparação ao ano de 2020. Observa-se uma diminuição na produção de lenha por extrativismo, com um leve acréscimo de 0,6% em 2020, após alguns anos de declínio, sendo gradualmente substituída por lenha proveniente de florestas plantadas. No caso da silvicultura, após se recuperar de uma queda de 14,2% em 2019, registrou um crescimento de 10,7% (IBGE, 2020).

Compreender a dinâmica da lenha no Brasil é crucial para tomadas de decisão, dada a sua significativa relevância para a economia. Informações sobre o papel da lenha na matriz energética podem influenciar políticas governamentais relacionadas a energias renováveis, sustentabilidade e segurança energética (Abdullah *et al.*, 2022). Para alcançar o objetivo proposto, adotou-se o recorte geográfico das regiões intermediárias do Brasil, conforme apresentado pelo IBGE em 2017. Esse enfoque proporciona um novo quadro regional, associado aos processos sociais, políticos e econômicos ocorridos em território nacional.

Os indicadores de localização e especialização servem para compreender o crescimento econômico em padrões regionais e para a formulação de políticas. Os indicadores de localização

buscam identificar padrões ou dispersão de uma atividade, enquanto os de especialização analisam a estrutura produtiva da região (Piacenti, Alves e Lima, 2008; Alves, 2022). Alguns indicadores comumente utilizados são: o Quociente Locacional (QL), que avalia a concentração ou dispersão da atividade econômica em uma determinada região em comparação com uma região de referência mais ampla (Santos Junior *et al.*, 2022), e o Índice de Hoover (H), uma ferramenta útil para comparar desigualdades em diferentes áreas ou períodos (Szép, Tóth e Labelle, 2022).

Por outro lado, o Índice de Dessemelhança de Krugman (SI) tem a finalidade de comparar os pares de economia, representando a diferença entre especialização setorial (Fernandes *et al.*, 2017), enquanto o Índice de Ellison-Glaeser (EG) estima o grau de aglomeração e dispersão espacial da atividade na região de interesse (Ellison e Glaeser, 1997).

Através dessas análises, é possível aprimorar a alocação de recursos, impulsionando a eficiência na produção e nos serviços (Wang *et al.*, 2023). Além disso, ela facilita a identificação de áreas propícias para investimentos, fomentando o crescimento econômico. Simultaneamente, contribui para implementação de práticas sustentáveis, minimizando impactos ambientais e possibilitando um equilíbrio harmonioso entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental (Zhang *et al.*, 2023).

A dissertação foi composta por 3 artigos. O primeiro artigo consiste em uma análise bibliométrica e revisão sistemática da bioenergia sob a perspectiva da biomassa florestal, realizada a partir de periódicos indexados na base da *Web of Science* e *Scopus*, no período de 2001 a 2022. O segundo artigo analisou a concentração e localização da lenha de extrativismo e silvicultura no Brasil, abrangendo o período de 1990 a 2020. Para mensurar isso, foram utilizados indicadores: Quociente Locacional (Hildebrand e Mace Jr., 1950), Índice de Hoover (Long e Nucci, 1997), Índice de Dessemelhança de Krugman (Krugman, 1991b) e o Índice de Ellison-Glaeser (Ellison e Glaeser, 1997). O terceiro artigo observou a distribuição e dependência espacial das emissões dos gases de efeito estufa a partir do consumo de lenha no Brasil, no período de 1990 a 2019, por meio da análise exploratória de dados espaciais (AEDE).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Analisar as disparidades regionais da produção e dependência espacial das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) do consumo de lenha no Brasil.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar revisão sistemática de literatura aplicada a bioenergia sob perspectiva da biomassa florestal, no período de 2001 a 2022;
- Analisar disparidades regionais da produção de lenha no Brasil, de 1990 a 2020;
- Analisar a distribuição e a dependência espacial das emissões de gases do efeito estufa do consumo de lenha no Brasil, de 1990 a 2020.

2. ARTIGO 1 - BIOENERGIA SOB PERSPECTIVA DA BIOMASSA FLORESTAL: UMA REVISÃO

RESUMO

A biomassa florestal possui relevância para o potencial energético do país, sendo uma fonte de energia renovável capaz de proporcionar benefícios econômicos e ambientais. Diante da importância do potencial energético da biomassa florestal, com o intuito de compreender e identificar lacunas existentes, este artigo realizou uma revisão sistemática de literatura sobre bioenergia sob perspectiva da biomassa florestal, de 2001 a 2022. Foram levantados artigos científicos publicados em periódicos disponíveis nas plataformas *Scopus* e *Web of Science*, seguidos de uma análise bibliométrica e de conteúdo. Foram selecionados 47 publicações como amostra da revisão e tiveram trabalhos de 23 países, destacando-se Brasil e Estados Unidos. Quanto aos periódicos de maior impacto, observou-se que o primeiro lugar foi do periódico *Biomass and Bioenergy* com 128 citações, seguido pelo *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* com 124 citações. A análise de conteúdo foi estruturada em três eixos principais: biomassa florestal; lenha e; carvão vegetal, resíduos florestais e *pellets* de madeira. Assim, este estudo contribui para uma melhor compreensão da bioenergia a partir da perspectiva da biomassa florestal, oferecendo *insights* relevantes para o desenvolvimento futuro nesta área.

Palavras-chave: Energias renováveis, Bibliometria, Bioenergia.

BIOENERGY FROM THE PERSPECTIVE OF FOREST BIOMASS: A REVIEW

ABSTRACT

Forest biomass is relevant to the country's energy potential, being a renewable energy source capable of providing economic and environmental benefits. Given the importance of the energy potential of forest biomass, with the aim of understanding and identifying existing gaps, this article carried out a systematic review of literature on bioenergy from the perspective of forest biomass, from 2001 to 2022. Scientific articles published in journals available in the Scopus and Web of Science platforms, followed by a bibliometric and content analysis. 47 publications were selected as a review sample and included works from 23 countries, highlighting Brazil and the United States. As for the journals with the greatest impact, it was observed that the journal *Biomass and Bioenergy* came first with 128 citations, followed by the *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* with 124 citations. The content analysis was structured around three main axes: forest biomass; firewood and; charcoal, forest residues and wood pellets. Thus, this study contributes to a better understanding of bioenergy from the perspective of forest biomass, offering relevant insights for future development in this area.

Keywords: Renewable energy, Bibliometric, Bioenergy.

2.1. INTRODUÇÃO

Em meio ao desenvolvimento da civilização, a demanda por energia tem apresentado um crescimento constante ao longo dos anos, resultando na destruição do meio ambiente na busca por recursos. Atualmente, há uma maior conscientização sobre a importância da conservação do meio ambiente e um interesse crescente por fontes de energia sustentáveis. Diante das alterações climáticas, caracterizadas pelo aumento da temperatura, mudança nos padrões de precipitação, eventos climáticos extremos, entre outros, torna-se imperativo impulsionar a adoção de fontes renováveis de energia. Essa medida visa não apenas promover sustentabilidade, mas também garantir maior segurança energética. A biomassa tem atraído atenção devido ao seu potencial para a produção de biocombustíveis e bioenergia, como uma alternativa aos combustíveis fósseis, devido às baixas emissões de gases de efeito estufa (Razm *et al.*, 2019; Roman *et al.*, 2021).

A biomassa provém das matérias-primas de origem animal e vegetal, podendo ser categorizada em florestal, agroindustrial e resíduos urbanos. A biomassa florestal é utilizada globalmente e desempenhar um papel social fundamental para a subsistência humana, sendo um dos recursos energéticos de menor custo (Martins *et al.*, 2018; Simioni *et al.*, 2021). Em países em desenvolvimento, cerca de 80% da madeira é utilizada para cozinhar e aquecer, o que muitas vezes estão intrinsecamente ligados às questões socioeconômicas e ambientais associados à pobreza (Kimemia e Annegarn, 2011; Lopes *et al.*, 2016; Cesprini, 2020).

Estima-se que até 2025, a geração global de eletricidade a partir de fontes de energia renovável aumente para cerca de 35%. Em relação à bioenergia, tanto para eletricidade quanto para térmica, prevê-se um aumento na oferta de biomassa de 6.045 petajoule (PJ) até 2030 e 6.234 PJ até 2050 (Scarlat *et al.*, 2015; *International Energy Agency - IEA*, 2023). Ferrari *et al.* (2020) demonstram que o setor da bioenergia é interdisciplinar e abrangente, envolvendo múltiplas áreas e gerando publicações em diversos periódicos. Dada a importância desse tema, torna-se necessária a realização de uma revisão sistemática de literatura, empregando abordagens quali-quantitativas para investigar a evolução do campo, avaliar o estado da arte e identificar lacunas na área de pesquisa.

Segundo Marconi e Lakatos (2017), a revisão de sistemática de literatura envolve a criação de uma síntese abrangente, buscando incorporar todas as informações relevantes sobre o tema de maneira lógica e estruturada. Para análise quantitativa, pode-se utilizar a bibliometria, que consiste na aplicação de métodos matemáticos e estatísticos, com base em bancos de dados, para analisar e determinar as prioridades e tendências de pesquisa em um domínio específico. Essa abordagem quantitativa possibilita a obtenção de características, como a contagem de

publicações de autores e países, proporcionando *insights* valiosos sobre a evolução de um campo de pesquisa (Yuan *et al.*, 2022). A aplicação da bibliometria também é utilizada na bioenergia, conforme demonstrado por Mao *et al.* (2015), Mao *et al.* (2018) e Zhang, Yu e Li (2021).

Com o avanço das ferramentas computacionais e o acesso facilitado às bases de dados dedicadas à pesquisa acadêmica, tem havido um notável aumento no número de trabalhos de revisão sistemática de literatura. Para esse propósito, uma variedade de métodos pode ser empregada, incluindo o uso de índices como o índice H, o fator de impacto de periódicos, mapas de citações, meta-análise e revisão interrogativa. No entanto, é importante ressaltar que cada um desses métodos possui suas próprias limitações e pode estar sujeito a vieses. Almeida e Goulart (2017) identificaram três tipos principais de vieses: viés de seleção, viés de informação e viés de confundimento. Avaliar o impacto desses estudos requer informações detalhadas sobre os pesquisadores, instituições, países de publicação, anos de publicação e o número de citações dos artigos (Pech e Delgado, 2021). Esses dados são cruciais para uma análise crítica e uma compreensão mais profunda do panorama da pesquisa.

A discussão sobre questões relacionadas à bioenergia, com foco na biomassa florestal, visa explorar os estudos correlatos presente na literatura. Para uma compreensão mais aprofundada do contexto, torna-se essencial conduzir uma análise bibliométrica, que busca quantificar de maneira sistemática os estudos desenvolvidos sobre um tema específico. Subsequentemente, após a análise bibliométrica, a elaboração de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL).

Essa abordagem visa buscar embasamento técnico, distinguir o que já foi realizado do que ainda necessita ser abordado, estabelecer um contexto claro, delinear questões problemáticas, explorar novas direções de pesquisa e apresentar os principais resultados obtidos (Linnenluecke *et al.*, 2020). Com o intuito de verificar o progresso das pesquisas relacionadas à biomassa florestal, realizou-se uma análise bibliométrica e uma revisão sistemática de literatura. Estas foram baseadas nos dados provenientes das plataformas *Web of Science* e *Scopus*, abrangendo o período compreendido entre 2001 a 2022.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

A revisão sistemática de literatura (RSL) é um método que segue etapas bem definidas de pesquisa: formulação da pergunta de pesquisa, protocolo de revisão, busca de literatura, seleção dos estudos, avaliação e análise de dados, visando identificar e avaliar estudos relevantes em uma área específica. Segundo Rotella Junior *et al.* (2021), a RSL é um método

transparente e reproduzível. Esse método se distingue da revisão exploratória tradicional, que é uma abordagem de pesquisa que busca explorar um campo de forma abrangente e geral, sem a necessidade de seguir um método rigoroso (Marconi e Lakatos, 2017; Gil, 2002). A RSL foi realizada em três etapas: planejamento da pesquisa (exploratória), condução da revisão (desenvolvimento) e relatório dos dados obtidos (análise).

2.2.1. Etapa 1: Planejamento da revisão

Inicialmente, foi realizada uma leitura exploratória não estruturada. Essa estratégia de leitura visa obter uma visão geral do contexto, sem aprofundar-se em cada parte, proporcionando uma compreensão rápida dos temas principais e das informações chave. Este procedimento foi adotado para o reconhecimento da literatura e definição das palavras-chave (Gil, 2002).

2.2.2. Etapa 2: Condução da revisão

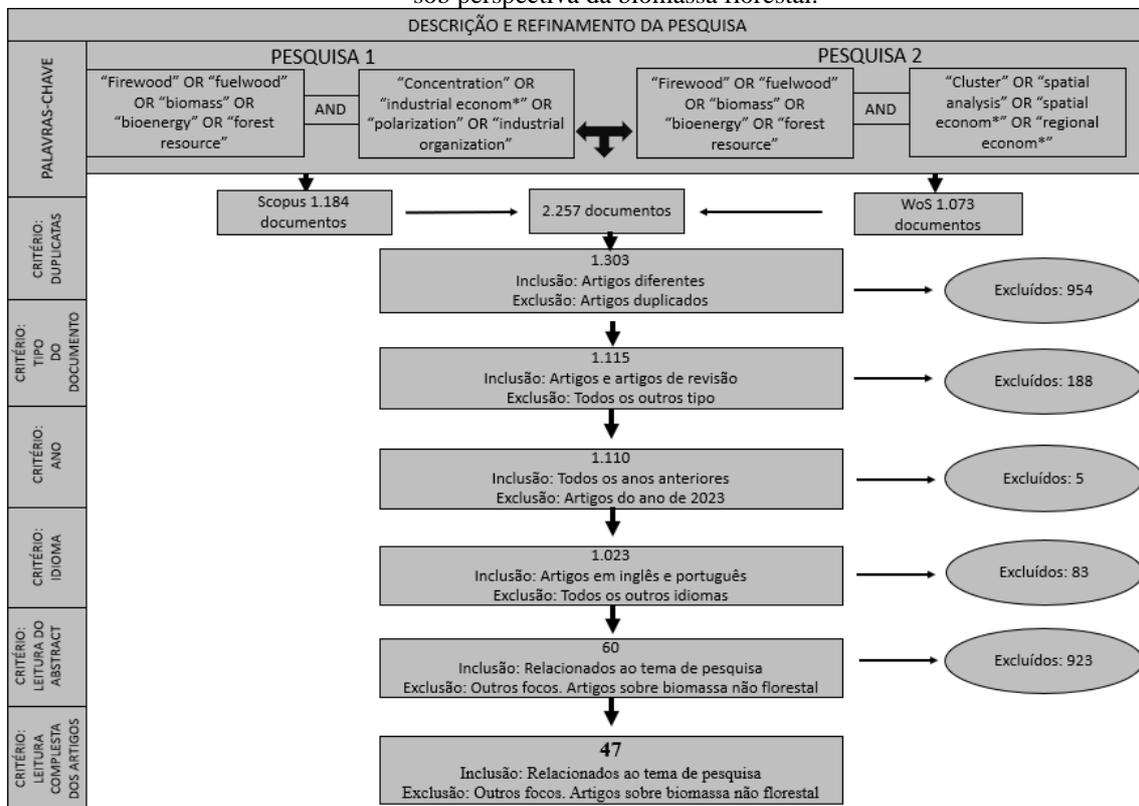
A Figura 2.1 mostram as buscas realizadas nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* (WoS), onde em ambas foram efetuadas duas pesquisas. Pesquisa 1: “*Firewood*” OR “*fuelwood*” OR “*biomass*” OR “*bioenergy*” OR “*forest resource*” AND “*Concentration*” OR “*industrial econom**” OR “*polarization*” OR “*industrial organization*”.

Pesquisa 2: “*Firewood*” OR “*fuelwood*” OR “*biomass*” OR “*bioenergy*” OR “*forest resource*” AND “*Cluster*” OR “*spatial analysis*” OR “*spatial econom**” OR “*regional econom**”. Nas bases de dados ambas pesquisas foram executadas por “Título”, em que, as palavras-chave ocorrem apenas nos títulos dos documentos.

Para aprimorar a seleção dos artigos, foi empregado o método de *Science Mapping*, utilizando o *software R Studio* como ferramenta para a análise detalhada dos documentos exportados das bases de dados. Esse método é utilizado em diversas áreas, como nas áreas de finanças (Yadav e Banerji, 2020) e saúde (Kawuki, Yu e Musa, 2020), (Koçyiğit *et al.*, 2023). Esta ferramenta foi utilizada para facilitar a filtragem dos artigos, identificando possíveis duplicatas e excluindo-as. Após a análise, uma planilha contendo dados relevantes dos documentos foi gerada. Esses dados incluíam informações como nomes dos autores, títulos dos documentos, anos de publicação, nomes dos periódicos onde foram publicados e o total de citações, entre outros. Essas informações desempenharam um papel fundamental nos critérios de inclusão e exclusão dos artigos, uma vez que a análise de todos os documentos encontrados em tempo hábil seria inviável.

Referente a esta análise, foram considerados alguns critérios para inclusão e exclusão de documentos. Foram eles: (I) Duplicatas, onde documentos que apareceram nas duas bases de dados (*Scopus* e *WoS*) foram excluídos; (II) Temporal, foram removidas publicações do ano de 2023, assim o período ficou entre 2001 a 2022; (III) Tipo do documento, foram considerados apenas artigos e artigos de revisão; (IV) Idioma, foram admitidos apenas artigos em inglês e português; (V) Leitura do *abstract*, foram excluídos artigos que não se enquadravam nos tópicos de interesse. Após a execução dos critérios, durante a leitura os artigos que não fizessem parte dos temas de interesse foram excluídos, apresentando uma amostra final de 47 artigos.

Figura 2.1 - Estágios da pesquisa para obtenção da amostragem da revisão sistemática a respeito da bioenergia sob perspectiva da biomassa florestal.



Fonte: Elaboração da autora, 2023.

2.2.3. Etapa 3: Relatório dos dados obtidos

Os resultados foram apresentados por meio análise bibliométrica (quantitativo) e análise de conteúdo (qualitativa). A análise bibliométrica, ou bibliometria, é um método que possibilita a análise estatística dos documentos ao longo do tempo, oferecendo uma abordagem quantitativa para compreender a produção e o impacto da literatura em uma determinada área de pesquisa (Reis *et al.*, 2022). De acordo com Chueke e Amatucci (2022), o conhecimento científico das técnicas de análises realizadas (bibliometria e RLS) é acumulativo e cooperativo,

pois os resultados das pesquisas anteriores contribuem para verificar lacunas existentes e, quando bem elaborados, têm grande relevância para novas pesquisas.

Para a bibliometria, foram realizadas análises de distribuição espacial dos artigos, evidenciando os países com maior contribuição, apresentados por meio de mapa confeccionado no *Software* Gratuito de Linguagem Aberta de Sistema de Informação Geográfica QGIS, versão 3.22.5, que permite análise espacial e criação de mapas. A quantidade de publicações por país foi dividida em quartis, onde o conjunto de dados é dividido em quatro partes, sendo: Q1 ($0 < Q1 \leq 25\%$), Q2 ($25\% < Q2 \leq 50\%$); Q3 ($50\% < Q3 \leq 75\%$); Q4 ($75\% < Q4 \leq 100\%$) (Fernandes e Pinto, 2013).

Os gráficos de evolução anual das publicações e citações no campo da bioenergia florestal foram produzidos no *Software* Excel. Para análise, foi utilizado o Diagrama de Venn, que é uma representação gráfica que utiliza círculos sobrepostos para mostrar as relações entre os conjuntos (Semeler e Pinto, 2020). Cada círculo representa um conjunto, e as sobreposições entre eles representam as áreas onde os conjuntos têm elementos em comum. Para análise de conteúdo, os artigos foram classificados em três conjuntos: 1) biomassa florestal, 2) lenha, 3) carvão vegetal, resíduos florestais e *pellets*.

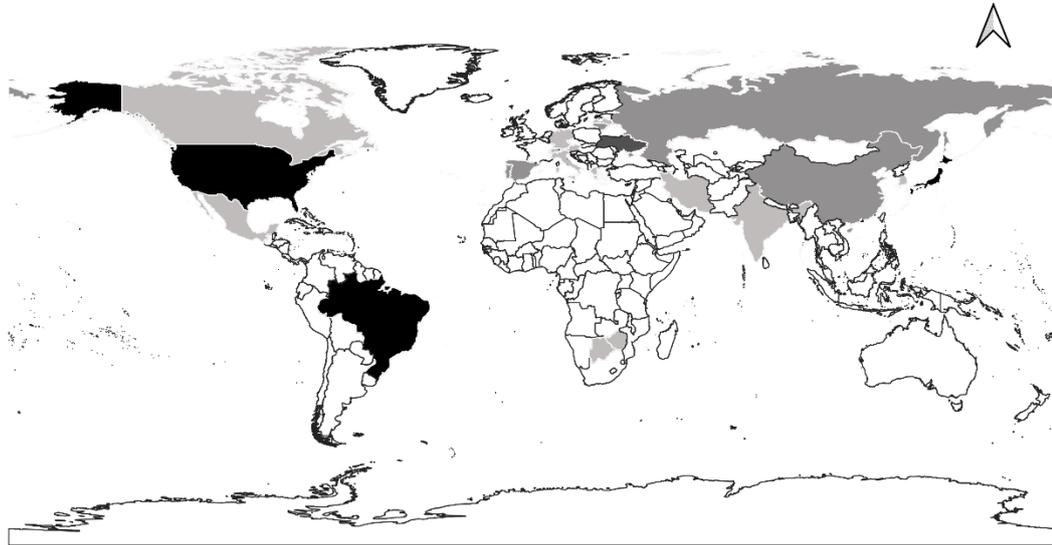
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição dos países por quartis das publicações científicas sobre bioenergia, com foco na biomassa florestal, no período de 2001 a 2021, foi apresentada na Figura 2.2. Foram encontradas 47 publicações, partilhadas em 23 países. O quartil 1 (Q1) é composto por Índia, Coreia do Sul, Alemanha, Letônia, Grécia, Áustria, Itália, Suíça, Irã, Botsuana, Zimbábue, Canadá e México. Os países como China, Lituânia, Rússia, Espanha e Portugal fazem parte do quartil 2 (Q2). A Ucrânia foi a única integrante do terceiro quartil (Q3). O quartil 4 (Q4) engloba os países com maior produção, sendo eles: Brasil, com 8 artigos; Estados Unidos, com 7 artigos e Japão, com 4.

A Figura 2.3 apresenta a evolução das publicações da bioenergia, com foco na biomassa florestal, durante o período de 2001 a 2022. O primeiro artigo da amostra data de 2001 e foi publicado na revista *Atmospheric Environment*. Os pesquisadores Jayaratne e Verma (2001) conduziram uma análise do impacto ambiental decorrente da queima de lenha na cidade de Gaborone, a capital do Botswana. Suas conclusões indicaram que a concentração de partículas era mais elevada durante o inverno em comparação com o verão. Além disso, observou-se uma concentração mais pronunciada nas regiões densamente povoadas próximas ao centro da cidade, enquanto houve uma queda significativa nas áreas periféricas, escassamente povoadas.

Após 2001, o próximo artigo sobre a temática só foi observado em 2006. O ano com maior número de publicações foi o ano de 2019, acumulando 8 artigos.

Figura 2.2 - Distribuição espacial dos países, por quartis, da quantidade de publicações científicas para bioenergia sob perspectiva da biomassa florestal, no período de 2001 a 2022.

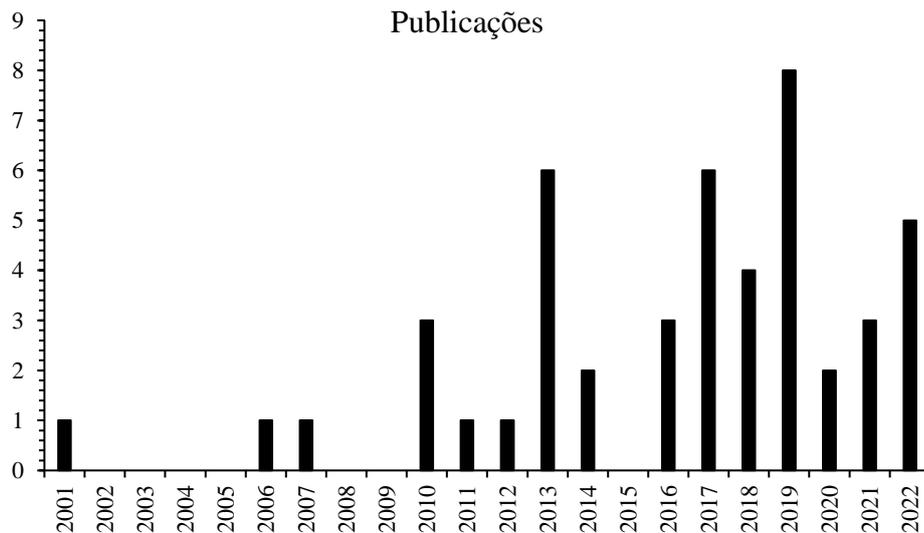


Legenda:

■ 1,0 < Q1 ≤ 1,5 ■ 1,5 < Q2 ≤ 2,0 ■ 2,0 < Q3 ≤ 3,0 ■ 3,0 < Q4 ≤ 8,0

Fonte: Elaboração da autora, 2023.

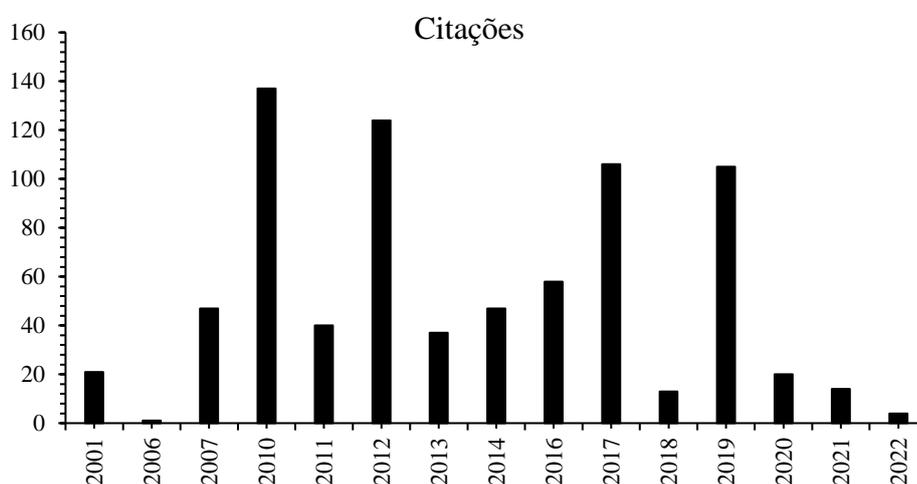
Figura 2.3 - Evolução anual das publicações (artigos e artigos de revisão) no campo da bioenergia florestal, durante o período de 2001 a 2022.



Fonte: Elaboração da autora, 2023.

A evolução das citações por ano está apresentada na Figura 2.4. Em 2010, observou-se o maior número de citações, totalizando 137 no ano. Dessas, 137 citações foram de um total de 3 artigos, em que apenas 1 desses artigos possui 98 citações, dos autores Luckow *et al.* (2010). A pesquisa evidencia a capacidade dos sistemas comerciais de energia de biomassa em alcançar objetivos climáticos globais. Ao empregar um modelo integrado de sistemas energéticos e agrícolas, destaca-se a importância da biomassa na busca por reduzidas concentrações de carbono, sobretudo quando o carbono terrestre é adequadamente valorizado. Em segundo lugar, com o maior número de citações, está o ano de 2012, no qual apenas 1 artigo de Rousset *et al.* (2012) possui 124 citações. Este estudo aborda a torrefação da biomassa em condições diversas de concentração de oxigênio e examina seu impacto na composição do subproduto sólido. De acordo com Świechowski *et al.* (2019), a torrefação é um processo termoquímico que ocorre em temperaturas entre 200° C e 300°C, convertendo-se em biochar. Essa técnica possibilita a transformação de biomassa bruta em combustível sólido com características energéticas semelhantes às do betume e do carvão mineral, dependendo da matéria-prima.

Figura 2.4 - Evolução anual das citações (artigos e artigos de revisão) no campo da bioenergia florestal, durante o período de 2001 a 2022.



Fonte: Elaboração da autora, 2023.

A pesquisa realizada por Rousset *et al.* (2012) analisou como a variação na concentração de oxigênio durante o processo de torrefação influencia as características do produto, com o objetivo de aprimorar a compreensão desse procedimento e otimizar a produção de biomassa torreficada. O artigo destacou as implicações práticas e os potenciais benefícios dessa técnica na produção de biomassa para aplicações energéticas.

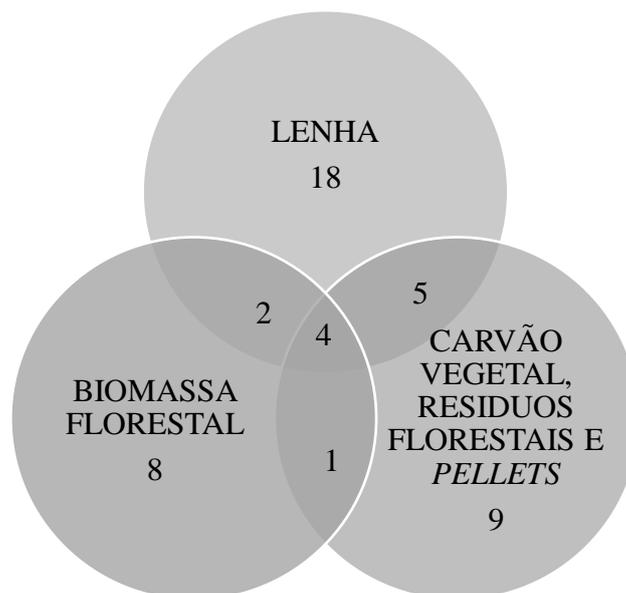
A Tabela 2.1 apresenta a classificação dos periódicos mais relevantes para o campo da bioenergia florestal, indicando a quantidade de produções e citações por periódicos, das plataformas *Web of Science* e *Scopus*, durante o período de 2001 a 2022. O periódico com 4 artigos com 128 citações foi o *Biomass and Bioenergy* distribuídos nos ensaios Ghilardi *et al.* (2017) com 47 citações, Kang e Yu (2017) com 37 citações, Sanchez-Molina *et al.* (2014) com 34 citações e Hendricks *et al.* (2016) com 10 citações. No segundo periódico, encontrou-se o *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* com 124 citações em apenas 1 artigo, intitulado “*Biomass torrefaction under different oxygen concentrations and its effect on the composition of the solid by-product*”, dos autores Rousset *et al.* (2012).

Tabela 2.1 - Classificação dos periódicos mais relevantes para o campo da bioenergia florestal, indicando a quantidade de produções e citações por periódico.

REVISTA	CITAÇÕES	QUANTIDADE
Biomass and Bioenergy	128	4
Journal of Analytical and Applied Pyrolysis	124	1
International Journal of Greenhouse Gas Control	98	1
Atmosphere	51	1
Ciencia Florestal	47	4
Biotechnology for Biofuels	40	1
Journal of International Studies	34	1
Bioenergy Research	31	1
Clean Technologies and Environmental Policy	22	1
Atmospheric Environment	21	1
Energy	19	1
Energy Policy	17	1
Proceedings of The Combustion Institute	15	1
Outras Revistas	127	28
TOTAL	774	47

Fonte: Elaboração da autora, 2023.

A Figura 2.5 apresenta o Diagrama de Venn para classificação dos estudos sobre biomassa florestal. Os estudos foram distribuídos nos eixos: Biomassa Florestal (B.F), Lenha (L) e Carvão vegetal, Resíduos florestais e *Pellets* (C.R.P). Os estudos sobre biomassa florestal totalizaram 8 artigos, os que abordaram a questão da lenha foram 18, e os que englobam os temas carvão vegetal, resíduos florestais e *pellets* contabilizaram 9 artigos. De forma geral, os artigos abordaram assuntos como impactos econômicos regionais, análises espaciais, formação de *clusters* e armazenamento de dióxido de carbono. A Tabela 2.2 complementa as informações do diagrama de Venn, apresentando uma classificação sistemática dos artigos, citando os autores e a quantidade de citações por grupo. Essa classificação e contagem das citações fornecem uma visão detalhada da relevância e contribuições de cada grupo de autores na literatura revisada.

Figura 2.5 - Diagrama de Venn da classificação dos estudos sobre bioenergia florestal.

Fonte: Elaboração da autora, 2023.

Tabela 2.2 - Distribuição das referências e quantidade de citações quanto a classificação dos artigos, por áreas de análise de conteúdo no campo da bioenergia florestal, de 2001 a 2022.

Classificação	Referências	Citações
L	Jayaratne e Verma (2001), Ghilardi, Guerrero e Masera (2007), Rousset <i>et al.</i> (2012), Kabrick <i>et al.</i> (2013), Nakamura, Shibata e Matsumoto (2013), Nakamura, Nakazawa e Matsumoto (2013), Zhou <i>et al.</i> (2013), Jacobson <i>et al.</i> (2016), Kang e Yu (2016), Diapouli <i>et al.</i> (2017), Coelho Junior, Burgos e Santos Júnior (2018), Mohr <i>et al.</i> (2019), Tejada <i>et al.</i> (2019), Protasio <i>et al.</i> (2019), Kuznetsov <i>et al.</i> (2022).	384
BF	Luckow <i>et al.</i> (2010), Trink <i>et al.</i> (2010), Montis e Trogu (2013), Jingura e Kamusoko (2017), Hosseini <i>et al.</i> (2019), Kumar e Krishna (2020), Vijay, Subbarao e Chandra (2021), Pryshliak <i>et al.</i> (2022).	136
C.R.P	Watanabe, Shimomura e Okazaki (2013), Calvert e Mabee (2014), Sanchez-Molina <i>et al.</i> (2014), Cheng <i>et al.</i> (2017), Poggi, Firmino e Amado (2018), Lopez-Rodriguez e Garciay (2019), Nguyen <i>et al.</i> (2020), Yankovskii, Kuznetsov e Galaktionova (2022), Li K. <i>et al.</i> (2022).	94
L+ C.R.P	Anbumozhi <i>et al.</i> (2010), Hendricks <i>et al.</i> (2016), Simioni <i>et al.</i> (2017), Svazas <i>et al.</i> (2019).	115
L + BF	Hawkins e Doran (2011) e Klavins <i>et al.</i> (2019).	44
BF+ C.R.P	Navickas, Vojtovic e Svaza (2017) e Galchynska <i>et al.</i> (2021)	13
L+ BF + C.R.P	Hughes e Mackes (2006), Poggi, Firmino e Amado (2018) e Galchynska <i>et al.</i> (2021).	4

Fonte: Elaboração da autora, 2023.

Biomassa Florestal

A transformação no uso do solo envolve a maneira como o espaço terrestre é utilizado pelas atividades humanas (Silva *et al.*, 2023). Para o desenvolvimento de uma cadeia de abastecimento de biomassa, isso pode apresentar desafios significativos. Na Ilha de Sardenha, localizada na Itália, a gestão da mudança no uso da terra confrontou dois planos opostos: o Plano Regional da Paisagem, que busca proteção rigorosa do território, e o Plano Energético Regional, que promove a diversificação, especialmente em fontes renováveis. Conflitos surgiram quando iniciativas para desenvolver energia renovável afetam o território, gerando impactos no uso do solo (Montis e Trogu, 2013).

Montis e Trogu (2013) propuseram duas soluções para resolver o conflito. A primeira sugere que a construção de uma cadeia de abastecimento de biomassa não necessita de alterações no uso do solo. Com uma gestão florestal adequada, a biomassa poderia ser colhida de florestas, e áreas agrícolas não utilizadas poderiam ser dedicadas ao cultivo de culturas energéticas. A segunda solução sugere que as centrais de processamento podem ser localizadas em assentamentos industriais.

A análise realizada por Trink *et al.* (2010) foi abrangente, cobrindo os custos com tecnologia em culturas agrícolas e florestais. Os resultados econômicos regionais revelaram impactos líquidos positivos no emprego para a biomassa oriunda da silvicultura. Entretanto, em alguns sistemas de biomassa agrícola, mesmo considerando da competição por terras, os efeitos positivos no emprego e no bem-estar desaparecem quando a variação regional dos preços ao consumidor passa a influenciar os salários ou quando o setor agrícola enfrenta uma concorrência intensa no mercado internacional.

Apesar do avanço das tecnologias, ainda existem regiões no mundo que enfrentam desafios no acesso à eletricidade, como a África Subsaariana, algumas áreas e países da Ásia Central e Ilhas Pacíficas. A África Subsaariana é uma das áreas no mundo que sofrem com baixa taxa de eletrificação, atingindo apenas 32%. Embora a região possua abundantes recursos de biomassa, menos de 1% da eletricidade na África Subsaariana é gerada a partir desse tipo de fonte. É válido afirmar que a região tem o potencial de atender à sua demanda de eletricidade por meio de fontes de biomassa. Os investimentos necessários para viabilizar essa transição não são exorbitantes e podem ser alcançados pelos países desta região (Jingura e Kamusoko, 2017).

Vijaya, Subbarao e Chandraa (2021) também abordaram a falta de acesso à eletricidade em áreas rurais, historicamente enfrentada com aumento de combustíveis fósseis e infraestrutura centralizada. No caso das províncias de Nagar, Uttar Pradesh, Índia, a pesquisa explora o potencial de biomassa local para geração descentralizada de energia, visando a

autonomia energética e à redução de emissões de GEE (Deka *et al.*, 2023). Diferentes cenários revelam um potencial energético de biomassa entre 6.783,7 e 21.852,5 kilowatt (kW), com economia de até 74% de emissões comparadas ao carvão. O potencial per capita de eletricidade baseada em biomassa (655,1 kWh/capita) supera o consumo atual, indicando a possibilidade de autossuficiência na região. O estudo destaca desafios na adoção da biomassa e sugere recomendações para sua implementação. Conclusões apontam para o planejamento descentralizado como impulsionador da autossuficiência energética em áreas rurais, com mapeamento de perfis de bioenergia e emissões, contribuindo para o desenvolvimento econômico local e a melhoria do ambiente.

A Ucrânia busca cumprir compromissos internacionais de redução de CO₂ e enfrentar as mudanças climáticas, promovendo a bioeconomia em sua Estratégia de Desenvolvimento Energético até 2035 (Chepeliev *et al.*, 2021). Com foco na substituição de combustíveis fósseis por biomassa vegetal, a agricultura desempenha um papel vital. O artigo de Chepeliev *et al.*, 2021 explora a eficiência energética por meio de *clusters* no setor de produção de biocombustíveis na Ucrânia, destacando a importância dessas interações econômicas concentradas geograficamente. Conclui-se que estratégias de *cluster*, especialmente no setor agrícola, podem impulsionar o desenvolvimento sustentável, aumentando a eficiência e reduzindo o impacto ambiental. Recomenda-se a introdução de incentivos financeiros, empréstimos governamentais, e programas estaduais para estimular os *clusters* de bioenergia, visando benefícios econômicos, ambientais e energéticos para o país. A formação de *clusters* de bioenergia na Ucrânia é vista como uma oportunidade para otimizar o uso de recursos, fortalecer a segurança energética e contribuir para a economia do país (Pryshliak *et al.*, 2022).

Para estimar a biomassa florestal acima do solo no distrito de Dhanbad, Jharkhand, Índia, Kumar e Krishna (2020) utilizaram dados de Radar de Abertura Sintética (SAR) em conjunto com informações ópticas. O satélite ALOS-2/PALSAR foi usado para recuperar parâmetros biofísicos da biomassa. Foram empregados cinco modelos alométricos, os quais foram treinados e validados com dados de retroespalhamento e altura. Foi estimada e mapeada uma faixa de valores de biomassa florestal acima do solo de 100 a 400 toneladas/ha. A combinação de retroespalhamento e altura apresentou melhores resultados do que os modelos apenas de retroespalhamento. O estudo demonstrou a eficácia dos dados SAR na estimativa de biomassa, destacando o papel vital das informações polarimétricas e de retroespalhamento. Isso sugere um grande potencial para o mapeamento da biomassa florestal.

Lenha

Dos estudos sobre lenha, foram identificados 17 artigos. O estudo inicial da amostra sobre lenha remonta a 2001, quando os autores Jayaratne e Verma (2001) destacaram que a queima de biomassa representava uma fonte considerável de poluição atmosférica. Mesmo diante dos avanços tecnológicos, constatou-se que uma parcela significativa da população ainda dependia da lenha como fonte de energética. A África é uma das regiões menos urbanizadas globalmente, e as comunidades rurais costumam enfrentar desafios no acesso a serviços essenciais, como energia, além de terem menos oportunidades econômicas em comparação com áreas urbanas (IEA, 2022). Por isso, a população local procura a lenha como fonte de energia.

Segundo Zhou *et al.* (2013) conduziram simulações que exploraram as variações espaciais e temporais da biomassa lenhosa e da biomassa florestal colhida no país ao longo do século XXI, considerando diferentes cenários de mudanças climáticas, concentração de CO₂ e estratégias de gestão. Os resultados da análise destacaram a extrema importância de considerar o papel da gestão florestal no ciclo do carbono, tanto ao nível regional quanto nacional, ao projetar o sequestro de carbono florestal frente às futuras alterações climáticas e ao aumento da concentração atmosférica de CO₂.

O uso de recursos ambientais, especialmente a biomassa lenhosa, pode gerar impactos econômicos significativos, tais como: geração de empregos, o desenvolvimento da indústria florestal e diversificação da economia. Nakamura, Nakazawa e Matsumoto (2013), utilizando uma abordagem expandida de análise de insumo-produto regional, elaboraram tabelas de entrada-saída inicialmente a nível municipal e, em seguida, ampliaram para incluir setores relacionados à biomassa lenhosa e créditos de CO₂. O foco estava em avaliar os efeitos econômicos da biomassa lenhosa e dos créditos de carbono na exportação.

A conversão da biomassa em energia, quando comparada ao petróleo, influenciou as relações de entrada e saída. Após simulações que alteraram a estrutura de insumo-produto, concluiu-se que o uso da biomassa lenhosa tem o potencial de elevar a renda per capita regional, especialmente com a institucionalização do comércio de créditos de carbono. A formalização desse comércio não apenas pode resultar em benefícios econômicos regionais expressivos, mas também impulsionar a diversificação econômica, promover o desenvolvimento da infraestrutura, facilitar o acesso a mercados internacionais e criação de empregos sustentáveis (Ribeiro *et al.*, 2021).

Um estudo realizado no México por Ghilardi, Guerrero e Maserà (2007) utilizou a análise WISDOM para identificar pontos críticos no uso residencial de lenha e estimar as emissões líquidas de CO₂ provenientes do uso não renovável. A análise WISDOM foi

desenvolvida pela *Food and Agriculture Organization* - FAO em cooperação com Instituto de Ecologia da Universidade Nacional do México e é uma abordagem metodológica utilizada para a gestão e planejamento dos recursos de lenha em uma determinada área geográfica. Essa análise destaca a importância de considerar não apenas o aspecto energético, mas também os impactos ambientais e de saúde associados ao uso residencial de lenha, sugerindo abordagens para promover práticas mais sustentáveis e menos poluentes.

A análise espacial, baseada em dados abrangentes, classificou 304 municípios de alta prioridade, representando 27% do consumo total de lenha para uso residencial. Estima-se que 1 a 3 teragrama (Tg) CO₂ são liberados anualmente pela queima de combustíveis não renováveis, equivalendo a menos de 1% das emissões totais de CO₂ no México em 2002. A heterogeneidade na situação do uso residencial de lenha no país foi destacada, demonstrando que generalizações amplas estão equivocadas. A análise WISDOM proporcionou uma plataforma abrangente de Sistema de Informação Geográfica - GIS, classificando municípios com sete indicadores ambientais, sociais e econômicos. Resultados precisos são essenciais para estratégias de planejamento de combustíveis lenhosos em nível local. Análises detalhadas estão sendo conduzidas em pontos críticos identificados, visando estimativas mais precisas das emissões de CO₂ (Ghilardi, Guerrero e Maserà, 2007).

O uso crescente de energias renováveis desempenha um papel significativo na redução das emissões de CO₂ e na promoção da sustentabilidade (IRENA, 2021). Em um estudo realizado por Nakamura, Shibata e Matsumoto (2013), quantificaram as contribuições econômicas derivadas da implementação de recursos renováveis na cidade de Maniwa bem como seu impacto na exportação para outras áreas. Os resultados empíricos destacaram que a produção local de biomassa e sua utilização intra-regional geraram efeitos de circulação significativos. Adicionalmente, foram identificados efeitos de substituição e efeitos de reserva de rendimentos, resultantes dos preços relativamente mais baixos da energia de biomassa na região. Esse cenário evidencia não apenas os benefícios econômicos locais, mas também a capacidade de exportação e os impactos positivos decorrentes da adoção de práticas sustentáveis com energias renováveis (Jasinevičius *et al.*, 2017).

No Brasil, parte considerável da região Nordeste é fortemente dependente dos recursos florestais nativos. Coelho Junior, Burgos e Santos Junior (2018) conduziram uma análise sobre a concentração regional da produção de lenha nativa na Paraíba durante o período de 1994 a 2014. Para essa investigação, foram utilizados os recortes geográficos municipais, microrregional e mesorregional do IBGE. Cinco índices foram empregados para mensurar a concentração, revelando que a produção de lenha apresentou variações significativas na sua

confluência regional. Ainda de acordo com os autores, observou-se uma concentração moderadamente baixa nas quatro maiores microrregiões e moderadamente alta nas oito maiores microrregiões, indicando distintos níveis de competitividade no mercado. Além disso, constatou-se que, no período de 1994 a 2014, a produção de lenha na Paraíba experimentou uma redução, resultado da atuação proativa dos órgãos fiscalizadores e ambientais.

Na Paraíba também foi analisado a concentração regional do valor bruto da produção de lenha de 1994 a 2014, utilizando indicadores de concentração regional. O Valor Bruto da Produção (VBP) da lenha aumentou significativamente, passando de R\$ 2,59 milhões (1994) para R\$ 10,39 milhões (2014). Os índices de concentração (CR) revelaram baixa concentração nos municípios, enquanto as microrregiões apresentaram concentração moderadamente baixa (CR (4)) e moderadamente alta (CR (8)). O Índice Herfindahl-Hirschman (IHH) indicou um mercado competitivo nos municípios e microrregiões, com concentração moderada nas mesorregiões. A Entropia (E) confirmou a evidência do IHH nos diferentes níveis regionais. O Índice Hall-Tindelman (IHT) revelou baixa concentração regional, sugerindo alta concorrência. O Índice de Gini (G) apontou desigualdade média a forte nas mesorregiões, fraca a média nas microrregiões e zero a fraca nos municípios. As conclusões destacam a redução da concentração do VBP da lenha ao considerar diferentes recortes regionais, evidenciando maior concentração nas mesorregiões, seguida pelas microrregiões e, por fim, nos municípios (Coelho Junior *et al.*, 2019).

No Rio Grande do Norte (RN), entre 1990 e 2017, Coelho Junior *et al.* (2022) investigaram a produção de lenha nativa. Analisaram a distribuição espacial da produção de lenha nativa, empregando indicadores como Coeficiente de Gini, Índice de Concentração Abrangente, Índice Herfindahl-Hirschman e Índice de Concentração [CR(k)]. O artigo investigou a produção de lenha nativa no Rio Grande do Norte, Brasil, entre 1990 e 2017, com foco na concentração regional. O estudo analisou a situação atual e a distribuição espacial da produção de lenha, empregando indicadores como Coeficiente de Gini, Índice de Concentração Abrangente, Índice Herfindahl-Hirschman e Índice de Concentração [CR(k)].

A produção de lenha nativa no RN apresentou uma queda anual de -2,76%, passando de $5.280 \times 10^3 \text{ m}^3$ em 1990 para $777 \times 10^3 \text{ m}^3$ em 2017. A expansão da lenha proveniente da silvicultura ocorreu ao mesmo tempo que a redução da produção oriunda do extrativismo vegetal (Bichel e Telles, 2021). A classificação dos municípios por quartil indicou predominantemente baixa produção. Os indicadores de desigualdade (G) apontaram forte desigualdade para os municípios e fraca a nula para as mesorregiões. O Índice de Concentração abrangente não identificou concentração nos municípios, mas revelou concentração regional

nas mesorregiões. O Índice Herfindahl-Hirschman corroborou a presença de um mercado altamente competitivo nos municípios e microrregiões, enquanto as mesorregiões apresentaram concentração. O Índice de Concentração [CR(k)] dos maiores municípios indicou concentração moderadamente baixa. Em resumo, a produção de lenha no Rio Grande do Norte possui uma estrutura de mercado não concentrada, com evidências de alta competitividade nos níveis municipais e microrregionais, contrastando com uma concentração nas mesorregiões (Coelho Junior *et al.*, 2022).

Tejada *et al.* (2019) abordaram em seu estudo a composição elementar de quatro espécies de madeira natural não tratada (faia, carvalho e duas espécies de abeto) e suas cinzas resultantes da combustão em fogões a lenha. Foram analisados 30 elementos menores e traços pela técnica *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES). As cinzas, ricas em nutrientes, podem ser utilizadas como fertilizante, mas apresentam concentrações de oligoelementos tóxicos que excedem os limites alemães. Apesar do potencial prejudicial, os oligoelementos também têm valor, tornando as cinzas valiosas para a mineração urbana. A separação dos oligoelementos da matriz de cinzas é essencial antes da aplicação no solo, visando evitar impactos negativos na saúde das plantas. A conclusão destaca a variação nas concentrações de elementos entre espécies e a importância de considerar as propriedades do solo. A pesquisa sugere que, ao separar os elementos tóxicos, as cinzas de madeira podem ser uma fonte valiosa de fertilizantes e elementos raros, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e do consumo de energia na indústria.

Protássio *et al.* (2019) investigaram as características energéticas de clones de eucalipto, destacando a importância da composição química, especialmente a presença de unidades siringil (S) e guaiacil (G) na lignina, na degradação térmica da lenha. Foram analisados 14 clones provenientes de floresta plantada, considerando produtividade energética, poder calorífico, teor de cinzas, composição química e características térmicas. Os resultados indicaram que a composição química, em particular a quantidade de unidades G na lignina, influenciou significativamente o desempenho da combustão. Os extrativos solúveis em acetona e a maior proporção de unidades G na lignina contribuíram para maior estabilidade térmica e prolongamento do tempo de combustão. A massa da unidade G por quilograma de madeira seca foi identificada como um indicador eficaz para classificar clones de eucalipto em termos de geração de calor.

Ainda de acordo com Protássio *et al.* (2019), o clone 1037 (*Eucalyptus sp.*) destacou-se com um desempenho superior de combustão e maior produtividade energética. As conclusões destacam a importância da matéria volátil, carbono fixo, extrativos e unidades G na lignina para

o desempenho da combustão da lenha de eucalipto. Recomenda-se a considerar a produtividade energética e composição química, incluindo a unidade G, na seleção de clones para lenha de eucalipto. Barreiros *et al.* (2021) também analisaram três espécies de eucalipto, considerando basicamente os mesmos indicadores e concluíram que o *E. urocam* mostrou maior potencial energético.

O aumento do interesse na utilização de biomassa lenhosa para energia levanta a possibilidade de aproveitar cortes de árvores de pequeno diâmetro durante operações de desbaste, anteriormente consideradas de pouco valor econômico. No entanto, a falta de informações sobre a quantidade de biomassa e nutrientes removidos nessas colheitas levou a este estudo em povoamentos de carvalho na Região Central de Folhosas. O carvalho branco foi a espécie mais colhida, seguido por outras como carvalho preto, nogueira mockernut, entre outras. A análise indicou que o cerne e o alburno compõem a maior parte da biomassa, seguidos pela casca, galhos e folhas. As estimativas mostraram remoções de nutrientes 1,3–3 vezes maiores em colheitas de pequeno diâmetro em comparação com colheitas tradicionais de toras de madeira. Essa elevada remoção de nutrientes destaca a necessidade de equilibrar as colheitas de biomassa para evitar exceder os insumos naturais do solo e atmosfera (Kabrick *et al.*, 2013).

Carvão vegetal, resíduos florestais e pellets

A biomassa apresenta uma densidade energética relativamente reduzida, o que impede o transporte em grandes distâncias. Consequentemente, os sistemas de geração de bioenergia precisarão minimizar a distância entre o fornecimento e a conversão, visando alcançar retornos energéticos e financeiros satisfatórios para o investimento. Calvert e Mabee (2014) avaliaram por meio da análise espacial, o potencial da bioenergia em uma região que sustenta uma combinação de práticas de gestão de recursos florestais e agrícolas, juntamente com atividades econômicas. Verificaram que a localização estratégica em "zonas de transição" entre atividades florestais e agrícolas pode maximizar o acesso às matérias-primas, minimizando as distâncias percorridas, promovendo resiliência e eficiência na produção de bioenergia.

López-Rodríguez, Sanz-Calcedo e Moral-García (2019) buscaram quantificar, mapear, definir biomassa e resíduos de biomassa nas regiões do sudoeste da Europa, considerando aspectos ambientais e econômicos. Além disso, almejavam disponibilizar uma ferramenta prática para o planejamento e gestão dos recursos energéticos na região. Com base no avanço das técnicas de colheita florestal e na asseguuração de um fornecimento contínuo e garantido em termos de qualidade, os resíduos florestais considerados poderiam, em parte, substituir os combustíveis fósseis atualmente empregados.

Lenha + Carvão vegetal, resíduos florestais e pellets

A produção de lenha e carvão vegetal provenientes do plantio florestal no Brasil apresenta uma tendência de crescimento, conforme evidenciado por Simioni *et al.* (2017), que analisaram a evolução e concentração desses produtos de silvicultura no país de 2001 a 2011. Os resultados indicaram uma concentração significativa de lenha nos estados do Paraná e Santa Catarina, enquanto o carvão vegetal concentrou-se principalmente em Minas Gerais. No entanto, essa produção ainda não tem sido suficiente para suprir a demanda, resultando em aumentos de preços em diversas regiões brasileiras. Essa situação, por sua vez, intensifica a pressão sobre a extração excessiva dos produtos provenientes da floresta nativa.

Para estimular a economia rural na região de Tug Hill, no Estado de Nova York, nos Estados Unidos da América, Hendricks *et al.* (2016) examinaram o uso do aquecimento a biomassa. Ao comparar com o óleo combustível, o uso do aquecimento a biomassa mostrou impactos econômicos significativos, gerando atividade econômica local de 18,7 milhões de dólares e 143 empregos. Embora esses impactos sejam menores em comparação com áreas com redes de aquecimento a biomassa mais estabelecidas, eles podem ser essenciais para aldeias rurais. A pesquisa destaca a necessidade de considerar padrões de despesas locais ao avaliar o potencial econômico do uso do aquecimento a biomassa. Mesmo com limitações na escala do modelo, a biomassa pode diversificar oportunidades para a indústria florestal regional, contribuindo para a estabilidade econômica. O estudo destaca o papel potencial da biomassa na transição para energia local, criando empregos e uma nova indústria em áreas economicamente desfavorecidas (Hendricks *et al.*, 2016).

Os resíduos de madeira podem ser valiosos. Anbumozh *et al.* (2010) exploraram como a biomassa, especialmente resíduos de madeira, podem ser utilizados de forma eficaz em um *cluster* industrial madeireiro em Maniwa, Japão. Empresas locais se uniram para transformar resíduos, como combustível de biomassa e matéria-prima para diferentes produtos. A participação ativa das empresas na comunidade, uso de tecnologias facilitadoras e a integração política foram essenciais. O *cluster* mostrou que a abordagem comunitária, tecnologias, capital social e políticas integradas são fundamentais para converter resíduos como recursos valiosos, promovendo o desenvolvimento regional sustentável e benefícios socioeconômicos equitativos. O estudo destaca a importância de focar em agroindústrias para melhorar o desempenho ambiental e ressalta a necessidade de ações comunitárias e políticas integradas para o uso eficaz da biomassa em regiões isoladas e sem investimentos.

Lenha + Biomassa florestal

Klavins *et al.* (2019) abordaram os impactos da colheita de biomassa lenhosa na lixiviação de nutrientes em florestas hemibóreas na Letônia, considerando diferentes intensidades de colheita. A pesquisa monitorizou formas diferentes composto que contêm nitrogênio na solução do solo por 3 a 6 anos após a colheita em diferentes regimes, incluindo florestas dominadas por pinheiro silvestre ou abeto norueguês, bem como áreas agrícolas com choupo híbrido.

Os resultados indicaram que a colheita de biomassa em áreas florestais aumentou as concentrações de nitrogênio nos primeiros anos, especialmente em locais de fertilidade média a alta. Contudo, a longo prazo, os níveis de nitrato-nitrogênio se aproximaram dos valores de controle ou até diminuíram. Na remoção de tocos, houve uma tendência à diminuição das concentrações de nitrato-nitrogênio, sem diferenças claras entre as variantes. A colheita de biomassa em choupo híbrido teve impactos leves nas concentrações de nitrogênio, mas a fertilização adicional com nitrogênio causou uma significativa diminuição na concentração total de nitrogênio. Apesar de riscos iniciais mais elevados de lixiviação de nitrogênio em áreas florestais, os efeitos a médio e longo prazo continuam a ser explorados. O estudo enfatiza a complexidade dos impactos da colheita de biomassa lenhosa nos ciclos de nutrientes e destaca a necessidade de investigações mais aprofundadas para compreender totalmente esses efeitos (Klavins *et al.*, 2019).

Hawkins e Peterson (2011) conduziram uma pesquisa acerca da produção de etanol a partir de madeiras macias, como o pinho, utilizando uma cepa modificada da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. O desafio principal reside no fato de que o pré-tratamento da madeira gera compostos prejudiciais à fermentação. Uma cepa denominada AJP50, derivada da cepa industrial XR122N, demonstrou maior eficiência na fermentação do pinho pré-tratado. A adaptação da levedura antes da fermentação em concentrações elevadas de sólidos de pinho aprimorou o desempenho de todas as cepas. Os resultados evidenciam a viabilidade de realizar uma fermentação eficaz de pinho pré-tratado, inclusive com compostos inibitórios, utilizando cargas de sólidos mais elevadas do que anteriormente reportado. A cepa evoluída possibilita uma produção de etanol mais eficiente, reduzindo custos e tempo do processo, tornando a conversão de biomassa lenhosa em etanol ~~mais~~ economicamente sustentável.

Biomassa florestal + Carvão vegetal, resíduos florestais e pellets

Os *clusters* de biomassa surgem como solução, concentrando recursos para impulsionar a competitividade e o crescimento empresarial. O foco foi criar *clusters* eficientes no uso de

resíduos de madeira para energia. Pouco explorado na literatura científica, o funcionamento desses *clusters* é fulcral para a competitividade. Usando o exemplo lituano, os cálculos revelam que concentrar esforços em resíduos de madeira traz benefícios econômicos, sociais e ambientais. A pesquisa ressalta que, na Lituânia, o *cluster* de biomassa mantém baixos níveis de desemprego, mesmo em regiões que usam combustíveis importados. O modelo de *cluster*, envolvendo desde fornecedores até processadores, oferece oportunidades de competição e contribui para a economia local. Investidores podem usar fórmulas específicas para identificar regiões promissoras, facilitando decisões de investimento. Esse modelo não apenas fornece energia a preços acessíveis, mas também promove empregos locais, criando valor econômico (Navickas, Vojtovic e Svazas, 2017).

Lenha + Biomassa florestal + Carvão vegetal, resíduos florestais e pellets

A importância estratégica da bioenergia, especialmente na Ucrânia, é considerável, dada a volatilidade do país e o vasto potencial de biomassa disponível. O estudo de Galchynska *et al.* (2021) propôs o desenvolvimento de *clusters* de bioenergia com base no potencial bioenergético dos territórios, utilizando abordagens modernas. A avaliação do crescimento da produção de bioenergia em várias nações, incluindo China, Alemanha, Brasil e Ucrânia, destaca a viabilidade da abordagem de *cluster*. O método de análise de agrupamento foi aplicado para classificar as regiões ucranianas com base em indicadores de potencial energético da biomassa (Chepeliev *et al.*, 2021).

A criação de *clusters* de bioenergia foi apresentada como uma estratégia eficaz para desenvolver vantagens competitivas regionais, aumentando a produção de biomassa e biocombustíveis. A conclusão destaca a diferença na dinâmica global de produção de bioenergia, identificando China, Alemanha e Brasil como os líderes de crescimento, enquanto enfatiza a necessidade de desenvolvimento mais substancial na Ucrânia, apontando os *clusters* como ferramentas relevantes para projetos de bioenergia sob concorrência intensa. A implementação da análise incluiu considerações detalhadas sobre diversos indicadores, como o potencial energético de diferentes tipos de biomassa, desde resíduos de células primárias até culturas bioenergéticas e o potencial energético do milho para produção de biogás (Galchynska *et al.*, 2021).

2.4. CONCLUSÃO

A partir deste estudo, foi possível obter uma melhor compreensão sobre a biomassa florestal em relação ao seu uso como energia e à sustentabilidade do recurso. Das análises

realizadas, observou-se que as pesquisas foram iniciadas no ano de 2001 a 2022. O ano com maior número de produções sobre o tema foi 2019, totalizando 8 publicações. A amostra utilizada para análise consistiu em 47 publicações, compartilhadas em 23 países, sendo os principais contribuintes Brasil, Estados Unidos e Japão.

Em relação aos periódicos, os mais significativos em termos de quantidade de citações foram o *Biomass and Bioenergy*, com 128, o *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, com 124 e o *International Journal of Greenhouse Gas Control*, com 98 citações. No que se refere à quantidade de artigos publicados, podem-se destacar o *Biomass and Bioenergy* e *Ciência Florestal*, ambos com 4 artigos publicados.

Na análise de conteúdo, os estudos foram classificados em três grupos: grupo 1 abordou biomassa florestal, o grupo 2 tratou da lenha e o grupo 3 abrangeu o carvão vegetal, os resíduos florestais e os *pellets*. De forma geral, os artigos englobaram assuntos como os impactos econômicos regionais, análises espaciais, formação de *clusters* e armazenamento de dióxido de carbono.

Este estudo ofereceu uma visão sobre bioenergia, enfatizando a biomassa florestal e destacando a evolução do tema, reforçando a relevância global desse recurso sustentável. O ano de 2019 foi significativo em produção acadêmica. Essa pesquisa buscou fomentar o interesse e a curiosidade em torno do tema bioenergia, inspirando futuros estudos que possam contribuir para o avanço contínuo do conhecimento a respeito da bioenergia.

REFERÊNCIAS

ANBUMOZHI, V; GUNJIMA, T; PREM ANANTH, A; VISVANATHAN, C. An assessment of inter-firm networks in a wood biomass industrial cluster: lessons for integrated policymaking. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 12, p. 365-372, 2010.

BALDAM, R. **Science Mapping (Bibliometria) with R Studio, Bibliometrix and international indexes**. Ufes: Vitória, 2021. Disponível: <http://cope.ufes.br>. Access: 10/11/2021.

BARREIROS, R. M; RIBEIRO, G. P; DIAS, K. B; GOUVÊA, C. F; REIS, A. M. F; SILVA, G. C. Potencialidade energética da madeira de três espécies de eucalipto. **Recursos naturais: energia de biomassa florestal**, v. 1, p. 146-164, 2021.

CALVERT, K; MABEE, W. Spatial analysis of biomass resources within a socio-ecologically heterogeneous region: Identifying opportunities for a mixed feedstock stream. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 3, n. 1, p. 209-232, 2014.

- CESPRINI, E; RESENTE, G; CAUSIN, V; URSO, T; CAVALLI, R; ZANETTI, M. Energy recovery of glued wood waste – A review. **Fuel**, v. 262, p. 116520, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116520>.
- CHENG, X; XU, Y; LI, J; WANG, Z; MA, C. Heating Process Characteristics and Kinetics of Biomass at Different Oxygen Concentrations. **International Journal of Chemical Reactor Engineering**, v. 15, n. 4, p. 20170009, 2017.
- CHEPELIEV, M; DIACHUK, O; PODOLETS, R; TRYPOLSKA, G. The role of bioenergy in Ukraine's climate mitigation policy by 2050. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 152, p. 111714, 2021.
- CHUEKE, G. V; AMATUCCI, M. MÉTODOS DE SISTEMATIZAÇÃO DE LITERATURA EM ESTUDOS CIENTÍFICOS: BIBLIOMETRIA, META-ANÁLISE E REVISÃO SISTEMÁTICA. **Revista Eletrônica de Negócios Internacionais**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 284-292, mar. 2022. Disponível em: <http://internext.espm.br>. Acesso em: 27 maio 2022.
- COELHO JUNIOR, L. M.; BURGOS, M. C.; SANTOS JÚNIOR, E. P.; PINTO, P. A. L. A. Regional concentration of the gross production value of firewood in Paraíba. **Floresta e Ambiente**, v. 26, 2019.
- COELHO JUNIOR, L. M; BURGOS, J. V. C; NUNES, A. M. M; JOAQUIM, M. S; SOUZA, A. N; BORGES, L. A. C. Regional concentration of native fuelwood production in Rio Grande do Norte, Brazil (1990-2017). **Ciência Rural**, v. 52, p. e20200357, 2022.
- COELHO JUNIOR, L. M; BURGOS, M. C; SANTOS JÚNIOR, E. P. Concentração regional da produção de lenha da Paraíba. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1729-1740, 2018.
- DEKA, T. J; OSMAN, A. I; BARUAH, D. C; ROONEY, D. W. Assessment of bioenergy and syngas generation in India based on estimation of agricultural residues. **Energy Reports**, v. 9, p. 3771-3786, 2023.
- DIAPOULI, E; KALOGRIDIS, A. C; MARKANTONAKI, C; VRATOLIS, S; FETFATZIS, P; COLOMBI, C; ELEFThERIADIS, K. Annual variability of black carbon concentrations originating from biomass and fossil fuel combustion for the suburban aerosol in Athens, Greece. **Atmosphere**, v. 8, n. 12, p. 234, 2017.
- Energy Agency, 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/WorldEnergy-Transitions-Outlook>. Acesso em: 04 de janeiro de 2024.
- FERNANDES, S; PINTO, M. M. **Afinal o que são e como se calculam os quartis?**. 2013
- FERRARI, G; PEZZUOLO, A; NIZAMI, A. S; MARINELLO, F. Bibliometric Analysis of Trends in Biomass for Bioenergy Research. **Energies**, v. 13, n. 14, p. 3714, 2020.
- GALCHYNSKA, J; LARINA, Y; VARCHENKO, O; STRUK, N; GRYSHCHENKO, O. Perspectives of Ukrainian bioenergy development: estimation by means of cluster analysis and marketing approach. **Economic Annals-XXI**, v. 187, 2021.

GHILARDI, A; GUERRERO, G; MASERA, O. Spatial analysis of residential fuelwood supply and demand patterns in Mexico using the WISDOM approach. **Biomass and Bioenergy**, v. 31, n. 7, p. 475-491, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002

HAWKINS, G. M; PETERSON, J. D. A strain of *Saccharomyces cerevisiae* evolved for fermentation of lignocellulosic biomass displays improved growth and fermentative ability in high solids concentrations and in the presence of inhibitory compounds. **Biotechnology for biofuels**, v. 4, p. 1-14, 2011.

HENDRICKS, A. M; WAGNER, J. E; VOLK, T. A; NEWMAN, D. H. Regional economic impacts of biomass district heating in rural New York. **Biomass and Bioenergy**, v. 88, p. 1-9, 2016.

HOSSEINI, S; EBADI, H; MAGHSOUDI, Y; GARESTIER, F. Pol-InSAR for forest biomass estimation with the transformation of the polarization basis. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 47, n. 7, p. 1097-1109, 2019.

HUGHES, E. M; MACKES, K. H. Developing a geographical information system database and spatial analysis for a forest biomass resource assessment. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 34, n. 3, p. 153-157, 2005.

International Energy Agency - IEA (2020). **World Energy Outlook 2020**. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020> > Acesso em: out. 2023.

International Energy Agency - IEA (2022), **Africa Energy Outlook 2022**. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2022>>. Acesso em: jan. 2024.

International Energy Agency - IEA (2023). **Electricity Market Report 2023**. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-2023> > Acesso em: jan. 2024.

International Energy Agency - IEA (2023). **World Energy Outlook 2023**. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> > Acesso em: dez. 2023.

IRENA. **World Energy Transitions Outlook: 1,5°C Pathway**. International Renewable

JACOBSON, R. A; KEEFE, R. F; SMITH, A. M. S; METLEN S; SAUL, D. A; NEWMAN, S. M; LANINGA, T. J; INMAN, D. Multi-spatial analysis of forest residue utilization for bioenergy. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 10, n. 5, p. 560-575, 2016.

JASINEVIČIUS, G; LINDNER, M; VERKERK, P. J; ALEINIKOVAS, M. Assessing impacts of wood utilisation scenarios for a Lithuanian bioeconomy: Impacts on carbon in forests and harvested wood products and on the socio-economic performance of the forest-based sector. **Forests**, v. 8, n. 4, p. 133, 2017.

JAYARATNE, E. R.; VERMA, T. S. The impact of biomass burning on the environmental aerosol concentration in Gaborone, Botswana. **Atmospheric Environment**, v. 35, n. 10, p. 1821-1828, 2001.

JINGURA, R; KAMUSOKO, R. Temporal and spatial analysis of electricity generation from biomass sources in sub-Saharan Africa. **Cogent Engineering**, v. 4, n. 1, p. 1296757, 2017.

- KABRICK, J. M; DWYER, J. P; SHIFLEY, S. R; O'NEIL, B. S. Components and nutrient concentrations of small-diameter woody biomass for energy. **Northern Journal of Applied Forestry**, v. 30, n. 3, p. 137-142, 2013.
- KANG, S; YU, J. An intensified reaction technology for high levulinic acid concentration from lignocellulosic biomass. **Biomass and Bioenergy**, v. 95, p. 214-220, 2016.
- KAWUKI, J; YU, X; MUSA, T. H. Bibliometric analysis of Ebola research indexed in web of science and scopus (2010-2020). **BioMed research international**, v. 2020, 2020.
- KIMEMIA, D; ANNEGARN, H. Uma economia de energia de biomassa urbana em Joanesburgo, África do Sul. **Energia para o Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 4, pág. 382-387, 2011.
- KĻAVIŅS, I; BĀRDULE, A; LIBIETE, Z; LAZDIŅA, D; LAZDIŅS, A. Impact of biomass harvesting on nitrogen concentration in the soil solution in hemiboreal woody ecosystems. **Silva Fennica**, v. 53, n. 4, 2019.
- KOÇYİĞİT, S. Ç; ÇİLHORUZ, İ. A; ÇELİK, G; GÜNENÇ, E. Ö. Bibliometric mapping of studies on green accounting in health. **Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 10(2), 1627-1645, 2023.
- KUMAR, P; KRISHNA, A. P. Forest biomass estimation using multi-polarization SAR data coupled with optical data. **Curr. Sci**, v. 119, n. 8, p. 1316-1321, 2020.
- KUZNETSOV, G. V; SYRODOY, S. V; KOSTOREVA, A. A; KOSTOREVA, Z. A; PURIN, M. V; MALYSHEV, D. Y. Increasing the concentration of woody biomass in the furnace room according to the characteristics and conditions of ignition. **Journal of the Energy Institute**, v. 101, p. 265-276, 2022.
- LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 8 ed. São Paulo, SP: Atlas, 2017.
- LI, K; YAN, W; HUANG, X; YU, L; ZHOU, H. In-situ measurement of combustion characteristics and potassium release concentration during torrefied biomass burning based on spontaneous emission spectroscopy. **Fuel**, v. 328, p. 125249, 2022.
- LINNENLUECKE, M. K; MARRONE, M; SINGH, A. K. Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. **Australian Journal of Management**, v. 45, n. 2, p. 175-194, 2020.
- LOPES, G.A; BRITO, J.O; MOURA, L.F. USO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS MADEIREIROS NA PRODUÇÃO DE CERÂMICAS NO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 679-686, jun. 2016.
- LÓPEZ-RODRÍGUEZ, F; SANZ-CALCEDO, J. G; MORAL-GARCÍA, F. J. Spatial analysis of residual biomass and location of future storage centers in the southwest of Europe. **Energies**, v. 12, n. 10, p. 1978, 2019.
- LUCKOW, P; WISE, M. A; DOOLEY, J. J; KIM, S. H. Large-scale utilization of biomass energy and carbon dioxide capture and storage in the transport and electricity sectors under

stringent CO₂ concentration limit scenarios. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 4, n. 5, p. 865-877, 2010.

MAO, G; HUANG, N; CHEN, L; WANG, H. Research on biomass energy and environment from the past to the future: A bibliometric analysis. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 1081-1090, 2018.

MAO, G; ZOU, H; CHEN, G; DU, H; ZUO, J. Past, current and future of biomass energy research: A bibliometric analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, , v. 52, p. 1823-1833, 2015.

MOHR, L; BURG, V; THEES, O; TRUTNEVYTE, E. Spatial hot spots and clusters of bioenergy combined with socio-economic analysis in Switzerland. **Renewable Energy**, v. 140, p. 840-851, 2019.

MONTIS, A; TROGU, D. Planning land-use change for biomass-fuelled energy-production plants: spatial analyses applied to the case of Sardinia, Italy. **Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization**, v. 48, n. 1, p. 13-21, 2013.

NAKAMURA, R; NAKAZAWA, J; MATSUMOTO, A. Regional economic effects of CO₂ reduction activities with wood biomass: application and extension of a regional IO model. **Studies in Regional Science**, v. 42, n. 4, p. 799-817, 2013.

NAKAMURA, R; SHIBATA, H; MATSUMOTO, A. Price Formation and Regional Economic Effects of Wooden Biomass Energy. **Studies in Regional Science**, v. 43, n. 4, p. 429-449, 2013.

NAVICKAS, V; VOJTOVIC, S.; SVAZAS, M. Biomass clusters influence on business competitiveness. **Polish Journal of Management Studies**, v. 16, n. 2, p. 188-197, 2017.

NGUYEN, H. K; MOON, J; JO, S; PARK, S. J; SEO, M. W; RA, H. W; YOON, S; YOON, S; SONG, B; LEE, U; YANG, C. W; MUN, T; LEE, J. Oxy-combustion characteristics as a function of oxygen concentration and biomass co-firing ratio in a 0.1 MWth circulating fluidized bed combustion test-rig. **Energy**, v. 196, p. 117020, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117020>

PECH, G; DELGADO, C. Screening the most highly cited papers in longitudinal bibliometric studies and systematic literature reviews of a research field or journal: widespread used metrics vs a percentile citation-based approach. **Journal of Informetrics**, v. 15, n. 3, p. 101161, 2021.

POGGI, F; FIRMINO, A; AMADO, M. Municipal clusters of bioenergy: a contribution to forest fire prevention. **FINISTERRA-REVISTA PORTUGUESA DE GEOGRAFIA**, v. 53, n. 108, p. 39-52, 2018.

PROTÁSIO, T. P; SCATOLINO, M. V, DE ARAÚJO, A. C.C; OLIVEIRA, A. F.C.F; FIGUEIREDO, I. C. R; ASSIS, M.R; TRUGILHO, P. F. Avaliação da composição centesimal, concentração extrativa e qualidade da lignina para determinar parâmetros apropriados para seleção de lenha de eucalipto de qualidade superior . **Bioenergia**. Res. 12, 626–641 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10004-x>

PRYSHLIAK, N; BONDARENKO, V; SOKOLIUK, S; BROVARETS, O. The formation of a bioenergy cluster for the production of biofuels from agricultural crops and waste: the experience of Ukraine. **Polityka Energetyczna-Energy Policy Journal**, p. 149-164-149-164, 2022.

RAZM, S; NÍQUEL, S; SAHEBI, H. Um modelo matemático multiobjetivo para redesenhar a rede global de fornecimento de bioenergia sustentável. **Computers & Chemical Engineering**, v. 128, p. 1-20, 2019.

RIBEIRO, N. S; ARMSTRONG, A. H; FISCHER, R., KIM, Y. S; SHUGART, H. H; BARROS, A. I.R; CHAUQUE, A; TEAR, T; ALLEN, R.W; BANDEIRA, R. R. Prediction of forest parameters and carbon accounting under different fire regimes in Miombo woodlands, Niassa Special Reserve, Northern Mozambique. **Forest Policy and Economics**, v. 133, p. 102625, 2021.

ROMAN, K; ROMAN, M; WOJCIESZAK-ZBIERSKA, M; ROMAN, M. Obtaining Forest Biomass for Energy Purposes as an Enterprise Development Factor in Rural Areas. **Applied Science**. 2021, 11, 5753. [https:// doi.org/10.3390/app1112575](https://doi.org/10.3390/app1112575)

ROTELLA JUNIOR, P; ROCHA, L. C. S; MORIOKA, S. N; BOLIS, I; CHICCO, G; MAZZA, A; JANDA, K. Economic Analysis of the Investments in Battery Energy Storage Systems: review and current perspectives. **Energies**, [S.L.], v. 14, n. 9, p. 2503, 27 abr. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en14092503>.

ROUSSET, P; MACEDO, L; COMMANDRÉ, J. M; MOREIRA, A. Biomass torrefaction under different oxygen concentrations and its effect on the composition of the solid by-product. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 96, p. 86-91, 2012.

SÁNCHEZ-MOLINA, J. A; REINOSO, J. V; ACIÉN, F. G; RODRÍGUEZ, F; LÓPEZ, J. C. Development of a biomass-based system for nocturnal temperature and diurnal CO₂ concentration control in greenhouses. **Biomass and Bioenergy**, v. 67, p. 60-71, 2014.

SCARLAT, N; DALLEMAND, J. F; MONFORTI-FERRARIO, F; NITA, V. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. **Environmental Development**, v. 15, p. 3-34, 2015.

SEMELER, A. R; PINTO, A. L. Data librarianship as a field study. **Transinformação**, v. 32, p. e200034, 2020.

SILVA, B. F; RODRIGUES, R. Z.S; HEISKANEN, J; ABERA, T. A;GASPARETTO, S. C; BIASE, A. G; BALLESTER, M.V.R; MOURA, Y.M; PIEDADE, S.M.S; SILVA, A.K.O; CAMARGO, P. B. Evaluating the temporal patterns of land use and precipitation under desertification in the semi-arid region of Brazil. **Ecological Informatics**, v. 77, p. 102192, 2023.

SIMIONI, F. J; MOREIRA, J. M. M. Á. P; FACHINELLO, A. L; BUSCHINELLI, C. C. A; MATSUURA, M. I. S. F. Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal da silvicultura no Brasil. **Ciência Florestal (01039954)**, v. 27, n. 2, 2017.

- SIMIONI, F.J; JARENKOW, G.L; SILVA, K.F; BRUTTI, R.C; COELHO JUNIOR, L.M. Eco-efficiency in the transformation of forest biomass residues in electrical energy. **Clean Techn Environ Policy** 23, 144-1456 (2021):<https://doi.org/10.1007/s10098-021-02039-6>
- SVAZAS, M; NAVICKAS, V; KRAJNAKOVA, E; NAKONIECZNY, J. Sustainable supply chain of the biomass cluster as a factor for preservation and enhancement of forests. **Journal of international studies**, v. 12, n. 2, p. 309-321, 2019.
- ŚWIECHOWSKI, K; LISZEWSKI, M; BABELEWSKI, P; KOZIEL, J.A; BIAŁOWIEC, A. Fuel Properties of Torrefied Biomass from Pruning of Oxytree. **Data**, v. 4, n. 2, p. 55, 2019.
- TEJADA, J; GRAMMER, P; KAPPLER A; THORWARTH H. Trace element concentrations in firewood and corresponding stove ashes. **Energy & Fuels**, v. 33, n. 3, p. 2236-2247, 2019.
- TRINK, T; SCHMID, C; SCHINKO, T; STEININGER, K. W; LOIBNEGGER, T; KETTNER, C; PACOTE A; TÖGLHOFER, C. Regional economic impacts of biomass based energy service use: A comparison across crops and technologies for East Styria, Austria. **Energy policy**, v. 38, n. 10, p. 5912-5926, 2010.
- VIJAY, V; SUBBARAO, P. M.V; CHANDRA, R. An evaluation on energy self-sufficiency model of a rural cluster through utilization of biomass residue resources: A case study in India. **Energy and Climate Change**, v. 2, p. 100036, 2021.
- WATANABE, H; SHIMOMURA, K; OKAZAKI, K. Effect of high CO₂ concentration on char formation through mineral reaction during biomass pyrolysis. **Proceedings of the Combustion Institute**, v. 34, n. 2, p. 2339-2345, 2013.
- YADAV, M; BANERJI, P. A bibliometric analysis of digital financial literacy. **American Journal of Business**, v. 38, n. 3, p. 91-111, 2023.
- YANKOVSKII, S. A; KUZNETSOV, G. V; GALAKTIONOVA, A. A. Experimental Substantiation of the Sulfur Oxide Concentration Reduction Mechanism in Coal and Biomass Particle Mixture Pyrolysis Products. **Thermal Engineering**, v. 69, n. 8, p. 608-614, 2022.
- YUAN, R; PU, J; WU, D; WU, Q; HUHE, T; LEI, T; CHEN, Y. Research Priorities and Trends on Bioenergy: Insights from Bibliometric Analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 23, p. 15881, 2022.
- ZHANG, Y; YU, Q; LI, J. Bioenergy research under climate change: a bibliometric analysis from a country perspective. **Environ Sci Pollut Res** 28, 26427–26440 (2021). <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11356-021-12448-1>
- ZHOU, L; WANG, S; KINDERMANN, G; YU, G; HUANG, M; MICKLER, R; KRAXNER F, SHI H; GONG, Y. Carbon dynamics in woody biomass of forest ecosystem in China with forest management practices under future climate change and rising CO₂ concentration. **Chinese Geographical Science**, v. 23, p. 519-536, 2013. doi:10.1007/s11769-013-0622-9

3. ARTIGO 2 – LOCALIZAÇÃO E CONCENTRAÇÃO DA LENHA NO BRASIL: Uma análise sob a nova geografia econômica

RESUMO

A lenha é uma fonte de energia renovável que apresenta benefícios ambientais e econômicos, sendo um produto utilizado em diversos setores da economia. Estudos sobre a economia regional auxiliam na caracterização e otimização da atividade. Este artigo avaliou a localização e concentração da lenha, considerando o extrativismo vegetal e a silvicultura, no Brasil, de 1990 a 2020, sob o olhar da nova geografia econômica. Para essa análise, foram empregados os indicadores: Quociente Locacional (QL), Índice de Hoover (H), Índice de Dessemelhança de Krugman (SI) e o Índice de Ellison-Glaeser (EG). Os resultados demonstraram uma tendência de queda na produção de lenha oriunda do extrativismo vegetal, com redução média de 5,65% a.a. (1990 a 2020). O contrário aconteceu para silvicultura, que apresentou crescimento, com +2,70% a.a., para o mesmo período. Durante o período analisado, foi observada uma tendência de concentração da produção de lenha proveniente do extrativismo vegetal nas Regiões Norte e Nordeste. Além disso, constatou-se que essa produção se tornou mais pontual em termos espaciais. Em 2020, verificou-se que 41% das intermediárias localizadas nessas regiões passaram a classificação de especialização produtiva. A lenha proveniente da silvicultura esteve concentrada nas regiões intermediárias das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Em 2002, a lenha de silvicultura obteve um crescimento de 54,48%. Apesar da silvicultura apresentar maior concentração nestas três regiões, a desconcentração da atividade está aumentando, ou seja, mais regiões estão adotando o cultivo de lenha. Os resultados indicam que produção da lenha está se tornando mais sustentável, e há perspectiva de melhoria com a implementação de investimentos no setor.

Palavras-chave: Economia regional, Medidas locacionais, Análise regional, Bioenergia.

LOCATION AND CONCENTRATION OF FIREWOOD IN BRAZIL: An analysis under the new economic geography

ABSTRACT

Firewood is a renewable energy source that presents environmental and economic benefits, being a product used in various sectors of the economy. Studies on the regional economy help to characterize and optimize the activity. This article evaluated the location and concentration of firewood, considering plant extractivism and forestry, in Brazil, from 1990 to 2020, under the perspective of the new economic geography. For this analysis, the following indicators were used: Locational Quotient (QL), Hoover Index (H), Krugman Dissimilarity Index (SI) and the Ellison-Glaeser Index (EG). The results demonstrated a downward trend in the production of firewood from plant extraction, with an average reduction of 5.65% p.a. (1990 to 2020). The opposite happened for forestry, which showed growth, with +2.70% p.a., for the same period. During the period analyzed, a trend towards concentration of firewood production from plant extractivism was observed in the North and Northeast Regions. Furthermore, it was found that this production became more punctual in spatial terms. In 2020, it was found that 41% of intermediaries located in these regions passed the production specialization classification. Firewood from forestry was concentrated in the intermediate regions of the South, Southeast and Central-West Regions. In 2002, forestry firewood grew by 54.48%. Although forestry is more concentrated in these three regions, the deconcentration of the activity is increasing, that is, more regions are adopting the cultivation of firewood. The results indicate that firewood production is becoming more sustainable, and there is a prospect of improvement with the implementation of investments in the sector.

Keywords: Regional economy, Locational measures, Regional analysis, Bioenergy.

3.1. INTRODUÇÃO

Os recursos florestais, desde os primórdios da civilização humana, têm sido amplamente utilizados como forma de energia (Queiroz *et al.*, 2021). A bioenergia emerge como alternativa viável às fontes tradicionais fósseis, devido ao baixo impacto ambiental na produção do insumo e as emissões de dióxido de carbono (CO₂) que podem ser consideradas biogênicas, se o recurso for produzido em áreas de manejo sustentável ou a partir das florestas plantadas. A madeira é um produto empregado em diversos setores da economia, seja como matéria prima industrial, na construção civil, na cocção de alimento, no aquecimento e na geração de energia. A lenha pode ser obtida de diferentes formas, seja do extrativismo vegetal, originária da exploração de florestas naturais, ou da silvicultura, proveniente de árvores plantadas de rápido crescimento (Bichel e Telles, 2021; Martins *et al.*, 2018; Simioni *et al.*, 2018).

A cobertura florestal no mundo atingiu 4,06 bilhões de hectares no ano de 2020, sendo desde total 290 milhões de hectares de florestas plantadas, onde a maior parte está localizada na América do Sul. O Brasil, um país tropical com uma área total de $8,5 \times 10^6$ km², abriga a maior floresta natural do mundo, a Floresta Amazônica. Apesar de estender-se por nove países da América do Sul, a maior parte da floresta encontra-se em território brasileiro, cobrindo cerca de 3 milhões de km². Aproximadamente 5 milhões km² do território brasileiro são cobertos por florestas, o que equivale a 58,5% da área total, sendo 98% composto por florestas naturais e 2% de árvores plantadas. Em 2020, a produção de produtos florestais madeireiros teve participação de $243,38 \times 10^6$ m³ (87,85%) da silvicultura e de $33,66 \times 10^6$ m³ (12,15%) do extrativismo vegetal. Dentre estes produtos, a lenha de silvicultura deteve $50,67 \times 10^6$ m³ com valor de produção de R\$ $2.298,86 \times 10^6$ e a lenha de extrativismo vegetal $19,32 \times 10^6$ m³, com R\$ $526,73 \times 10^6$ (Food and Agriculture Organization - FAO, 2020; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2022; Serviço Florestal Brasileiro - SFB, 2019 e 2020).

A distribuição da lenha no território nacional varia conforme com as características geográficas, socioeconômicas e climáticas de cada Região (Gioda, 2019). Conforme afirmaram Coelho Junior *et al.* (2020), no Nordeste brasileiro grande parte da população utiliza os recursos do bioma Caatinga para subsistência. No ano de 2017, o último ano considerado no período de estudo, a pobreza afetava quase 55 milhões de pessoas no Brasil. Dentre esse contingente, a Região Nordeste apresentou a maior porção, representando 44,8% do total (IBGE, 2018). A Região Sul do Brasil concentra uma grande parcela da lenha de silvicultura, sendo o Rio Grande do Sul responsável por 24,2% da produção nacional (Simioni *et al.*, 2018). Em segundo lugar

na produção de lenha proveniente da silvicultura, tem-se a Região Sudeste, juntas a Regiões Sul e Sudeste são responsáveis por 86% da produção nacional (Bichel e Telles, 2021).

De acordo com Araújo *et al.* (2017), o crescimento de uma atividade econômica em uma determinada região tende a concentrar-se devido a características socioeconômicas, físicas, interferências políticas para desenvolvimento da região e de estrutura produtiva. A concentração espacial da atividade manufatureira aumenta a produtividade das empresas, devido à proximidade de grandes mercados e à facilidade na exportação (Schettini, 2019).

A busca por compreender os processos econômicos que moldam o espaço geográfico originou diversas teorias. Segundo Santos (1977), o espaço geográfico é formado pela interação social ao longo do tempo, representando um conjunto dinâmico de funções e formas originadas de processos passados e presentes. Von Thunen (1826) foi o pioneiro na explicação de padrões das atividades agrícolas nas áreas circundantes das cidades na Alemanha pré-industrial. Sua teoria concentrou-se nas diferenças de custos de transporte entre diferentes locais, o que ajudou agricultores nas tomadas de decisões sobre o que produzir e onde produzir, em relação a localização da cidade. Paul Krugman (1991), demonstrou como surgiam as disparidades regionais e os padrões de aglomeração, sendo o primeiro a contribuir de forma seminal para a Nova Geografia Econômica, área em que até o momento nenhuma teoria foi tão bem-sucedida (Gaspar, 2021; Krugman, 1991b).

A nova geografia econômica oferece uma valiosa estrutura analítica para estudar a localização e a evolução da atividade econômica ao longo do tempo. Baseando-se em suposições diferentes das abordagens neoclássicas, os modelos dessa nova abordagem consideram a presença de retornos crescentes e custos de transporte, enfatizando o processo cumulativo circular, no qual as vantagens iniciais de uma localização se fortalecem ao longo do tempo. Esse quadro teórico é especialmente relevante para estudos históricos que buscam compreender como os processos históricos moldaram a distribuição espacial das atividades econômicas. A nova geografia econômica se difere de abordagens anteriores pois destaca a importância do espaço geográfico nas interações econômicas e considera fatores locais específicos como recursos naturais e infraestrutura (Chistyakova *et al.*, 2023; Martinez-Galarraga *et al.*, 2021; Koo e Lall, 2007).

Os estudos da economia regional auxiliam na caracterização e otimização de uma atividade, e podem ser válidas para o setor florestal brasileiro (Schiidt e Zen, 2019). As medidas de concentração baseadas em *clusters* referem-se à concentração setorial e geográfica. As medidas setoriais analisam como a atividade econômica está distribuída dentro de uma única região, isto é, como diferentes setores econômicos estão concentrados. A concentração

geográfica analisa a distribuição geográfica da atividade econômica dentro de uma única indústria, ou seja, como essa indústria específica está concentrada em diferentes regiões (Kopczewska, 2018). Padrões de especialização são significativos para caracterizar os efeitos das mudanças econômicas e indicam fontes potenciais de crescimento ou choques assimétricos (Longhi, Musolesi e Baumont, 2014).

Buscando compreender a disparidade regional e espacial, este artigo analisou a localização e concentração da lenha, extrativismo vegetal e silvicultura no Brasil sob o olhar da nova geografia econômica, no período de 1990 a 2020. A análise da dinâmica da disponibilidade de lenha no Brasil examinou as mudanças ocorridas e a evolução desse recurso.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Dados utilizados

As informações sobre a produção de lenha no Brasil foram obtidas da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS, disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Utilizaram-se os dados da produção em metros cúbicos – m³ para o extrativismo vegetal e silvicultura, a partir dos recortes geopolíticos conforme IBGE (2017), no período de 1990 a 2020.

Para a análise de conjuntura, observou-se a produção de lenha (extrativismo vegetal e silvicultura) das grandes Regiões brasileiras para 1990, 2000, 2010 e 2020. Utilizou-se a taxa geométrica de crescimento (TGC) (Equação 1) para avaliar as mudanças (ganhos e perdas) na produção de lenha do Brasil (Cuenca e Dompieri, 2017).

$$TGC[\%] = \left[\sqrt[\Delta t]{\frac{V_F}{V_O}} - 1 \right] * 100 \quad (1)$$

em que,

V_F = produção de lenha referente ao ano final, em t;

V_O = produção de lenha referente ao ano inicial;

Δt = variação temporal da produção de lenha (expressa em anos).

3.2.2. Medidas de localização e especialização sob a nova geografia econômica

As medidas de localização identificam os padrões de concentração ou dispersão de uma atividade econômica, enquanto as medidas de especialização analisam a estrutura produtiva de cada região (Piacenti, Alves e Lima, 2008). Segundo Cruz *et al.* (2011), nenhum indicador é

suficiente para analisar o arranjo produtivo de forma isolada e capturar todos os fenômenos relevantes no espaço. Portanto, para avaliar a lenha no Brasil, foram utilizados os seguintes indicadores: Quociente Locacional (QL), Índice de Hoover (H), Índice de Dessemelhança de Krugman (SI) e o Índice de Ellison-Glaeser (EG).

Quociente Locacional (QL)

O Quociente Locacional (QL) foi desenvolvido por Hildebrand e Mace Jr. (1950), os quais que analisaram a expansão das exportações de algumas regiões dos Estados Unidos da América, sendo amplamente empregado nos estudos de economia regional (Mattei e Mattei, 2017). O QL (Equação 2) relaciona a participação relativa de um setor específico em uma região com a participação do mesmo setor em uma região de referência.

$$QL = \frac{\frac{E_{ij}}{E_j}}{\frac{E_i}{E}} \quad (2)$$

em que,

E_{ij} = produção de lenha (i) (extrativismo vegetal ou silvicultura) na região j (intermediária ou Estado ou grande Região);

E_i = produção total de lenha (extrativismo vegetal e silvicultura) na região j (intermediária, Estado ou grande Região);

E_j = produção de lenha (extrativismo vegetal ou silvicultura) na região de referência;

E = produção total de lenha na região de referência (extrativismo vegetal e silvicultura).

Foram utilizados os recortes geopolíticos das regiões intermediárias, Estados (Unidades Federativas) e Grandes Regiões do Brasil para avaliar a produção de lenha no extrativismo vegetal e silvicultura para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2020. O QL foi classificado da seguinte forma: $QL < 0,5$ não especializada, $0,5 \leq QL < 1,0$ especialização fraca, $1,0 \leq QL < 3,0$ distribuição produtiva e $QL \geq 3,0$ especialização produtiva (Santos Junior *et al.*, 2022).

Índice de Hoover (H)

O índice de Hoover (Equação 3) foi utilizado por Long e Nucci (1997) para verificar a tendência da concentração ou desconcentração populacional em determinada área ao longo do tempo. Este índice varia entre 0 e 1, onde 0 (baixa concentração) indica que a região observada apresenta uma composição idêntica à região referência, e 1 (indica monopólio) quando a região tem um padrão distinto da região de referência (Santos Júnior *et al.*, 2022; Weng, 1998).

$$H = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N |p_{it} - a_i| \quad (3)$$

em que,

p_{it} = participação da região i na produção de lenha (extrativismo vegetal ou silvicultura) produzida, no tempo t (em anos);

a_i = proporção da região i na região de referência (Brasil).

O grau de concentração da produção de lenha no Brasil, referente ao extrativismo vegetal, silvicultura e total (extrativismo vegetal e silvicultura), foi mensurado utilizando os recortes geopolíticos das regiões intermediárias, Estados (Unidades Federativas) e Grandes Regiões para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2020.

Índice de Dessemelhança de Krugman (SI)

O índice de dessemelhança de Krugman tem como finalidade comparar os pares de economias. Este índice representa a diferença entre especialização setorial, onde se analisa a participação da produção de lenha k (extrativismo vegetal ou silvicultura) em relação à produção total de lenha e observar a diferença entre as regiões i e j , sendo a região i observada e a região j a região de referência. O índice é calculado pela Equação 4 (Krugman, 1991b; Longhi, 2014; Monasterio, 2011).

$$SI_{ij} = \sum_k \left| \frac{E_{ki}}{E_i} - \frac{E_{kj}}{E_j} \right| \quad (4)$$

em que,

E_{ki} = produção de lenha (extrativismo vegetal ou silvicultura) k na região i ;

E_i = produção total de lenha na região i ;

E_{kj} = produção de lenha (extrativismo vegetal ou silvicultura) k na região de referência j ;

E_j = produção total de lenha na região de referência j .

O SI varia entre 0 e 2. Quanto mais próximo de zero, mais a estrutura se assemelha à região de referência, e se for mais próximo de dois, mais as regiões se diferem. Os resultados foram observados por recortes geopolíticos da produção de lenha em quatro estratos da seguinte forma: 0 a 0,5; 0,5 a 1; 1 a 1,5 e 1,5 a 2 para 1990, 2000, 2010 e 2020.

Índice de Ellison-Glaeser

Para estimar o grau de aglomeração e dispersão espacial da atividade na região de interesse, foi desenvolvido o índice de Ellison e Glaeser (EG). Este índice baseia-se numa

comparação entre as distribuições geográficas observadas das atividades e uma distribuição esperada na ausência de aglomeração, ou seja, uma distribuição aleatória (Ellison e Glaeser, 1997). Quando $EG = 0$, significa que a atividade não está distribuída de maneira uniforme no espaço. Para $EG > 0$, há uma maior concentração locacional com tendência à aglomeração, enquanto que para $EG < 0$, há uma tendência de desconcentração espacial (Araujo, Moura e Rocha, 2017). O índice de Ellison e Glaeser (Equação 5) é a combinação do índice de Hirshman-Herfindahl (HHI), representado pela Equação 6, com Gini (G), conforme apresentado na Equação 7.

$$EG_k = \frac{G - \left(1 - \sum_i x_i^2\right) HHI}{\left(1 - \sum_i x_i^2\right) (1 - HHI)} \quad (5)$$

$$HHI = \sum_{i=1}^M \left(\frac{E_{ki}}{E}\right)^2 \quad (6)$$

$$G = \sum_{i=1}^M \left(\frac{E_{ki}}{E_k} - \frac{E_i}{E}\right)^2 \quad (7)$$

em que,

HHI= concentração de lenha do tipo k (extrativismo vegetal ou silvicultura) na região i ;

E= produção total de lenha no Brasil;

G= somatório da diferença entre a lenha do tipo k na região i e a parcela de lenha na região total.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3.1 apresenta a produção de lenha extrativismo vegetal e silvicultura nas Regiões Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste para 1990, 2000, 2010 e 2020. No Brasil, a produção de lenha proveniente de extrativismo vegetal demonstrou queda de 1990 para 2020, uma redução de 5,65% a.a. Entre outros fatores, a diminuição está relacionada a fiscalização e monitoramento por parte dos órgãos ambientais, a implementação do programa Bolsa Família em 2004, proporcionando suporte financeiro a famílias de baixa renda e a substituição da lenha por gás liquefeito (IBGE, 2000; Brasil, 2004).

Para a silvicultura, o país apresentou uma tendência de crescimento de 2,70% a.a de 1990 a 2020. Houve redução na produção de lenha extrativismo vegetal em todas as Regiões do país. A Região Nordeste, em 1990 foi a maior produtora e passou de $51,73 \times 10^6 \text{ m}^3$ para $11,00 \times 10^6 \text{ m}^3$ em 2020 (-5,03% a.a.). A queda mais expressiva foi da Região Sudeste de 1990 para 2000, com redução 15,27% a.a. Quanto à silvicultura, a Região Norte em 1990 não

apresentou produção. Em 2000, passou a ter $0,16 \times 10^6 \text{ m}^3$, porém em 2010 houve uma queda de 17,08% a.a., chegando a $0,02 \times 10^6 \text{ m}^3$. De 2010 para 2020, ocorreu aumento de 12,60% a.a. As Regiões Sul e Centro-Oeste apresentaram evolução para silvicultura, com crescimento de 4,70% a.a. e 5,43% a.a., respectivamente.

Tabela 3.1 -Evolução da produção de lenhado extrativismo vegetal e silvicultura nas grandes Regiões do Brasil, em milhões de metros cúbicos ($\times 10^6 \text{ m}^3$), para 1990, 2000, 2010 e 2020.

Regiões	1990			2000			2010			2020		
	EXT	SIL	TOTAL	EXT	SIL	TOTAL	EXT	SIL	TOTAL	EXT	SIL	TOTAL
Brasil	106,51	22,46	128,97	49,18	39,91	89,10	37,26	47,07	84,33	18,58	49,93	68,52
Norte	10,91	0	10,9	8,42	0,16	8,59	6,72	0,02	6,75	3,70	0,08	3,79
Nordeste	51,73	0,92	52,65	26,09	3,94	30,04	22,24	1,08	23,33	11,00	0,82	11,83
Sul	18,52	8,24	26,76	8,01	17,36	25,37	3,93	31,71	35,65	1,82	32,65	34,47
Sudeste	16,31	12,17	28,48	3,11	17,09	20,20	1,47	12,28	13,75	0,31	10,83	11,14
Centro-Oeste	9,02	1,13	10,15	3,54	1,33	4,88	2,87	1,96	4,83	1,73	5,53	7,27

Fonte: IBGE (2023).

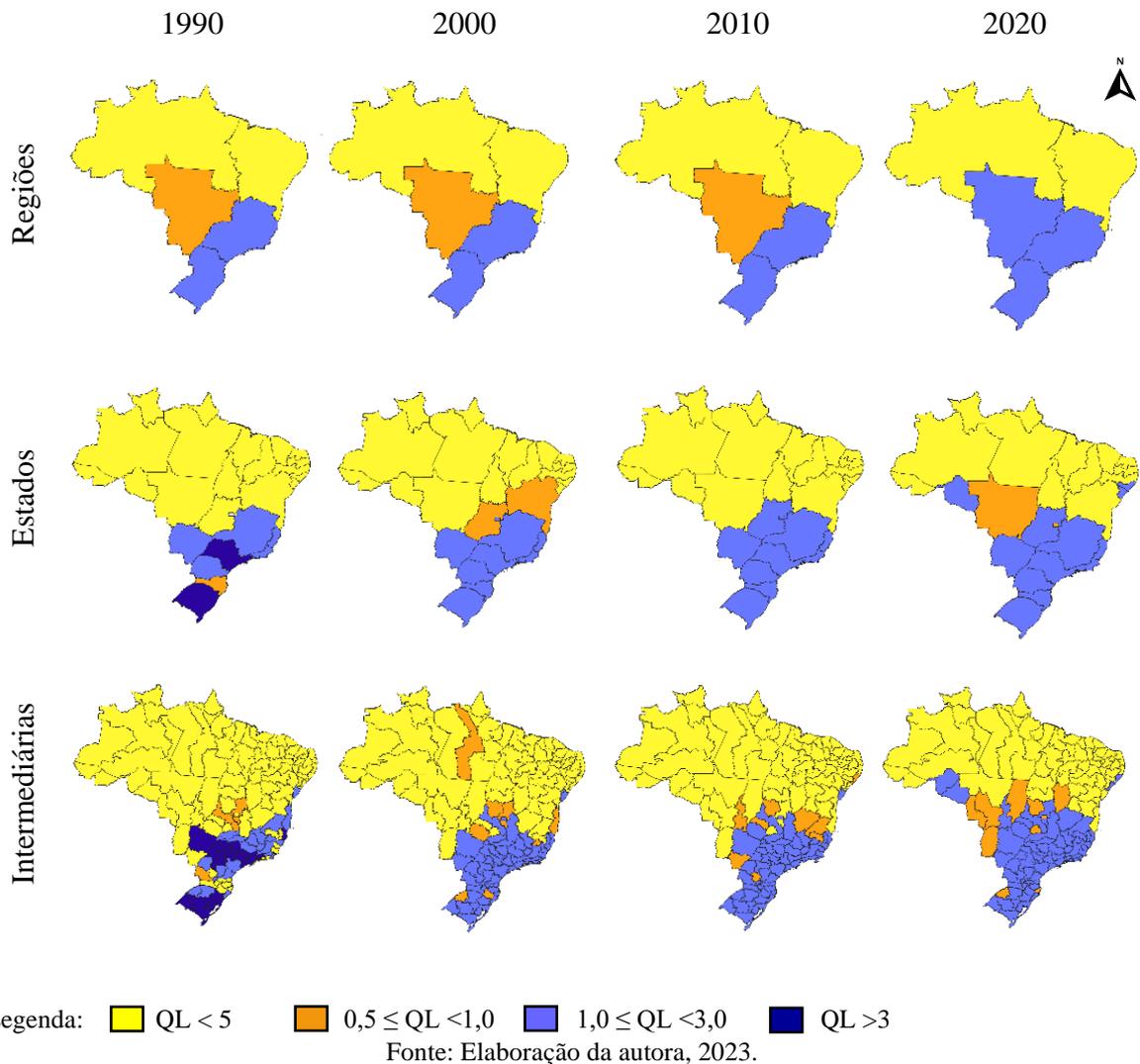
A Figura 3.1 apresenta a evolução do Quociente Locacional (QL) para produção de lenha de silvicultura em intervalos de 10 anos. As grandes Regiões do Brasil obtiveram comportamento semelhantes nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2020. As Regiões Norte e Nordeste mantiveram-se em todo o período como não especializadas, devido à baixa produção de lenha proveniente da silvicultura, em comparação com as demais regiões. As Regiões Sul e Sudeste apresentaram distribuição produtiva, enquanto a Região Centro-Oeste tinha especialização fraca, exceto em 2020, quando houve distribuição produtiva.

Nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a lenha de extrativismo foi fortemente substituída pela lenha proveniente de silvicultura, nestas regiões a alta demanda de lenha tem como finalidade atender processos agroindustriais (Bichel e Telles, 2021). Simioni *et al.* (2017b) afirmaram que, no período de 2001 a 2013, mais de 86% da produção de lenha de silvicultura do Brasil foi proveniente das Regiões Sul e Sudeste, e que a Região Centro-Oeste teve um crescimento de 351% da produção. Nestas regiões, estão concentrados os principais polos industriais da madeira, devido aspectos logísticos e regionais mais favoráveis (Colodette *et al.*, 2014).

O Rio Grande do Sul e São Paulo, em 1990, apresentaram especialização produtiva, sendo responsáveis por aproximadamente 60% da produção nacional. A partir de 2000, houve uma mudança para distribuição produtiva, visto que outros estados aumentaram sua produção de lenha proveniente da silvicultura. O Estado de Santa Catarina foi um dos que se destacou no

crescimento da produção, em 1990, produziu $1,10 \times 10^6 \text{ m}^3$, o que aumentou para $3,85 \times 10^6 \text{ m}^3$ em 2000, passando de especialização fraca para distribuição produtiva (IBGE, 1990;2000). Em 2000, destacam-se Goiás e Bahia que passaram de não especializado para especialização fraca com QL de 0,93 e 0,50, respectivamente. Em 2010, Goiás apresentou $QL=1,20$ evoluiu para distribuição produtiva, enquanto a Bahia voltou a não especializado.

Figura 3.1 - Evolução do Quociente Locacional (QL) para produção de lenha na silvicultura nas Regiões Intermediárias, Estados e Regiões do Brasil, nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2020.



Em 2020, destacaram-se Mato Grosso e o Distrito Federal. No ano de 2010, Mato Grosso apresentou $QL=0,36$, caracterizando uma especialização fraca. Por outro lado, o Distrito Federal possuiu um QL mais elevado, alcançou 1,79, o que indica uma distribuição produtiva. No entanto, em 2020 foram observadas mudanças, o Mato Grosso apresentou um progresso,

aumentou seu QL para 0,68, o que mostra uma melhoria em sua especialização produtiva. Enquanto isso, o Distrito Federal registrou um QL menor, atingiu 0,92, deixou de ser caracterizado por uma distribuição produtiva e passou a demonstrar uma especialização fraca.

O ano de 1990 foi o único em que houve indicação de especialização produtiva, com 21 intermediárias, todas das Regiões Sul e Sudeste. As três regiões intermediárias que apresentaram os maiores QL foram: Campinas (QL=5,60), Porto Alegre (QL=5,43) e São Paulo (QL=5,38). Em 2000, as 21 intermediárias passaram de especialização produtiva para distribuição produtiva em 2010 e permaneceram no mesmo estrato em 2020.

O extrativismo vegetal apresentou comportamento diferente do observado na silvicultura. Na Figura 3.2, é possível visualizar a evolução da especialização da lenha proveniente de extrativismo vegetal, sendo notável a especialização dessa atividade nas Regiões Norte e Nordeste. De acordo com Bichel e Telles (2021), as Regiões Norte e Nordeste dependem significativamente do extrativismo vegetal, no quadriênio 2014-2017 foram responsáveis por 80% da produção no país.

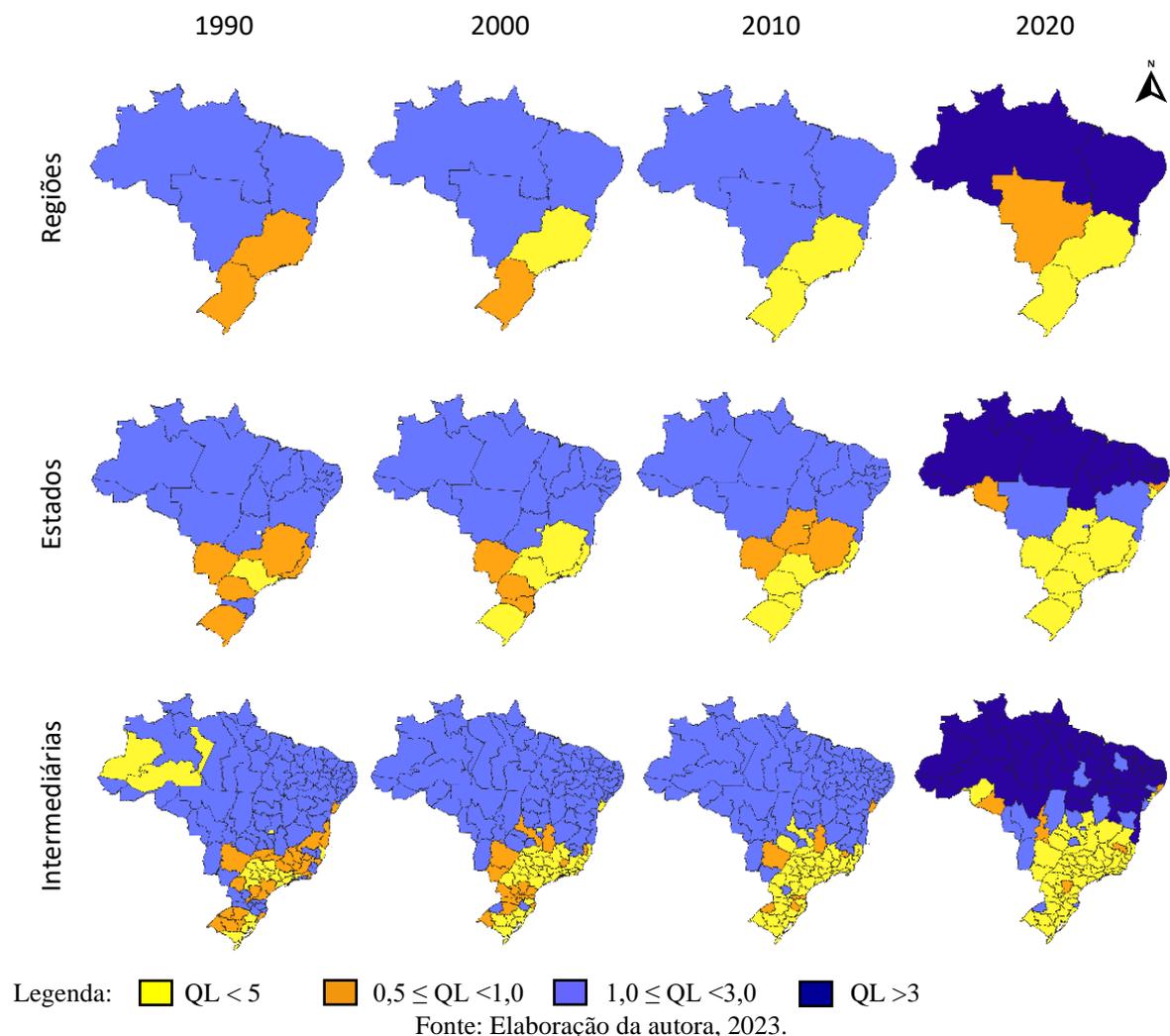
As grandes Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste mantiveram distribuição produtiva em 1990, 2000 e 2010. Em 2020, as Regiões Norte e Nordeste progrediram para especialização produtiva, enquanto a Região Centro-Oeste passou a apresentar especialização fraca. Nos anos 1990 e 2000, a Região Sul apresentou especialização fraca; no entanto, nos anos seguintes, deixou de ser considerada uma região especializada. Quanto à Região Sudeste demonstrou especialização fraca apenas no ano de 1990, enquanto nos demais anos passou a não especializada.

A dinâmica dos Estados nos anos 1990 e 2000 manteve uma distribuição produtiva em Goiás, Mato Grosso e todos os Estados das Regiões Norte e Nordeste. Da produção total de lenha no Goiás em 1990, 96% foi proveniente do extrativismo vegetal, em 2020 essa parcela caiu para aproximadamente 8%. Santa Catarina passou de distribuição produtiva no ano de 1990 para especialização fraca em 2000, e nos anos 2010 e 2020 não especializada. Em 2020, o Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Tocantins, Maranhã, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco evoluíram para especialização produtiva.

A evolução das regiões intermediárias revela uma diminuição da produção de lenha advinda do extrativismo vegetal. Em 1990, 16% das Regiões Intermediárias eram não especializadas, no ano 2000 subiu para 27%, em 2010 para 36% e no ano de 2020 para 44%. A implementação de leis e uma maior fiscalização do uso florestal contribuíram para redução da produção do extrativismo. De 1998 a 2017 houve uma redução da lenha de extrativismo 63,12% (Bichel e Telles, 2021).

Em 2020, 41% das intermediárias estavam classificadas como especialização produtiva, possivelmente devido ao aumento de preço do gás de cozinha em 2017. Entre os anos de 2018 a 2020, a lenha passou a representar 25% do combustível consumido nas residências, ficando atrás apenas da eletricidade (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2021). Outro fator que também pode ter contribuído para o aumento do uso da lenha de extrativismo em 2020 foi a pandemia do Covid-19, que deixou muitas famílias em situação econômica vulnerável, levando à substituição do gás de cozinha pela lenha (Silva *et al.*, 2022).

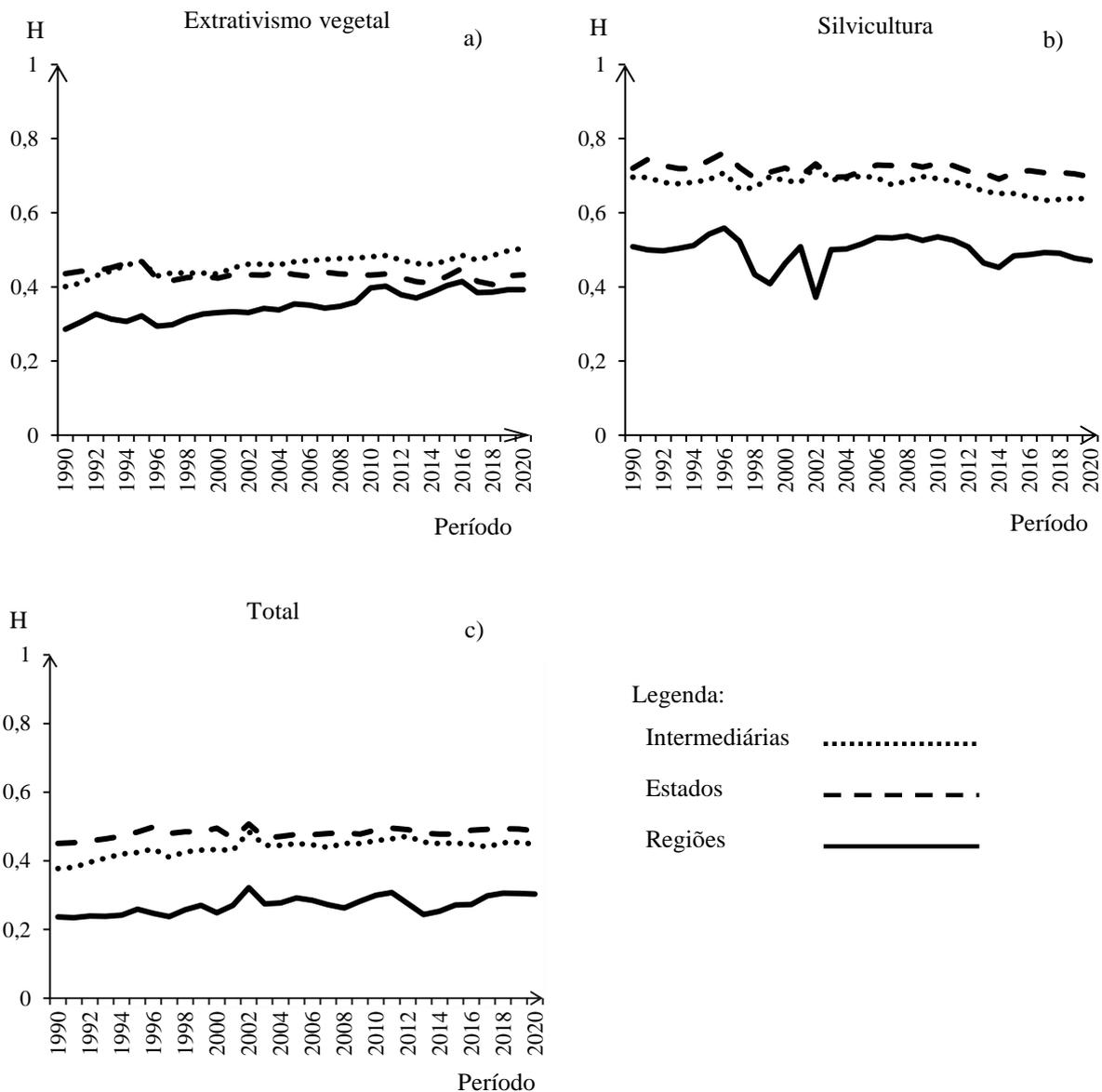
Figura 3.2 - Evolução do Quociente Locacional (QL) para a produção de lenha no extrativismo vegetal nas Regiões Intermediárias, Estados e Regiões do Brasil, nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2020.



A Figura 3.3.a está relacionada à lenha proveniente do extrativismo vegetal. O índice de Hoover para regiões intermediárias apresentou seu menor valor no ano de 1990, com $H=0,4008$, o que indica que dentre todo o período analisado este ano foi o que ocorreu a

concentração mais baixa, ou seja, as regiões intermediárias tinham produção mais homogênea. Em 2020, registrou-se o maior valor para regiões intermediárias, com $H=0,5039$, o que demonstra a maior concentração do período. No tocante aos Estados e Regiões, os menores valores do índice foram: $H=0,4064$ em 2018 e $H=0,2857$ em 1990, respectivamente, o que demonstra que nesses anos as regiões observadas pareciam-se mais às regiões de referência, indicando uma atividade estava mais desconcentrada.

Figura 3.3 - Evolução do Índice de Hoover para produção de lenha no extrativismo vegetal, silvicultura e total de 1990 a 2020.



Fonte: Elaboração da autora, 2023.

Para os Estados, o índice de Hoover apresentou maior concentração em 1995, com $H = 0,4690$, que indica monopólio, sendo o Estado da Bahia responsável por 20% da produção

nacional. Já para as Regiões, o índice de Hoover foi de $H = 0,4145$ no ano de 2016. Nesse período, destacou-se a Região Nordeste, concentrando 41% da produção nacional. A concentração foi observada em apenas três Estados da região: Bahia, Ceará e Maranhão (IBGE, 1995; 2016).

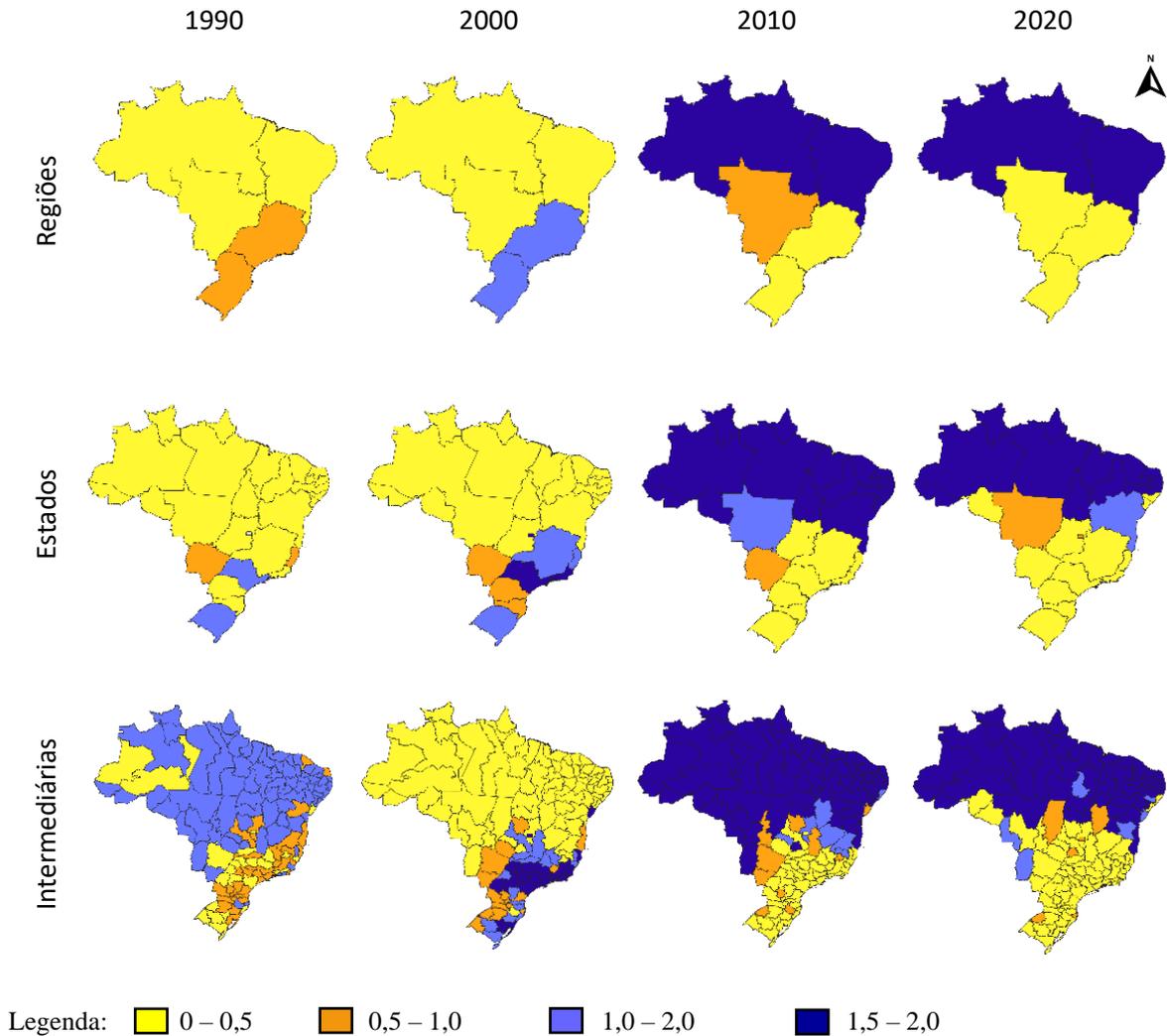
A Figura 3.3.b, apresenta o Índice de Hoover para lenha da silvicultura. Os maiores valores do índice foram para as intermediárias, sendo $H = 0,7274$ no ano de 2002, devido a um crescimento de 54,48% da lenha de silvicultura neste período. Com a Bahia como principal produtora, correspondendo a 34% da produção nacional, constatou-se uma alta concentração (IBGE, 2002). Para os Estados, o valor máximo ocorreu em 1996, com $H = 0,7626$, do ano de 1995 para 1996, houve um crescimento de aproximadamente 30%, e em 1997 ocorreu uma queda de cerca de 25% da produção de lenha oriunda da silvicultura (IBGE, 1997). As grandes Regiões também seguem o padrão dos Estados, atingindo seu valor máximo em 1996, com $H = 0,5588$. Os anos com menor concentração foram 2017 para regiões intermediárias, com $H = 0,6332$, e para os Estados em 2014, com $H = 0,6908$. No que diz respeito as Regiões, o valor mínimo foi ($H = 0,3717$) em 2002, em contraste com as intermediárias e Estados, o que sugere a possibilidade dessa concentração ter ocorrido de forma homogênea em relação às Regiões, já que são apenas cinco.

A produção total considera toda a lenha produzida, tanto proveniente do extrativismo vegetal quanto da silvicultura. A Figura 3.3.c apresenta picos no ano de 2002, influenciados pelo aumento da produção de lenha de silvicultura. Os maiores valores do Índice de Hoover para a produção total ocorreram todos no ano de 2002: para as intermediárias, $H = 0,4850$; para os Estados, $H = 0,5072$; e para Regiões, $H = 0,3218$. Portanto, o ano de 2002 foi o de maior concentração durante todo o período analisado. Para os recortes regionais em questão, as baixas concentrações ocorreram no ano de 1990 para as intermediárias ($H = 0,3774$) e os Estados ($H = 0,4508$); para as grandes Regiões, no ano de 1991, com $H = 0,2344$.

Na Figura 3.4, foi possível observar as dessemelhanças e a evolução das áreas a partir do Índice de Krugman, onde comparou-se as regiões intermediárias, os Estados e as grandes Regiões brasileiras, nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2020. As grandes Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste na década de 1990 apresentavam grande semelhança com a região de referência, não especializadas. No entanto, na década de 2010 as Regiões Norte e Nordeste passaram a ser especializadas. As Regiões Sul e Sudeste tornaram-se semelhantes à região de referência com o passar das décadas. Nos mapas dos Estados, os que mais se diferenciaram, em 1990, foram São Paulo e Rio Grande do Sul. Em 2000, ressaltou São Paulo e Rio de Janeiro, que nos anos seguintes se tornaram semelhantes a região de referência, partiram da classificação entre 1,5 a

2,0 para 0 a 0,5, o que significa não especializado. Isso foi evidenciado também pelo Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Espírito Santo, que também passaram a ser semelhantes a região de referência.

Figura 3.4 - Demonstração do Índice de Dessemelhança de Krugman (SI) para produção de lenha nas Regiões Intermediárias, Estados e grandes Regiões brasileiras, em 1990, 2000, 2010 e 2020



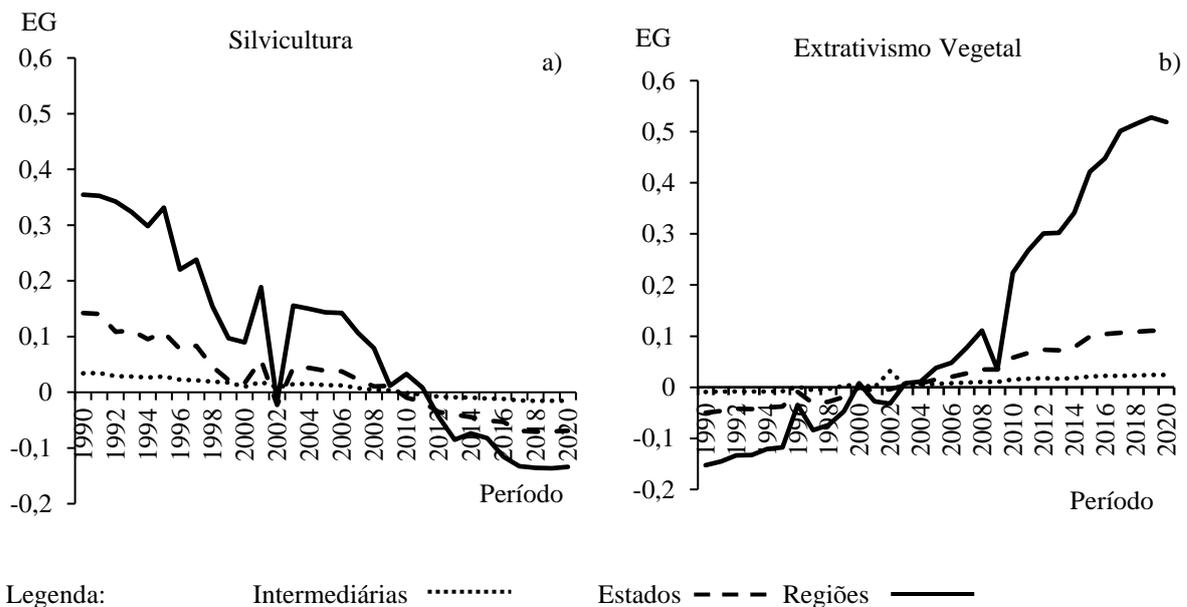
Fonte: Elaboração da autora, 2023.

Para as regiões intermediárias, em 1990, 81% delas, principalmente nas Regiões Norte e Nordeste, apresentavam a coloração azul claro, o que indicava uma maior especialização. Já no ano 2000, 97% dessas Intermediárias nessas Regiões possuíam a cor amarela, revelando que a semelhança com a região de referência havia crescido, ou seja, as regiões estavam menos especializadas. Ainda e relação as Regiões Norte e Nordeste, verificou-se que, em 2010, 95% das intermediárias classificavam-se como dessemelhantes, indicando ser mais especializadas,

o que difere bastante dos anos anteriores. Em 2020, o número de Regiões especializadas diminuiu para 85%.

A Figura 3.5.a demonstra a evolução do Índice de Ellison-Glaeser para produção de lenha oriunda da silvicultura. Inicialmente, essa produção era mais concentrada, mas ao longo dos anos as regiões tenderam a se dispersar, ou seja, mais regiões passaram a produzir lenha. Em 2002, há um vale na Figura 3.5.a, devido ao crescimento aproximado de 54% na produção de lenha proveniente da silvicultura (IBGE, 2002). As espécies exóticas, frequentemente utilizadas no cultivo da lenha, têm boa adaptação ao ambiente e apresentam rápido crescimento. Além de servirem como insumo, as plantações também auxiliam na mitigação das mudanças climáticas (Sanquetta *et al.*, 2018).

Figura 3.5 - Evolução do Índice de Ellison-Glaeser para produção de lenha no extrativismo vegetal, dos anos 1990 a 2020.



Fonte: Elaboração da autora, 2023.

A evolução da produção de lenha de extrativismo vegetal, quando empregue o índice de Ellison-Glaeser, está apresentada na Figura 3.5b. Durante a década de 90, a produção de lenha de extrativismo, tanto regiões intermediárias, quanto Estados e grande Regiões, estava espacialmente desconcentrada. No entanto, o aumento dos valores do índice indica uma tendência à aglomeração que teve início a partir do ano 2000. Os Estados e regiões intermediárias expressaram valores constantes com tendência aglomerativa, sugerindo que a concentração já estava definida espacialmente. As grandes Regiões também demonstraram uma

tendência à aglomeração, evidenciada pelo aumento dos valores, porém, em 2009 ocorreu um declínio, possivelmente relacionado à crise econômica desse ano (Bekhet e Yasmin, 2014).

3.4. CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas, conclui-se que a produção de lenha de extrativismo vegetal no Brasil apresenta uma tendência de queda. De 1990 a 2020, houve uma redução de 5,65% a.a, o contrário acontece com silvicultura que no mesmo período obteve crescimento de 2,70% a.a.

A lenha de extrativismo vegetal apresentou redução ao longo dos anos, demonstrando especialização fraca ou não especializada, principalmente nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Em 2020, 41% das Intermediárias passaram a ter especialização produtiva, essas intermediárias estavam localizadas nas Regiões Norte e Nordeste. Esse aumento pode ter decorrido do aumento do preço do gás em 2017 e do COVID-19 no ano de 2020. Para lenha proveniente da silvicultura, ocorreu o oposto do extrativismo vegetal, houve distribuição produtiva nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste e não especialização no Norte e Nordeste.

No início da década de 90, o extrativismo vegetal estava disposto espacialmente de forma desaglomerada. A partir do ano 2000, observou-se uma tendência à aglomeração, o que significa que com o passar do tempo a produção estava se tornando espacialmente mais pontual. Para a silvicultura, pode-se destacar o ano de 2002, onde houve um pico devido a um crescimento de 54% da produção. Inicialmente, a silvicultura apresentava concentração em regiões específicas, com o passar dos anos tendeu a desconcentração da atividade, ou seja, mais regiões passaram a produzir lenha. Alguns fatores podem ser apontados como contribuintes para o aumento da atividade. O decreto nº 8.375, de 11 de dezembro de 2014 que define Política Agrícola para Florestas Plantadas, com um dos objetivos centrais sendo aumentar a produção e a produtividade das florestas plantadas. Outro aspecto relevante é a existência do Fundo para Pequeno Produto, instituído pela Resolução nº 4.174, de 27 de dezembro de 2012 que foi revogada pela Resolução nº 4.903/2021 e incentivo ao estabelecimento de plantios comerciais em áreas degradadas.

Este artigo possibilitou a compreensão da distribuição espacial da lenha de extrativismo vegetal e silvicultura no Brasil, mostrando as mudanças ocorridas a cada 10 anos, no período de 1990 a 2020. Estudos subsequentes podem explorar alternativas e novas tecnologias para o uso eficiente e sustentável da lenha. Espera-se que esse estudo possa nortear autores políticos, entidades governamentais e não governamentais sobre a disparidade da lenha no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. E. S; MOURA, K. H. L; ROCHA, R. M. Evidências da distribuição espacial das indústrias do nordeste brasileiro a partir do Índice de Ellison e Glaeser. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 49, p. 291-319, jul. 2017.
- BEKHET, H. A; YASMIN, T. Assessment of the global financial crisis effects on energy consumption and economic growth in Malaysia: An input–output analysis. **International Economics**, v. 140, p. 49-70, 2014.
- BICHEL, A; TELLES, T. S. Spatial dynamics of firewood and charcoal production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, p. 127714, 2021.
- BRASIL. Lei nº 10.836, de 9 de janeiro de 2004. **Cria o Programa Bolsa Família e dá outras providências**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2004.
- CHISTYAKOVA, N; MIKHALCHUK, A; BOCHAROVA, Y; AKERMAN, E; TATARNIKOVA, V. Catching-up regional strategy as a tool to reduce spatial inequality. **Journal Of The Geographical Institute Jovan Cvijic, Sasa**, v. 73, n. 1, p. 33-48, 2023. National Library of Serbia. <http://dx.doi.org/10.2298/ijgi2301033c>.
- COELHO JUNIOR, L. M; SANTOS JÚNIOR, E. P; BORGES, L. A. C; SILVA, M. L. Especialização e localização do valor bruto da produção dos produtos madeireiros nativos nas microrregiões da Paraíba (1994 – 2017). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 192-204, 6 abr. 2020. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509837816>.
- COLODETTE, J. L; GOMES, C. M; GOMES, F. J; CABRAL, C. P. The Brazilian wood biomass supply and utilization focusing on eucalypt. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, p. 1-8, 2014.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) 2021: Ano Base 2020, **Balanco Energético Nacional**, Rio de Janeiro, Brasil, 2021, p. 81.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. 2020. **Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings**. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8753en>
- GASPAR, J. M. New economic geography: history and debate. **The European Journal of the History of Economic Thought**, v. 28, n. 1, p. 46-82, 2021.
- GIODA, A. Características e procedência da lenha usada na cocção no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 33, p. 133-150, 2019.
- HILDEBRAND, G.; MACE, A. The employment multiplier in an expanding industrial market: Los Angeles County, 1940-47. **Review of Economics and Statistics** 32: 241-49, 1950.
- HORA, J. S. L; FEITOSA, I. S; ALBUQUERQUE, U. P; RAMOS, M. A; MEDEIROS, P. M. Drivers of species' use for fuelwood purposes: A case study in the Brazilian semiarid region. **Journal of Arid Environments**, v. 185, p. 104324, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias: 2017/IBGE**, Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.5, 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.10, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.12, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.15, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.17, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.31, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.36, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira: 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

KIMEMIA, D; ANNEGARN, H. An urban biomass energy economy in Johannesburg, South Africa. **Energy For Sustainable Development**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 382-387, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2011.10.002>.

KOO, J; LALL, S. New economic geography: Real or hype?. **International regional science review**, v. 30, n. 1, p. 3-19, 2007.

KOPCZEWSKA, K. Cluster-based measures of regional concentration. Critical overview. **Spatial Statistics**, v. 27, p. 31-57, 2018.

KRUGMAN, P. **Geography and Trade**, Cambridge, MA, The MIT Press.1991b.

KRUGMAN, P. Increasing Returns and Economic Geography. **Journal of Political Economy**, v. 99 n. 3, p. 483–499, 1991a. doi:10.1086/261763.

LONG, L; NUCCI, A. The Hoover index of population concentration: A correction and update. **The Professional Geographer**, v. 49, n. 4, p. 431-440, 1997.

LONGHI, C; MUSOLESI, A; BAUMONT, C. Modeling structural change in the European metropolitan areas during the process of economic integration. **Economic Modelling**, [S.L.], v. 37, p. 395-407, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2013.10.028>.

MARTINEZ-GALARRAGA, J; PALUZIE, E; PONS, J; SILVESTRE, J; TIRADO, D. A. New economic geography and economic history: a survey of recent contributions through the

- lens of the spanish industrialization process. **Cliometrica**, v. 15, n. 3, p. 719-751, 2021
Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11698-020-00214-1>.
- MARTINS, K. D. L. D. C; MELQUÍADES, T. F; REZENDE, J. L. P. D; COELHO JUNIOR, L. M. (2018). Plant extractivism production disparity between Northeast Brazil and Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 25, 2018.
- MATTEI, T. F; MATTEI, T. S. Métodos de Análise Regional: um estudo de localização e especialização para a Região Sul do Brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD** , v. 38, n. 133, pág. 227-243, 2017.
- MONASTERIO, L; FURTADO, B. A; CRUZ, B; RORDIGUES JÚNIOR, W. O Indicadores de análise regional e espacial. In:., **ECONOMIA REGIONAL E URBANA: teorias e métodos com ênfase no Brasil**. Brasília: Ipea, 2011. p. 315-331.
- PIACENTI, C; ALVES, L. R; LIMA, J. F. O Perfil Locacional do Emprego Setorial no Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 39, n.3, p. 482-502, jul./set. 2008.
- QUEIROZ, A. S.B; SÁGIO, S. A; VIEIRA, G. E. G. Dificuldade da utilização da biomassa florestal na geração de energia. **RECURSOS NATURAIS: ENERGIA DE BIOMASSA FLORESTAL-VOLUME 2**, v. 2, n. 1, p. 32-37, 2021.
- SANQUETTA, C. R., DALLA CORTE, A. P., PELISSARI, A. L., TOMÉ, M., MAAS, G. C. B., & SANQUETTA, M. N. I. Dynamics of carbon and CO₂ removals by Brazilian forest plantations during 1990–2016. **Carbon balance and management**, v. 13, p. 1-12, 2018.
- SANTOS JÚNIOR, E. P., DA SILVA, M. V. B., SIMIONI, F. J., JUNIOR, P. R., MENEZES, R. S. C., & JUNIOR, L. M. C. (2022). Location and concentration of the forest bioelectricity supply in Brazil: A space-time analysis. **Renewable Energy**, v. 199, p. 710-719, 2022.
- SANTOS, M. Sociedade e espaço: a formação social como teoria e como método. **Boletim Paulista de geografia**, n. 54, p. 81_100-81_100, 1977.
- SCHETTINI, D. The brazilian regional industrial exports: spatial analysis of the first decade of the 2000s. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 21, p. 298-311, 2019.
- SCHMIDT, V. K; ZEN, A. C. Desenvolvimento regional e resiliência de cluster: uma proposta teórica. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 13, n. 1, p. 31-45, 2019.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - (SFB). **Mapa das florestas do Brasil**, 2019.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - (SFB). **Sistema Nacional de Informações Florestais**, 2020. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/producao/889-painel-interativo-2a>, Acesso em: 21 de março de 2023.
- SILVA, A.P.S; ANATER, M.J.N; AMARAL, D.H; NEIVA, A.S; COELHO, S.T. Forest residues consumption by households in large urban centers in Brazil: an overview. In: European Biomass Conference and Exhibition, 30., 2022, Florença. **Proceedings** [...]. Florença: Eta-Florence Renewable Energies, 2022. p. 317-321. Disponível em: <http://www.etaflorence.it/proceedings/?detail=19166&mode=topic&categories=0&items=%2D%2D&searchstring=FOREST%20RESIDUES%20CONSUMPTION%20BY%20HOUSEH>

OLDS% 20IN% 20LARGE% 20URBAN% 20CENTERS% 20IN% 20BRAZIL:% 20AN% 20OVERVIEW&limit=2022. Acesso em: 21 jan. 2022.

SIMIONI, F. J; BUSCHINELLI, C. C. D. A; MOREIRA, J. M. M. A. P; PASSOS, B. M; GIROTTO, S. B. F. T. Forest biomass chain of production: challenges of small-scale forest production in southern Brazil. **Journal Of Cleaner Production**, v. 174, p. 889-898, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.330>.

SIMIONI, F. J; MOREIRA, J. M. M. A. P; FACHINELLO, A. L; BUSCHINELLI, C. C. D. A; MATSUURA, M. I. D. S. F. Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal da silvicultura no Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 731-742, 2017.

VON THUNEN, J. H. 1826. **Der Isolierte Staat in Beziehung Auf Landwirtschaft Und Nationalökonomie**, Hamburg, Perthes (C.M. Wartenberg: Von Thunen's Isolated State, trans.) Oxford: Pergammon Press (1966).

WENG, Q. Local impacts of the post-Mao development strategy: the case of the Zhujiang Delta, southern China. **International Journal of Urban and Regional Research**, v. 22, n. 3, p. 425-442, 1998.

4. ARTIGO 3 – DISTRIBUIÇÃO E DEPENDÊNCIA ESPACIAL DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA A PARTIR DO CONSUMO DE LENHA NO BRASIL

RESUMO

A combustão da biomassa lenhosa produz gases que intensificam o efeito estufa, causando alterações climáticas. Os impactos do uso descontrolado dos recursos florestais vão além do nível local, desempenhando um papel crucial a nível global. Neste contexto, compreender e analisar as inter-relações temporais e espaciais torna-se fundamental. Este artigo analisou a distribuição e dependência espacial da emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) nas regiões intermediárias do Brasil nas décadas de 1990, 2000 e 2010. Para quantificar as emissões de GEE nas regiões, utilizou-se a produção de lenha (m^3), e calculou-se o carbono equivalente para a lenha do extrativismo vegetal ($1 m^3 = 16 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$) e da silvicultura ($1 m^3 = 10 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$). Para compilar os resultados, aplicou-se uma análise exploratória de dados espaciais, com matrizes de ponderação espacial de k-vizinhos mais próximos e de contiguidade do tipo rainha. A análise de conjuntura mostrou que houve redução das emissões totais nas regiões do Brasil no período de 1990 a 2010, exceto na Região Sul, que aumentou 4,36%. As emissões de GEE decorrentes da lenha de extrativismo reduziram-se em 29,74% a.a. (1990 – 2010) enquanto as provenientes da silvicultura demonstraram crescimento de 22,70% a.a. (1990 – 2010). Os *clusters* de emissões do tipo alto-alto para o extrativismo situaram-se principalmente na Região Nordeste, em grande parte nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Bahia. Observando a mesma configuração espacial, as emissões geradas silvicultura concentraram-se nas Regiões Sul e Sudeste do país. A análise indicou que, ao considerar toda a lenha usada localmente, as emissões provenientes do extrativismo vegetal predominaram no Nordeste em todas as décadas, enquanto a silvicultura predominou nas Regiões Sul e Sudeste, contribuindo majoritariamente para as emissões de GEE nesses locais.

Palavras-chave: Autocorrelação espacial, *Clusters*, Economia regional.

DISTRIBUTION AND SPATIAL DEPENDENCE OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM FIREWOOD CONSUMPTION IN BRAZIL

ABSTRACT

The combustion of woody biomass produces gases that intensify the greenhouse effect, causing climate change. The impacts of the uncontrolled use of forest resources go beyond the local level, playing a crucial role at the global level. In this context, understanding and analyzing temporal and spatial interrelations becomes fundamental. This article analyzed the distribution and spatial dependence of Greenhouse Gas (GHG) emissions in the intermediate regions of Brazil in the 1990s, 2000s and 2010s. To quantify GHG emissions in the regions, the production of firewood (m^3) was used.), and the carbon equivalent for firewood from plant extraction ($1 \text{ m}^3 = 16 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$) and forestry ($1 \text{ m}^3 = 10 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$) was calculated. To compile the results, an exploratory analysis of spatial data was applied, with spatial weighting matrices of k-nearest neighbors and queen-type contiguity. The situation analysis showed that there was a reduction in total emissions in the regions of Brazil in the period from 1990 to 2010, except in the South Region, which increased by 4.36%. GHG emissions resulting from firewood were reduced by 29.74% p.a. (1990 – 2010) while those from forestry showed growth of 22.70% p.a. (1990 – 2010). The clusters of high-high emissions for extractivism were mainly located in the Northeast Region, largely in the States of Ceará, Rio Grande do Norte and Bahia. Observing the same spatial configuration, emissions generated by forestry were concentrated in the South and Southeast regions of the country. The analysis indicated that, when considering all firewood used locally, emissions from plant extractivism predominated in the Northeast in all decades, while forestry predominated in the South and Southeast Regions, contributing mainly to GHG emissions in these locations.

Keywords: Spatial autocorrelation, *Clusters*, Regional economy.

4.1. INTRODUÇÃO

A evolução histórica do uso da lenha como o primeiro combustível humano destaca-se por pela acessibilidade, sendo considerada uma das formas mais antigas de energia. Contudo, o emprego da lenha revela variações regionais, moldadas pelas disparidades socioeconômicas e culturais. Após revolução industrial, o consumo de energia passou a ser dominado pelo uso dos combustíveis fósseis, os quais são uma fonte cara, exaurível e com impactos ambientais negativos. O uso desses combustíveis contribui para a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), poluição atmosférica, degradação ambiental e outros impactos prejudiciais ao meio ambiente (Harwood, 1981; Gioda *et al.*, 2019; Santos e Vazquez, 2020; Almeida *et al.*, 2022).

Energia e crescimento econômico apresentam uma interdependência complexa com o desenvolvimento social e os recursos naturais. Isso leva a uma ligação intrínseca entre o impacto das atividades econômicas e a degradação ambiental. Nas últimas décadas, a sociedade tem manifestado crescente preocupação com a questão ambiental, impulsionando uma intensificação na busca por fontes de energia renovável, dentre elas a bioenergia. Essa inquietação em relação ao meio ambiente culminou em importantes encontros ambientais internacionais, notadamente a Conferência de Estocolmo em 1972, a Eco-92 (também conhecida como Rio-92), a Rio+10 em 2002 e a Rio+20 em 2012. Essas conferências representam marcos significativos no diálogo global sobre a sustentabilidade (Brito, 2007; Beskow e Mattei, 2012; Pérez *et al.*, 2022).

Projeções futuras do consumo de energia revelam um aumento na demanda, o qual poderia ser suprido através do aproveitamento de diversos tipos de biomassa. Segundo a *International Energy Agency* (IEA) (2023), a biomassa sólida pode atingir 44 exajoule (EJ) em 2030 e 57 EJ em 2050. O abastecimento de biomassa é composto por uma multiplicidade de matérias-primas e pode ser categorizado de forma simplificada em três setores principais: biomassa florestal, agrícola e de resíduos. A biomassa florestal exerce uma função fundamental como fonte de energia renovável, destacando-se tanto em países desenvolvidos, nos quais avançadas tecnologias são empregadas para mitigar as emissões de GEE, quanto em países emergentes onde uma parcela da população enfrenta dificuldades econômicas e utiliza do recurso para subsistência. (Jong e Dahlberg, 2017; Cesprini *et al.*, 2020; Bichel e Telles, 2021).

As formas mais tradicionais de biomassa florestal são a lenha e o carvão vegetal. Mais de 2 bilhões de pessoas ainda dependem do emprego convencional de combustíveis provenientes da madeira e outras formas de energia oriundas da biomassa para preparar alimentos até 2030. O Food and Agriculture Organization (FAO) (2018) estimou que a lenha

desempenhou um papel fundamental como fonte de energia sustentável, representando aproximadamente 6% da energia primária mundial (FAO, 2018; FAO, 2022; Gioda, 2019).

Segundo o Serviço Florestal Brasileiro (SFB) (2019), o Brasil apresenta extensa área de florestas, aproximadamente 497 milhões de hectares, sendo 488 milhões de hectares de florestas nativas e 9 milhões de hectares de florestas plantadas. Na matriz energética brasileira, a lenha representa 7,8% da produção de energia primária. A produção de lenha foi 84.138×10^3 toneladas (t) em 2021, um crescimento de 1,44% comparado a 2020. Em relação ao consumo energético final, o setor residencial consumiu 24.002×10^3 t, o agropecuário 10.186×10^3 t e o industrial 24.539×10^3 t. Das indústrias, as três principais consumidoras de lenha foram: alimentos e bebidas, papel e celulose e cerâmica (Empresa De Pesquisa Energética - EPE, 2022).

A preocupação com os impactos do uso descontrolado dos recursos florestais vai além das consequências locais, pois essas atividades têm um papel relevante no contexto global. O desmatamento, intensificação da erosão e o avanço da desertificação, por sua vez, desencadeiam mudanças climáticas, sendo estas últimas intrinsecamente relacionadas ao fenômeno do aquecimento global e suas causas associadas, como as emissões de GEE (Coelho Junior *et al.*, 2018a; Pasa *et al.*, 2022).

As emissões de GEE têm despertado preocupações com o futuro, levando países a se comprometerem com a redução das mesmas. Nesse sentido, compreender e analisar essas inter-relações temporais e espaciais torna-se imprescindível, e é nessa conjuntura que a econometria espacial emerge como uma ferramenta capaz de investigar os fenômenos em diferentes regiões que interagem e se complementam (Cabral *et al.*, 2017; Han *et al.*, 2021; Wang e Zheng, 2021).

Os modelos econômicos regionais buscam entender a relação das atividades econômicas em uma determinada região geográfica, porém, não incorporam elementos teóricos suficientes para explicar adequadamente os fenômenos espaciais. Concentrando-se na análise dos padrões e distribuições espaciais de fenômenos e variáveis, levando em consideração a localização geográfica dos dados, a análise espacial visa compreender como a geografia afeta os processos econômicos, explorando a relação entre espaço e o comportamento das variáveis estudadas (Nunes, 2013).

Dentro da análise espacial, há uma etapa importante que é a análise exploratória de dados espaciais (AEDE). A AEDE utiliza técnicas estatísticas e geográficas para identificar tendências, padrões e associações espaciais. Essa análise ajuda a identificar *clusters*, *outliers* e padrões de dispersão espacial nos dados. A autocorrelação espacial é uma medida que avalia a

correlação entre as variáveis e sua proximidade geográfica (Cabral *et al.*, 2017; Coelho Junior *et al.*, 2018b; Nunes, 2013).

Diversas áreas de estudo utilizam a autocorrelação espacial. Na área de energia, destacaram-se trabalhos como o de Cabral *et al.* (2017), que fizeram a previsão do consumo de energia elétrica no Brasil; Coelho Junior *et al.* (2018b), que analisaram a distribuição espacial da produção de lenha no Nordeste brasileiro; Santos Junior *et al.* (2022), que realizaram análise da distribuição e dependência espaço-temporal da oferta de bioeletricidade florestal no Brasil; e Szaruga *et al.* (2022), que verificaram a autocorrelação espacial da instabilidade da rede elétrica no contexto da produção de eletricidade a partir de fontes energias renováveis em regiões polonesas.

A estimativa da distribuição espacial das emissões de dióxido de carbono (CO₂) desempenha um papel fundamental na formulação de políticas de conservação de energia e redução de emissões (Zhang *et al.*, 2023). Diante da importância da lenha como fonte energética e das emissões de GEE geradas em sua queima, surge a necessidade de compreender sua distribuição espacial (*clusters* e *outliers*). Este artigo analisou a distribuição e a dependência espacial das emissões de GEE, considerando a quantidade de lenha proveniente do extrativismo e da silvicultura produzidas nas regiões intermediárias do Brasil. A hipótese subjacente foi de que toda lenha produzida na região seria consumida localmente nas décadas de 1990, 2000 e 2010. A análise espacial da produção de lenha e suas emissões de GEE pode ser uma ferramenta valiosa para orientar estratégias de mitigação, promover o desenvolvimento sustentável e criar soluções adaptadas às características específicas de cada região.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Dados utilizados

As informações sobre a produção de lenha no Brasil foram obtidas da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS, disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Foram utilizados os dados da produção de lenha (metros cúbicos – m³) do extrativismo vegetal e de silvicultura para os recortes geopolíticos (grandes regiões, estados e regiões intermediárias) conforme IBGE (2017), nas décadas de 1990, 2000 e 2010.

Para mensurar as emissões dos GEE provenientes da queima da lenha, utilizou-se Coelho Junior *et al.* (2018a) pelo critério de avaliação de impacto GWP 100y do IPCC 2013, proveniente da queima de 1 m³ de lenha de silvicultura (10 kg CO₂-eq) e do extrativismo vegetal

(16 kg CO₂-eq). Foram quantificadas as emissões dos GEE per área (CO₂-eq/km²), de forma a garantir a não influência da dimensão territorial.

Para a análise de conjuntura, foram observadas as emissões dos GEE da lenha (extrativismo vegetal, silvicultura e total) nas grandes Regiões brasileiras para as décadas 1990, 2000 e 2010. Utilizou-se a Taxa Geométrica de Crescimento (TGC) (Equação 8) para avaliar as mudanças (aumento e diminuição) das emissões dos GEE provenientes da lenha Brasil (Cuenca e Dompieri, 2017).

$$TGC[\%] = \left[\sqrt[\Delta t]{\frac{V_F}{V_O}} - 1 \right] * 100 \quad (8)$$

em que,

V_F = emissões dos GEE da lenha referente ao ano final, em t;

V_O = emissões dos GEE da lenha referente ao ano inicial;

Δt = variação temporal das emissões da lenha (expressa em anos).

Para inferir a dependência espacial das emissões de GEE da lenha de extrativismo vegetal, silvicultura e total (extrativismo + silvicultura) produzida nas regiões intermediárias do Brasil, utilizou a Análise Exploratória de Dados Espaciais.

4.2.2. Análise Exploratória de Dados Espaciais

A análise exploratória de dados espaciais examina a dependência espacial, correlação espacial e autocorrelação espacial (Li; Li; Zhou, 2022). A técnica da autocorrelação espacial vem da primeira lei da geografia de Tober, a qual afirma que tudo está correlacionado espacialmente, e que quanto mais próximos os objetos estão uns dos outros, maior a probabilidade de serem correlacionados espacialmente (Li *et al.*, 2022).

A autocorrelação espacial quantifica a relação entre uma determinada variável em uma região i e a mesma variável em uma região vizinha j . Para avaliar o nível de interação espacial, foi necessário estabelecer a matriz de peso espacial (W), a qual é comumente construída com base na contiguidade geográfica e/ou distância. A matriz de contiguidade (convenções “rainha” e “torre”) é uma matriz binária definida com base na fronteira entre i e j , quando duas regiões são consideradas vizinhas, um valor unitário é atribuído à célula correspondente na matriz. Caso contrário, um valor nulo é inserido (Coelho Junior *et al.*, 2018b). Dessa forma, a relação de contiguidade na matriz de peso espacial (W) é expressa pela seguinte Equação 9:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } i \text{ e } j \text{ são contíguos} \\ 0 & \text{se } i \text{ e } j \text{ não são contíguos} \end{cases} \quad (9)$$

A matriz de distância geográfica é baseada na ideia de que regiões mais próximas geograficamente tem maior interação espacial, assim como a matriz dos k-vizinhos mais próximos. A utilização da matriz de k-vizinhos mais próximos assegura a inexistência de “ilhas”, ou seja, regiões desprovidas de vizinhos. Além disso, esse tipo de matriz combate o desequilíbrio de conectividade, pois todas as regiões possuem o mesmo número de vizinhos (Coelho Junior *et al.*, 2018b). A matriz é apresentada na Equação 10:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } d_{ij} \leq d_i(k) \\ 0 & \text{se } d_{ij} > d_i(k) \end{cases} \quad (10)$$

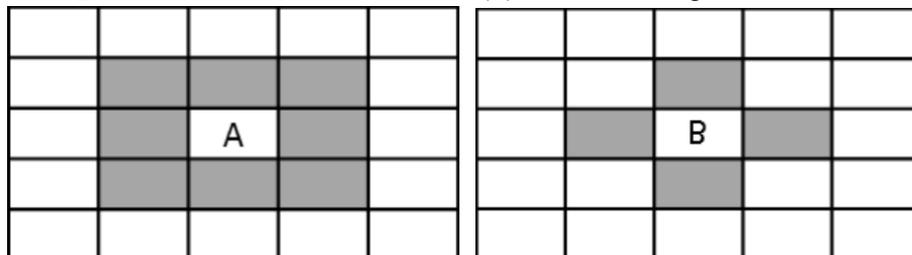
em que,

d_{ij} = distância entre as regiões i e j

$d_i(k)$ representa a menor distância possível para que a região i possua k vizinhos.

Para identificar a melhor matriz, foram analisados a matriz de distância geográfica para os k-vizinhos mais próximos 2, 4, 6 e 8, e a matriz de contiguidade convenções “rainha” e “torre” (Figura 4.1).

Figura 4.1 - Convenção (A) “rainha” e (B) “torre” de contiguidade.



Fonte: Almeida (2012).

O método frequentemente empregado para analisar dependência espacial é a estatística I de Moran, a qual quantifica a intensidade da dependência espacial entre as variáveis em análise em um contexto de estudo transversal (Nunes, 2013). O I Moran é um indicador que detecta a correlação espacial de toda uma área de pesquisa. Para Wang e Zheng (2021), a fórmula para calcular a estatística I de Moran é (Equação 11):

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{X})(x_j - \bar{X})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (11)$$

em que,

n = número total de regiões;

W_{ij} = valor da matriz de peso espacial;

X_i = é o valor de emissão de gases medido na região i ;

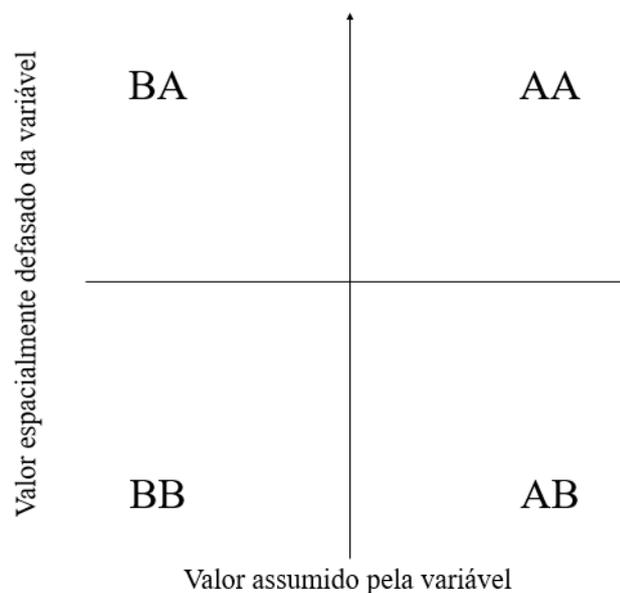
X_j = é o valor de emissão de gases medido na região j ;

\bar{X} = média de emissão de gases na região de estudo;

S^2 = variância.

O I de Moran apresenta valores entre -1 e 1. Há uma correlação espacial positiva entre as duas regiões se o valor for maior que 0, indicando que as variáveis são espacialmente dependentes. Se o valor do índice for menor que 0, há uma correlação espacial negativa; se o I de Moran for igual a 0, então a distribuição espacial é aleatória e não há autocorrelação espacial (Wang *et al.*, 2021). A Figura 4.2 mostra o diagrama de dispersão de Moran, que permite analisar a dependência e a variabilidade espacial.

Figura 4.2 - Diagrama de dispersão de Moran.



Fonte: Adaptado de Coelho Junior *et al.* (2018b).

O diagrama de dispersão de Moran possui quatro quadrantes, que representam tipos diferentes de associação espacial, os quais são: Alto-Alto (AA), que são associações positivas, significa que possui altos valores de emissão de gases com alta vizinhança; enquanto o Baixo-Baixo (BB) representa baixa emissão de gases e baixa vizinhança. Os valores dissimilares são observados em Alto-Baixo (AB), onde tem-se uma alta emissão de gases com baixa vizinhança e por fim, o padrão Baixo-Alto (BA), que possui baixo valor de emissão de gases e alta vizinhança (Coelho Junior *et al.*, 2018b).

O índice de Moran Local é um Indicador Local de Associação Espacial (LISA) (Equação 12), que pode refletir as características de aglomeração espacial de cada unidade dentro da região e permite a identificação de *clusters*, *outliers* e mais de um regime espacial. Diferente do I de Moran, o LISA pode determinar a região de aglomeração espacial específica (Wang *et al.*, 2021).

$$I = \frac{n(x_i - \bar{X}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (12)$$

em que,

n = número total de regiões;

W_{ij} = valor da matriz de peso espacial;

X_i = é o valor de emissão de gases medido na região i ;

X_j = é o valor de emissão de gases medido na região j ;

\bar{X} = média de emissão de gases na região de estudo.

Os resultados são mostrados por mapas de *clusters*, onde as associações espaciais das emissões de GEE são expressas por cores.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4.1 apresenta as emissões de GEE per área (kg CO₂-eq/km²) a partir da lenha para o extrativismo vegetal, silvicultura e total (extrativismo + silvicultura) nas grandes Regiões do Brasil, para as décadas 1990, 2000 e 2010. Na década de 1990, a emissão total de GEE foi 1.873,00 kg CO₂-eq/km². Na década de 2010, as emissões decresceram para 1.159,67 kg CO₂-eq/km², com redução de 14,77%. Essa redução foi impulsionada pelo extrativismo vegetal, que em 1990 emitiu 1.533,14 kg CO₂-eq/km², reduzindo as emissões para 531,79 kg CO₂-eq/km², uma queda de 29,74%.

A silvicultura registrou um comportamento oposto ao do extrativismo vegetal, observando um aumento de 22,70% nas emissões no mesmo período. Entre as décadas de 1990 e 2010, as emissões passaram de 339,86 kg CO₂-eq/km² para 627,88 kg CO₂-eq/km². Este aumento pode ser atribuído ao aumento significativo da produção de lenha de silvicultura ao longo deste intervalo. Esses resultados são reflexos das conferências ambientais internacionais que tiveram grande influência no desenvolvimento sustentável, principalmente nas questões das mudanças climáticas. Destacam-se a Eco-92, realizada no Brasil, na cidade do Rio de Janeiro, em 1992, considerada um dos eventos mais significativos no âmbito de políticas internacionais

em relação a questões ambientais ao longo da história e a Rio+10 que ocorreu na África do Sul, na cidade de Joanesburgo, em 2002 com o objetivo de verificar os resultados dos acordos realizados e cobrar maior compromisso dos países envolvidos (Beskow e Mattei, 2012; Berchin e Carvalho, 2016).

Tabela 4.1 - Evolução das emissões de GEE (kg x10⁶ CO₂-eq) para lenha de extrativismo vegetal, silvicultura e total nas grandes Regiões do Brasil, para as décadas 1990, 2000 e 2010.

Regiões	Década 1990			Década 2000			Década 2010		
	Ext.	Sil.	Total	Ext.	Sil.	Total	Ext.	Sil.	Total
Sul	3.696,11	2.266,13	5.962,24	1.919,79	3.842,79	5.762,58	777,79	5.998,09	6.775,89
Nordeste	4.278,50	99,92	4.378,43	2.580,63	187,42	2.768,06	1.733,40	66,75	1.800,15
Sudeste	1.779,46	1.396,39	3.175,86	460,44	1.208,99	1.669,44	143,58	1.398,89	1.542,48
Centro-Oeste	591,35	80,28	671,63	313,79	97,36	411,15	238,84	298,46	537,31
Norte	436,25	2,68	438,93	347,73	2,08	349,82	225,99	2,02	228,01
Brasil	1.533,14	339,86	1.873,00	867,35	445,27	1.312,62	531,79	627,88	1.159,67

Fonte: Elaboração da autora, 2023.

Dentre as regiões analisadas, a Região Sul obteve as maiores emissões de GEE, apresentando 5.962,24 kg CO₂-eq/km² na década de 90 e evoluiu 4,36% para a década de 2010, com 6.775,89 kg CO₂-eq/km², sendo única região com tendência de crescimento durante o período analisado. Houve redução do extrativismo vegetal e aumento da silvicultura nessa região. Em segundo lugar esteve a região Nordeste com 4.378,43 kg CO₂-eq/km² (1990) e 1.800,15 kg CO₂-eq/km² (2010), expressando uma redução de 25,64%.

Em terceiro lugar, a região Sudeste que exibiu comportamento semelhante à Região Sul, onde a maioria das emissões são provenientes da silvicultura e há redução em relação ao extrativismo. Na década de 90, as emissões foram de 3.175,86 kg CO₂-eq/km², diminuindo para 1.542,48 kg CO₂-eq/km² na década de 2010, redução de 21,39%. Grandes porções das regiões Sul e Sudeste estão inseridas no Bioma Mata Atlântica. Em 2006, foi sancionada a Lei da Mata Atlântica - Lei nº 11.428/2006, que regulamenta a proteção e uso da biodiversidade e recursos dessa floresta, ocasionando redução na exploração da floresta nativa e intensificação do uso de floresta plantada (BRASIL, 2006).

As emissões de GEE provenientes da lenha de extrativismo vegetal, destacaram-se na Região Nordeste, que obteve as maiores emissões em todas as décadas. Em 1990, apresentava 4.278,50 kg CO₂-eq/km², e 2000 registrou 2.580,63 kg CO₂-eq/km², e em 2010 diminuiu para 1.733,40 kg CO₂-eq/km², redução de 26,00% neste período. A Região Nordeste tem sido dependente da extração de lenha nativa, no início da década de 1990, o consumo primário de

energia proveniente da lenha foi de 35% (Coelho Junior *et al.*, 2019). A Região Sul expressou a segunda maior em emissões do extrativismo, apesar da redução 40,52%, saindo de 3.696,11 kg CO₂-eq/km² na década de 90 para 777,79 kg CO₂-eq/km² na década 2010. As emissões de GEE oriundas da lenha de floresta nativa apresentaram tendência de redução em todas as regiões, resultado da fiscalização dos órgãos competentes e da adoção do gás de petróleo e óleo combustível (IBGE, 2000).

Para silvicultura, destacaram-se as regiões Sul e Centro-Oeste, que apresentaram evolução durante o período analisado. A região Sul emitiu: 2.266,13 kg CO₂-eq/km² (1990), 3.842,79 kg CO₂-eq/km² (2000) e 5.998,09 kg CO₂-eq/km² (2010), apontando um crescimento de 38,33% nas emissões de GEE. A Região Centro-Oeste expressou aumento de 10,13% entre as décadas de 1990 (80,28 kg CO₂-eq/km²) e 2000 (97,36 kg CO₂-eq/km²). Na década 2010, ocorreu um aumento expressivo, as emissões foram 298,46 kg CO₂-eq/km², crescimento de 75,08% de 2000 a 2010. A expansão da silvicultura no Centro-Oeste e a intensificação das atividades de fiscalização e proteção ambiental têm contribuído para o crescimento da produção de lenha proveniente da silvicultura (Simioni *et al.*, 2017). A Região Sudeste, a segunda maior em emissões durante o período em questão, emitiu 1.396,39 kg CO₂-eq/km² na década de 90 e década posterior caiu para 1.208,99 kg CO₂-eq/km², correspondendo queda de 6,95%, voltando a subir em 2010 (1.398,89 kg CO₂-eq/km²), apresentando comportamento constante.

A Tabela 4.2 apresenta o I de Moran de emissões de GEE das 133 regiões Intermediárias do Brasil para cada tipo de lenha, utilizando a matriz k-vizinhos mais próximos (2, 4, 6 e 8) e matriz de contiguidade (convenções “rainha” e “torre”), nas décadas de 1990, 2000 e 2010. Para todo o período analisado e todas as matrizes, os valores foram positivos, indicando autocorrelação positiva e que as regiões são espacialmente dependentes.

Tabela 4.2 - Índices de Moran de emissão de GEE para cada tipo de lenha no Brasil, para matriz k-vizinhos mais próximos (2, 4, 6 e 8) e matriz de contiguidade (convenções “rainha” e “torre”), nas décadas de 1990, 2000 e 2010.

	Lenha	2 vizinhos	4 vizinhos	6 vizinhos	8 vizinhos	Rainha	Torre
1990	Extrativismo	0.482	0.395	0.419	0.402	0.456	0.455
	Silvicultura	0.253	0.224	0.333	0.147	0.360	0.360
	Total	0.446	0.374	0.340	0.300	0.430	0.430
2000	Extrativismo	0.296	0.262	0.364	0.373	0.419	0.418
	Silvicultura	0.215	0.204	0.272	0.136	0.298	0.298
	Total	0.252	0.247	0.204	0.195	0.362	0.362
2010	Extrativismo	0.443	0.358	0.484	0.461	0.524	0.523
	Silvicultura	0.447	0.471	0.514	0.405	0.531	0.531
	Total	0.415	0.427	0.382	0.362	0.501	0.501

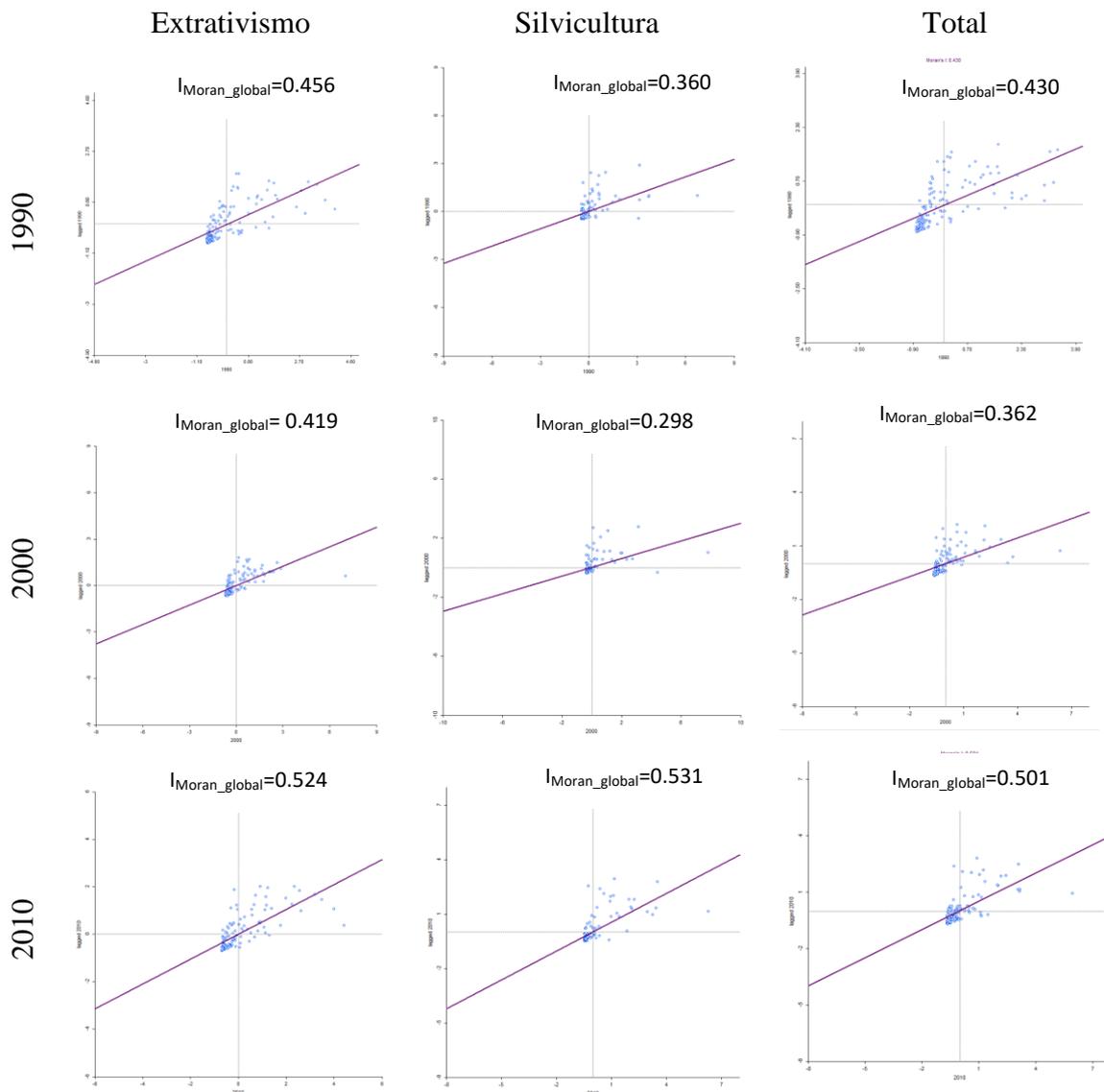
Fonte: Elaboração da autora, 2023.

O arranjo com 2 vizinhos apresentou os maiores valores na década de 90 para o extrativismo vegetal (0.482) e para o total (0.446), enquanto para silvicultura, o melhor arranjo foi na matriz do tipo rainha (0.360), indicando autocorrelação positiva entre a queima de lenha e o aumento das emissões. À medida que aumentou a quantidade de vizinhos mais próximos, aumentou também a distância e o valor do I de Moran diminuiu, reduzindo a correlação espacial. A convenção rainha apresentou as maiores correlações espaciais entre a queima de lenha e o aumento da emissão de GEE. Na década de 2000, para o extrativismo vegetal (0.419), silvicultura (0.298) e total (0.362), o que também ocorreu na década de 2010, na qual o extrativismo vegetal obteve I de Moran de 0.524, a silvicultura 0.531 e o total 0.501. Os maiores valores do I de Moran foram apresentados na matriz de contiguidade do tipo rainha. Esta configuração abrange uma grande área, onde, além das fronteiras com extensão diferente de zero, os vértices são considerados como contíguos. A convenção torre também apresentou valores próximos ou iguais a convenção rainha, porém foram destacados os valores da convenção rainha.

A Figura 4.3 mostra os diagramas de dispersão de Moran das emissões de GEE nas regiões intermediárias do Brasil, para matriz de contiguidade na convenção rainha, nas décadas de 1990, 2000 e 2010. No padrão espacial global, foram observados pontos afastados, chamados de *outliers* (localizados nos quadrantes AB e/ou BA) e pontos de alavancagem (localizados nos quadrantes AA e/ou BB). Para o extrativismo vegetal, os valores foram: 0.456 (1990), 0.419 (2000) e 0.524 (2010). O I de Moran apresentou um maior valor na década de 2010, tendo como pontos de alavancagem no quadrante AA as regiões intermediárias de Ijuí, Passo Fundo, Lages, Blumenau, Ponta Grossa, Caicó, Sobral e Salvador. No quadrante BB, estão concentradas a maioria das regiões intermediárias do Norte, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.

No tocante à silvicultura, os valores globais de Moran foram: 0.360 (1990), 0.298 (2000) e 0.531 (2010). Na década de 90, identificou-se grande parte das Regiões Sul e Sudeste, observados como ponto de alavancagem as intermediárias de Blumenau, Joinville, Divinópolis e Barbacena, com alguns *outliers* também no mesmo quadrante, que são Porto Alegre e Santa Cruz do Sul-Lajeado. No decênio 2000, a maioria das regiões está aglomerada próxima ao centro do gráfico, onde grande parte das regiões presentes no quadrante AA são da região Sul do país. Em 2010, estão no quadrante AA parte da região Sudeste e grande parte da região Sul, como pontos de alavancagem estão as intermediárias de Cascavel, Londrina, Presidente Prudente, Bauru e Pouso Alegre.

Figura 4.3 - Diagrama de dispersão de Moran para emissão de GEE para cada tipo de manuseio de lenha nas regiões intermediárias do Brasil, para matriz de contiguidade “rainha”, nas décadas de 1990, 2000 e 2010.



Fonte: Elaboração da autora, 2023.

Os valores globais de Moran para as emissões correspondentes à queima de lenha total (extrativismo + silvicultura) foram: 0.430 (1990), 0.362 (2000) e 0.501 (2010). Na década de 1990, no quadrante AA estão presentes intermediárias da região Nordeste, Sul e Sudeste, tem como pontos de alavancagem: Fortaleza, Iguatu e Bauru. Na década 2000, o AA apresentou sete intermediárias da região Nordeste, que foram: Fortaleza, Crateús, Caicó, Aracaju, Feira de Santana, Santo Antônio de Jesus e Salvador. Da região Sudeste, apenas a intermediária de Sorocaba e o restante das intermediárias são da região Sul do Brasil. Em 2010, as intermediárias que participam do quadrante AA são: Sobral, Crateús, Juazeiro, Petrolina e Sorocaba, enquanto

o restante pertence à região Sul do Brasil. Os pontos de alavancagem são: Londrina, Fortaleza e Iguatu.

O Tabela 4.3 expõe a quantidade de intermediárias de acordo com as classificações do LISA. Na década de 1990, o extrativismo vegetal apresentou o maior número intermediárias da classificação de AA (altos valores de emissão de gases e alta vizinhança) na matriz torre, com 19 intermediárias. No mesmo período, a silvicultura teve maior relevância nas matrizes rainha e torre, ambas com 15 intermediárias que possuíam associação AA, e para o total, também se destacaram as matrizes rainha e torre, ambas com 19 intermediárias. A configuração AA para década de 2000 foi evidenciada na matriz rainha, que expôs a maior quantidade de intermediárias em todos os tipos de lenha analisados, com 20 intermediárias no extrativismo vegetal. Para silvicultura e o total apresentaram-se mais intermediárias nas matrizes torre e rainha com o mesmo valor, 13 intermediárias para silvicultura e 14 para o total. Na década 2010, as matrizes rainha e torre apresentaram o maior número de intermediárias ambas com o mesmo valor, extrativismo 18 intermediárias, silvicultura com 18 e o total com 17 intermediárias.

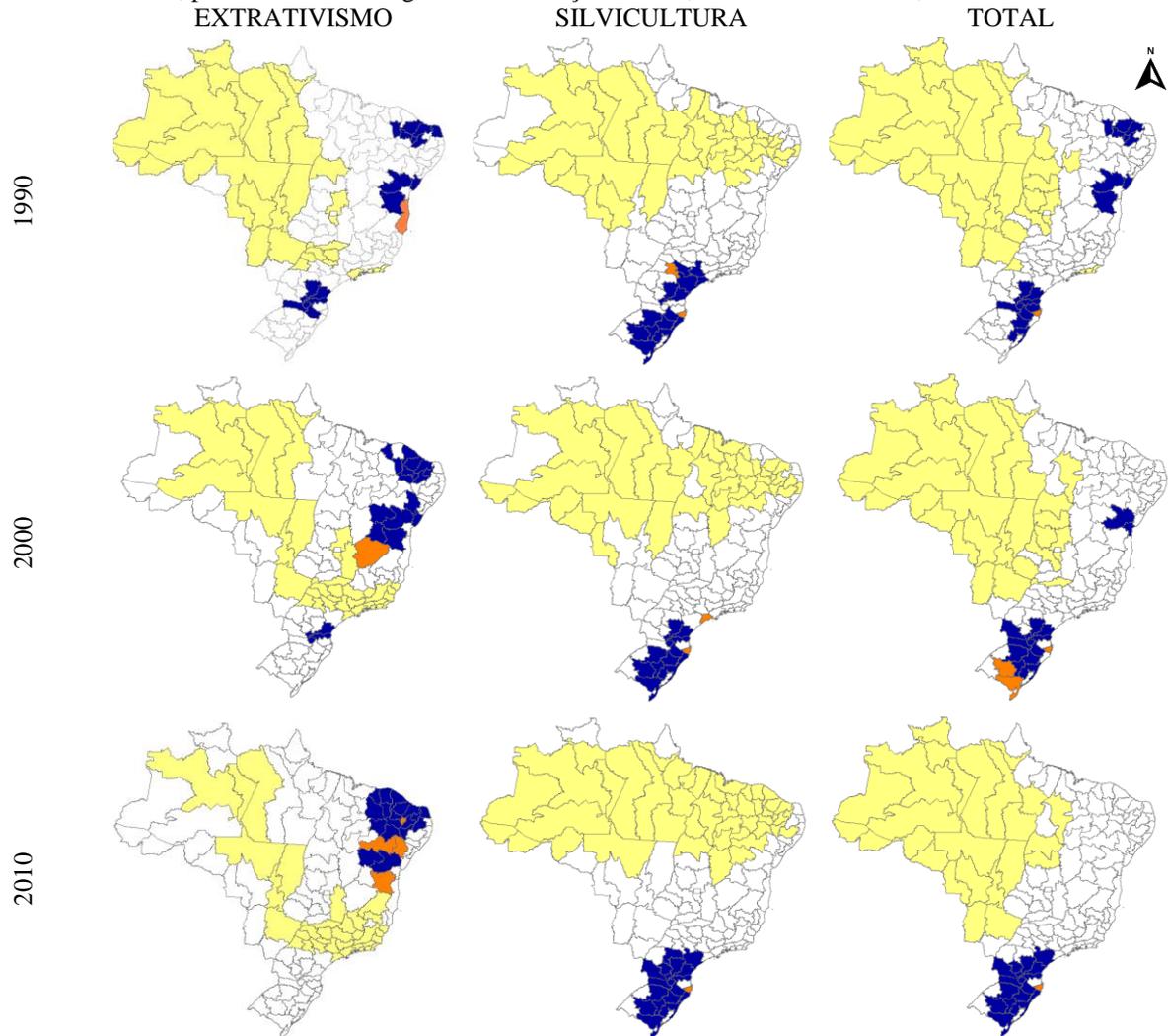
Tabela 4.3 - Indicador Local de Associação Espacial (LISA) de emissões de GEE para cada tipo de lenha no Brasil, para matriz k-vizinhos mais próximos (2 e 4) e matriz de contiguidade (convenções “rainha” e “torre”), nas décadas de 1990, 2000 e 2010.

		1990			2000			2010		
		Ext.	Sil.	Total	Ext.	Sil.	Total	Ext.	Sil.	Total
2 vizinhos	AA	10	6	10	7	6	6	8	10	9
	BB	13	0	16	13	0	13	18	0	12
	BA	2	3	2	1	4	3	4	3	3
	AB	0	1	0	0	1	0	0	0	0
4 vizinhos	AA	15	9	13	11	8	7	9	15	15
	BB	28	34	30	26	43	27	27	44	22
	BA	3	4	3	4	2	4	7	4	3
	AB	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Rainha	AA	17	15	19	20	13	14	18	18	17
	BB	32	39	35	37	42	31	35	45	25
	BA	1	2	1	1	2	3	4	1	1
	AB	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Torre	AA	19	15	19	18	13	14	18	18	17
	BB	35	40	34	36	41	31	35	45	25
	BA	0	2	1	1	2	3	4	1	1
	AB	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração da autora, 2023.

Na Figura 4.4, observam-se os destaques discutidos (AA) na Tabela 4.3 e as demais correlações espaciais, apresenta a distribuição espacial do LISA por meio de mapa de *clusters* da emissão de GEE para cada tipo de lenha o extrativismo vegetal, silvicultura e total, nas 133 regiões intermediárias do Brasil, para matriz de contiguidade convenção rainha, nas décadas de 1990, 2000 e 2010. Foram destacadas as associações espaciais do tipo alto-alto.

Figura 4.4 - Mapas de *clusters* para emissão de GEE para cada tipo de lenha nas regiões intermediárias do Brasil, para matriz de contiguidade convenção Rainha, nas décadas de 1990, 2000 e 2010.



Legenda: ■ Alto-Alto ■ Alto-Baixo ■ Baixo-Alto ■ Baixo-Baixo □ Não-significativo

Fonte: Elaboração da autora, 2023.

O extrativismo vegetal na década de 90 apresentou 2 *clusters* com alta emissão de GEE na Região Nordeste e 1 *cluster* na Região Sul. No *cluster* 1 da Região Nordeste, concentravam-se as intermediárias: Natal, Mossoró, Quixadá, Crateús, Iguatu, Souza-Cajazeiras, Patos. Em 1994, o Rio Grande do Norte, se destacava pela demanda da indústria de cerâmica vermelha

(Coelho Junior *et al.*, 2018b). O *cluster 2* da Região Nordeste participavam as intermediárias: Vitória da Conquista, Feira de Santana e Salvador. A dependência da população na Região Nordeste em relação ao produto florestal como fonte de energia é uma realidade histórica (Travassos e Souza, 2014). Na Região Sul, agrupavam-se as intermediárias Lages, Chapecó, Caçador, Joinville, Curitiba e Ponta Grossa.

Ao longo da década de 2000, a Região Sul realizou uma significativa redução no número de intermediárias, passando a concentrar-se em apenas três localidades: Caçador, Curitiba e Joinville. Essa redução de intermediárias na Região Sul ocorreu, porque a lenha proveniente do extrativismo vegetal foi fortemente substituída pela base de silvicultura (Bichel e Telles, 2021). A Região Nordeste apresentava 2 *clusters*, o *cluster 1* englobava as intermediárias: Patos, Souza-Cajazeiras, Mossoró, Caicó, Juazeiro do Norte, Quixadá, Iguatu, Fortaleza, Crateús e Parnaíba. O *cluster 2* envolvia apenas intermediárias do Estados da Bahia: Vitória da Conquista, Guanambi, Irecê, Feira de Santana, Salvador, Paulo Afonso. O Estados da Bahia apresentava demanda industrial dos pólos produtores de gesso, cal, cerâmica e aço (Coelho Junior *et al.*, 2018b). Na década de 2010, o extrativismo vegetal apresentava apenas 2 *clusters*, ambos na Região Nordeste. Um *cluster* formado pelas intermediárias Irecê e Feira de Santana, e segundo *cluster* envolvendo: Petrolina, Serra Talhada, Picos, Parnaíba, Teresina, Campina Grande, Patos, Juazeiro do Norte, Crateús, Quixadá, Iguatu, Fortaleza, Sobral, Mossoró, Caicó e Natal. Em 2010, o Estado do Ceará contava com 420 empresas do setor ceramista, sendo um dos principais setores consumidores de lenha (Linard *et al.*, 2015).

A silvicultura em todas as décadas concentrou-se nas Regiões Sul e Sudeste. Na década de 1990, as intermediárias presentes foram: Campinas, Bauru, São Paulo, Sorocaba, Curitiba, Ponta Grossa, Lages, Criciúma, Caxias do Sul, Passo Fundo, Santa Maria, Santa Cruz do Sul-Lajedo, Porto Alegre e Pelotas. No período entre 1915 a 1970 a exploração de madeira teve seu auge. Após esse período, diversas leis sobre exploração florestal foram promulgadas, porém apenas da década de 80 a situação se mostrou tão crítica que suspenderam o manejo sustentável de florestas. Como resultado desse processo, os três Estados da Região Sul encontravam-se legalmente impedidos de manejo e utilização, o que passou de modelo exploratório de florestas nativas para a utilização racional de florestas plantadas (Mendes, 2004). Na década de 2000, um grande *cluster* reunia as intermediárias: Ponta Grossa, Curitiba, Joinville, Caçador, Lages, Criciúma, Caxias do Sul, Passo Fundo, Santa Maria, Santa Cruz do Sul-Lajedo, Porto Alegre e Pelotas. No ano de 2003, o Estado do Rio Grande do Sul respondeu por 32,48% da produção nacional, sendo o maior produtor do país (IBGE, 2003).

No decênio 2010, estava presente apenas a intermediária Sorocaba da Região Sudeste, as demais intermediárias pertenciam a Região Sul: Londrina, Ponta Grossa, Curitiba, Guarapuava, Cascavel, Joinville, Caçador, Chapecó, Lages, Criciúma, Caxias do Sul, Passo Fundo, Santa Maria, Santa Cruz do Sul-Lajedo, Porto Alegre e Pelotas. No ano de 2013, os principais Estados produtores de lenha de silvicultura foram: Rio Grande do Sul (24,2%), Paraná (21,9%), Santa Catarina (14,6%), São Paulo (12,8%) e Minas Gerais (11,2%) (Simioni *et al.*, 2017).

Em relação às emissões de GEE pelo total de lenha, observou-se que, com o passar dos anos, as emissões decorrentes da silvicultura obtiveram mais relevância. Na década de 90, com a influência do extrativismo vegetal na Região Nordeste, destacaram-se as intermediárias Quixadá, Iguatu, Crateús, Souza-Cajazeiras, Patos, Mossoró, Vitória da Conquista, Feira de Santana e Salvador. Na década seguinte (2000), constatou-se apenas duas intermediárias da Região Nordeste: Feira de Santana e Santo Antônio de Jesus, e em 2010 nenhuma intermediária da Região Nordeste foi significativa. Na Região Sul o número de intermediárias com altas emissões subiu durante o período analisado. Na década de 90, estavam presentes 9 intermediárias: Ponta Grossa, Curitiba, Joinville, Caçador, Chapecó, Lages, Blumenau, Caxias do Sul e Porto Alegre. Na década 2000, o número de intermediárias aumentou para 11. Comparando com a década anterior, todas as intermediárias estavam presentes, exceto Blumenau, e foram acrescidas Cascavel, Passo Fundo e Santa Cruz do Sul-Lajedo. No decênio 2010, havia um grande *cluster* formado pelas intermediárias: Sorocaba, Ponta Grossa, Curitiba, Guarapuava, Cascavel, Joinville, Caçador, Chapecó, Lages, Criciúma, Caxias do Sul, Passo Fundo, Caxias do Sul, Santa Cruz do Sul-Lajedo, Porto Alegre e Pelotas.

4.4. CONCLUSÃO

A análise de conjuntura revelou uma queda de 14,77% nas emissões totais no Brasil entre as décadas de 1990 e 2010. Embora a maioria das regiões tenha reduzido suas emissões, a Região Sul foi uma exceção, experimentando um aumento de 4,36%. Na década de 2010, a Região Sul registrou a maior emissão de todas as regiões, totalizando 6.775,89 kg CO₂-eq/km², impulsionada pelo crescimento da produção de lenha proveniente da silvicultura na região.

O I de Moran apresentou valores positivos para todas as décadas, indicando a presença de autocorrelação espacial positiva, sendo os maiores valores identificados na matriz do tipo rainha. Em relação ao extrativismo vegetal, a maioria das regiões intermediárias do quadrante AA pertence à Região Nordeste e Sul do país, assim como os pontos de alavancagem. Já para

silvicultura o padrão AA concentrou as Regiões Sul e Sudeste. No tocante ao total, o quadrante AA apresentou principalmente intermediárias da Região Nordeste e Sul do país.

Para o LISA, a associação baixo-baixo em grande parte dos casos engloba a região Norte, o que indica que as intermediárias da região têm baixa emissão de GEE e baixa vizinhança, tendo pouca relevância. No que se refere a espacialização do tipo alto-alto, também foi verificado um padrão, onde os *clusters* geralmente aparecem nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, sendo a região Nordeste geralmente nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia.

Portanto, com base nas análises realizadas e na suposição de que toda a lenha produzida em uma região é consumida localmente, pode-se constatar que, em todas as décadas analisadas, o extrativismo vegetal estava predominantemente concentrado na região Nordeste, sendo a maior parte das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) atribuída à queima da lenha proveniente desse extrativismo. Por outro lado, a silvicultura é mais proeminente nas regiões Sul e Sudeste do país, sugerindo que a maioria das emissões de GEE associadas à silvicultura ocorreram nessas regiões. Por fim espera-se que este estudo possa nortear os atores públicos na tomada de decisão e ajude a novas iniciativas de pesquisa na área.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. **Econometria espacial**. Campinas–SP. Alínea, 2012.
- ALMEIDA, J.R.; OHNUMA JÚNIOR, A.A.; VITORIO, C.V.A.; LENZ, E.R.S, BAHÊ J.M.C.F, PEREIRA, R.C ENERGIA E SUSTENTABILIDADE. **Sociedade, tecnologia e meio ambiente: avanços, retrocessos e novas perspectivas**, v. 2, n. 1, p. 201-210, 2022.
- BERCHIN, I. I; CARVALHO, A. S. C. O papel das conferências internacionais sobre o meio ambiente para o desenvolvimento dos regimes internacionais ambientais: de Estocolmo à Rio+ 20. **DEBATESVII**, p. 167, 2016.
- BESKOW, E; MATTEI, L. Notas sobre a trajetória da questão ambiental e principais temas em debate na conferência Rio+ 20. **Revista NECAT-Revista do Núcleo de Estudos de Economia Catarinense**, v. 1, n. 2, p. 4-12, 2012.
- BICHEL, A; TELLES, T. S. Spatial dynamics of firewood and charcoal production in Brazil. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 313, p. 127714, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127714>.
- BRASIL. Lei Nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006. **Bioma Mata Atlântica**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm>. Acesso em: 24 de jun. de 2023.

- BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, Jan/Abr., 2007.
- CABRAL, J.D.A; LEGEY, L.F.L; CABRAL, M.V.D.F. Electricity consumption forecasting in Brazil: A spatial econometrics approach. **Energy** 2017, 126, 124–131.
- CESPRINI, E; RESENTE, G; CAUSIN, V; URSO, T; CAVALLI, R; ZANETTI, M. Energy recovery of glued wood waste—A review. **Fuel**, v. 262, p. 116520, 2020
- COELHO JUNIOR, L. M; BURGOS, M. D. C; SANTOS JÚNIOR, E. P; PINTO, P. A. L. A. Regional concentration of the gross production value of firewood in paraíba. **Floresta e Ambiente**, v. 26, 2019.EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) 2022: Ano Base 2021, **Balanco Energético Nacional**, Rio de Janeiro, Brasil, 2022, p. 36.
- COELHO JUNIOR, L. M; MARTINS, K. L. C; CARVALHO, M. Carbon Footprint Associated with Firewood Consumption in Northeast Brazil: an analysis by the IPCC 2013 GWP 100y criterion. **Waste And Biomass Valorization**. 2018a, v. 10, n. 10, p. 2985-2993. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-018-0282-1>
- COELHO JUNIOR, L. M; MARTINS, K. L. C; PINTO, P. A. L. A; SILVA, M. V. B. Spatial distribution of firewood production in northeastern Brazil (1994-2013). **Revista Árvore** [online]. 2018b, v. 42, n. 4 [Accessed 15 May 2022], e420402. Available from: <<https://doi.org/10.1590/1806-90882018000400002>>. Epub 08 Nov 2018. ISSN 1806-9088. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000400002>.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. 2018. **The State of the World's Forests 2018** - Forest pathways to sustainable development. Rome.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. 2022. **The State of the World's Forests 2022**. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360en>
- GIODA, A. Características e procedência da lenha usada na cocção no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 33, p. 133-150, 2019.
- GIODA, A; TONIETTO, G. B; LEON, A. P. Exposição ao uso da lenha para cocção no Brasil e sua relação com os agravos à saúde da população. **Ciencia & saude coletiva**, v. 24, p. 3079-3088, 2019.
- HAN X; YU J.; XIA Y; WANG, J. Spatiotemporal characteristics of carbon emissions in energy-enriched areas and the evolution of regional types. **Energy Reports**, v.7, p. 7224-7237, ISSN 2352-4847. (2021). <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.10.097>.
- HARWOOD, J. H. Lenha e restos de madeiras como fonte de energia na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 11, p. 553-559, 1981.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. IBGE, Rio de Janeiro, (2020).
- JONG, J.; DAHLBERG, A. Impact on species of conservation interest of forest harvesting for bioenergy purposes. **Forest Ecology and Management**, v. 383, p. 37-48, 2017.

LI, C; ZHANG, L; GU, Q; GUO J; HUANG, Y. "Spatio-Temporal Differentiation Characteristics and Urbanization Factors of Urban Household Carbon Emissions in China" **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 2022; 19, no. 8: 4451. <https://doi.org/10.3390/ijerph19084451>.

LI, Y; LI, J; ZHOU, Y. Dynamic evaluation, regional disparity, and spatial correlation of industrial ecologicalization level in China. **Environ Sci Pollut Res** (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18945-1>

LINARD, Z. U. S. D. A; KHAN, A. S; LIMA, P. V. P. S. Perceptions of environmental impacts of ceramic industry in the municipality of state Crato Ceará, Brazil. **Economía, sociedad y territorio**, v. 15, n. 48, p. 397-423, 2015. NUNES, F. G. Análise exploratória espacial de indicadores de desenvolvimento socioambiental das regiões de planejamento do norte e nordeste goiano. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 7, n. 1, p. 237-259, abr. 2013.

PASA, D.L; FARIAS, J. A; HERMES, D. Utilização de biomassa florestal como componente de uma economia de baixo carbono na cultura do tabaco. **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 1, 2022.

PÉREZ, G; ISLAS-SAMPERIO, J. M; GRANDE-ACOSTA, G. K; MANZINI, F. Socioeconomic and Environmental Aspects of Traditional Firewood for Cooking on the Example of Rural and Peri-Urban Mexican Households. **Energies**, v. 15, n. 13, p. 4904, 2022.

SANTOS JÚNIOR, E. P; MARTINS, K. D. L. D. C; SILVA, M. V. B; MAURÍCIO, C. F. B; MENEZES, R. S. C; COELHO JUNIOR, L. M. Forest Bioelectricity in Brazil: Distribution and Spatial-Time Dependence. **IEEE Access**, v. 10, p. 132822-132835, 2022.

SANTOS, A. S; VAZQUEZ, G. H. Energia Fotovoltaica: Percepção de Estudantes e a Confecção de um Sistema de Iluminação Sustentável. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 55, 2020.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF**. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://snif.florestal.gov.br/pt-br/florestas-e-recursos-florestais>>. Acesso em: junho de 2023.

SIMIONI, F. J; MOREIRA, J. M. M. Á. P; FACHINELLO, A. L; BUSCHINELLI, C. C. D. A; MATSUURA, M. I. D. S. F. Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal da silvicultura no Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 731-742, 2017.

TRAVASSOS I.S; SOUZA B.I. Os negócios da lenha: indústria, desmatamento e desertificação no Cariri paraibano. **Revista Espaço e Tempo**. 2014;18(2):329-40.

WANG, B; ZHENG, Q; SUN, A; BAO J; WU, D. Spatio-Temporal Patterns of CO₂ Emissions and Influencing Factors in China Using ESDA and PLS-SEM. **Mathematics**. 2021; 9(21):2711. <https://doi.org/10.3390/math9212711>

WANG, Y; ZHENG, Y. Spatial effects of carbon emission intensity and regional development in China. **Environ Sci Pollut Res** 28, 14131-14143 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11557-7>.

ZHANG, X; XIE, Y; JIAO, ; ZHU, W.; GUO, Z; CAO, X; LIU, J; XI, G; WEI, W. How to accurately assess the spatial distribution of energy CO2 emissions? Based on POI and NPP-VIIRS comparison. **Journal of Cleaner Production**, v. 402, p. 136656, 2023.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado nesta dissertação dedicou-se a analisar a importância da lenha no contexto brasileiro. Ao adentrar nas complexidades desse cenário, as análises realizadas nesta dissertação destacaram não apenas a centralidade da lenha, mas também suas implicações fundamentais. É importante ressaltar que os resultados e as contribuições desta dissertação não se limitam apenas ao campo acadêmico. A compreensão da relevância da lenha no Brasil, apresentada neste estudo, pode desempenhar um papel crucial na orientação de tomadas de decisões e na formulação de políticas públicas mais eficazes.

No primeiro artigo, foi realizada uma revisão sistemática que abrangeu o período de 2001 a 2022, proporcionando uma compreensão aprofundada sobre a biomassa florestal e seu papel no potencial energético. A análise bibliométrica e a revisão sistemática de literatura, identificou 47 publicações de 23 países, destacando o Brasil e os Estados Unidos como os mais prolíficos. Periódicos como *Biomass and Bioenergy* e *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* lideraram em citações. A análise de conteúdo, dividida em três grupos: biomassa florestal, lenha, carvão vegetal, resíduos florestais e *pellets*, proporcionou uma visão detalhada dos tópicos abordados. Este estudo contribuiu significativamente para a compreensão da bioenergia a partir da biomassa florestal em estudos bibliométricos. Identificaram-se lacunas para pesquisas futuras, e a amplitude geográfica das contribuições destacou a importância global da biomassa florestal como fonte renovável de energia.

O Segundo artigo analisou a concentração de lenha no Brasil entre 1990 e 2020, revelando uma clara tendência de declínio na lenha do extrativismo vegetal, com uma média anual de redução de 5,65%. Em contrapartida, a silvicultura registrou um crescimento significativo de 2,70% a.a no mesmo período. A lenha do extrativismo vegetal diminuiu ao longo dos anos, especialmente nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, indicando especialização fraca ou não especializada, porém apresentou tendência de concentração nas Regiões Norte e Nordeste. Para a lenha da silvicultura, observou-se uma concentração nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, sem especialização no Norte e Nordeste. Ao longo do tempo, houve uma transição de concentração para desconcentração da atividade, indicando que mais regiões passaram a cultivar lenha. O estudo fornece uma compreensão abrangente da distribuição espacial da lenha, destacando mudanças significativas a cada década entre 1990 e 2020.

O último artigo apresentou a análise das emissões de gases de efeito estufa da biomassa lenhosa nas regiões intermediárias do Brasil entre as décadas de 1990 e 2010 revelou uma

redução total de 14,77%, exceto na Região Sul, que teve um aumento de 4,36% na década de 2010, impulsionado pelo crescimento da lenha de silvicultura. A autocorrelação espacial positiva, avaliada pelo Índice de Moran, indicou padrões significativos nas emissões, com o quadrante alto-alto concentrando-se nas Regiões Nordeste para o extrativismo vegetal e Região Sul para silvicultura. O LISA confirmou *clusters* de alto-alto predominantemente nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Considerando o uso local da lenha, o extrativismo vegetal predominou na região Nordeste, contribuindo majoritariamente para as emissões de GEE nessa região. Enquanto isso, a silvicultura prevaleceu nas regiões Sul e Sudeste, sendo responsável pela maior parte das emissões nessas áreas. Esse estudo destaca a importância de compreender as dinâmicas temporais e espaciais das emissões de GEE.

Ao analisar a evolução da lenha ao longo do tempo e as mudanças espaciais, os resultados oferecem *insights* essenciais para orientar decisões e investimentos. Este trabalho destaca a lenha no panorama energético brasileiro, proporcionando subsídios valiosos para medidas eficazes diante das complexidades regionais e dos desafios ambientais.

REFERÊNCIAS

- ABDU, N; TINCH, E; LEVITT, C; VOLKER, P; MACDONALD, D. H. Willingness to pay for sustainable and legal firewood in Tasmania. **Ecological Economics**, v. 195, p. 107342, 2022.
- ABDULLAH, F. B; IQBAL, R; AHMAD, S; A., M; ABDULLAH, M. An Empirical Analysis of Sustainable Energy Security for Energy Policy Recommendations. **Sustainability**, 14, n.10, pág. 6099, 2022.
- ALMEIDA, E. **Econometria espacial**. Campinas–SP. Alínea, 2012.
- ALVES, L. R. Especialização e estrutura produtiva na análise regional do estado do Paraná. **Informe Gepec** , v. 2, pág. 9-29, 2022.
- ANBUMOZHI, V; GUNJIMA, T; PREM ANANTH, A; VISVANATHAN, C. An assessment of inter-firm networks in a wood biomass industrial cluster: lessons for integrated policymaking. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 12, p. 365-372, 2010.
- ARAUJO, J. E. S; MOURA, K. H. L; ROCHA, R. M. Evidências da distribuição espacial das indústrias do nordeste brasileiro a partir do Índice de Ellison e Glaeser. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 49, p. 291-319, jul. 2017.
- BALDAM, R. **Science Mapping (Bibliometria) with R Studio, Bibliometrix and international indexes**. Ufes: Vitória, 2021. Disponível: <http://cope.ufes.br>. Access: 10/11/2021.
- BARREIROS, R. M; RIBEIRO, G. P; DIAS, K. B; GOUVÊA, C. F; REIS, A. M. F; SILVA, G. C. Potencialidade energética da madeira de três espécies de eucalipto. **Recursos naturais: energia de biomassa florestal**, v. 1, p. 146-164, 2021.
- BEKHET, H. A; YASMIN, T. Assessment of the global financial crisis effects on energy consumption and economic growth in Malaysia: An input–output analysis. **International Economics**, v. 140, p. 49-70, 2014.
- BERCHIN, I. I; CARVALHO, A. S. C. O papel das conferências internacionais sobre o meio ambiente para o desenvolvimento dos regimes internacionais ambientais: de Estocolmo à Rio+ 20. **DEBATESVII**, p. 167, 2016.
- BESKOW, E; MATTEI, L. Notas sobre a trajetória da questão ambiental e principais temas em debate na conferência Rio+ 20. **Revista NECAT-Revista do Núcleo de Estudos de Economia Catarinense**, v. 1, n. 2, p. 4-12, 2012.
- BICHEL, A; TELLES, T. S. Spatial dynamics of firewood and charcoal production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, p. 127714, 2021.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127714>.
- BRASIL. Lei N° 11.428 de 22 de dezembro de 2006. **Bioma Mata Atlântica**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm>. Acesso em: 24 de jun. de 2023.

BRASIL. Lei nº 10.836, de 9 de janeiro de 2004. **Cria o Programa Bolsa Família e dá outras providências**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2004.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, Jan/Abr., 2007.

CABRAL, J.D.A; LEGEY, L.F.L; CABRAL, M.V.D.F. Electricity consumption forecasting in Brazil: A spatial econometrics approach. **Energy** 2017, 126, 124–131.

CALVERT, K; MABEE, W. Spatial analysis of biomass resources within a socio-ecologically heterogeneous region: Identifying opportunities for a mixed feedstock stream. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 3, n. 1, p. 209-232, 2014.

CESPRINI, E; RESENTE, G; CAUSIN, V; URSO, T; CAVALLI, R; ZANETTI, M. Energy recovery of glued wood waste – A review. **Fuel**, v. 262, p. 116520, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116520>.

CHENG, X; XU, Y; LI, J; WANG, Z; MA, C. Heating Process Characteristics and Kinetics of Biomass at Different Oxygen Concentrations. **International Journal of Chemical Reactor Engineering**, v. 15, n. 4, p. 20170009, 2017.

CHEPELIEV, M; DIACHUK, O; PODOLETS, R; TRYPOLSKA, G. The role of bioenergy in Ukraine's climate mitigation policy by 2050. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 152, p. 111714, 2021.

CHISTYAKOVA, N; MIKHALCHUK, A; BOCHAROVA, Y; AKERMAN, E; TATARNIKOVA, V. Catching-up regional strategy as a tool to reduce spatial inequality. **Journal Of The Geographical Institute Jovan Cvijic**, Sasa, v. 73, n. 1, p. 33-48, 2023. National Library of Serbia. <http://dx.doi.org/10.2298/ijgi2301033c>.

CHUEKE, G. V; AMATUCCI, M. Métodos de sistematização de literatura em estudos científicos: bibliometria, meta-análise e revisão sistemática. **Revista Eletrônica de Negócios Internacionais**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 284-292, mar. 2022. Disponível em: <http://internext.espm.br>. Acesso em: 27 maio 2022.

COELHO JUNIOR, L. M; BURGOS, J. V. C; NUNES, A. M. M; JOAQUIM, M. S; SOUZA, A. N; BORGES, L. A. C. Regional concentration of native fuelwood production in Rio Grande do Norte, Brazil (1990-2017). **Ciência Rural**, v. 52, p. e20200357, 2022.

COELHO JUNIOR, L. M; BURGOS, M. C; SANTOS JÚNIOR, E. P. Concentração regional da produção de lenha da Paraíba. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1729-1740, 2018.

COELHO JUNIOR, L. M; BURGOS, M. D. C; SANTOS JÚNIOR, E. P; PINTO, P. A. L. A. Regional concentration of the gross production value of firewood in Paraíba. **Floresta e Ambiente**, v. 26, 2019.

COELHO JUNIOR, L. M; MARTINS, K. L. C; CARVALHO, M. Carbon Footprint Associated with Firewood Consumption in Northeast Brazil: an analysis by the IPCC 2013 GWP 100y criterion. **Waste And Biomass Valorization**. 2018a, v. 10, n. 10, p. 2985-2993. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-018-0282-1>

COELHO JUNIOR, L. M; MARTINS, K. L. C; PINTO, P. A. L. A; SILVA, M. V. B. SPATIAL DISTRIBUTION OF FIREWOOD PRODUCTION IN NORTHEASTERN BRAZIL (1994-2013). **Revista Árvore** [online]. 2018b, v. 42, n. 4 [Accessed 15 May 2022], e420402. Available from: <<https://doi.org/10.1590/1806-90882018000400002>>. Epub 08 Nov 2018. ISSN 1806-9088. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000400002>.

COELHO JUNIOR, L. M; SANTOS JÚNIOR, E. P; BORGES, L. A. C; SILVA, M. L. Especialização e localização do valor bruto da produção dos produtos madeireiros nativos nas microrregiões da Paraíba (1994 – 2017). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 192-204, 6 abr. 2020. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509837816>.

COLODETTE, J. L; GOMES, C. M; GOMES, F. J; CABRAL, C. P. The Brazilian wood biomass supply and utilization focusing on eucalypt. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, p. 1-8, 2014.

COMIC, D. R.; GLAVONJIC, B. D.; ANIKIC, N. D.; AVDIBEGOVIĆ, M. H. Comparative Analysis of Wood Fuels Consumption in Households in the Federation of Bosnia and Herzegovina. **South-east European forestry: SEEFOR**, v. 12, n. 1, p. 43-56, 2021.

DEKA, T. J; OSMAN, A. I; BARUAH, D. C; ROONEY, D. W. Assessment of bioenergy and syngas generation in India based on estimation of agricultural residues. **Energy Reports**, v. 9, p. 3771-3786, 2023.

DIAPOULI, E; KALOGRIDIS, A. C; MARKANTONAKI, C; VRATOLIS, S; FETFATZIS, P; COLOMBI, C; ELEFThERIADIS, K. Annual variability of black carbon concentrations originating from biomass and fossil fuel combustion for the suburban aerosol in Athens, Greece. **Atmosphere**, v. 8, n. 12, p. 234, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) 2021: Ano Base 2020, **Balanco Energético Nacional**, Rio de Janeiro, Brasil, 2021, p. 81.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) 2022: Ano Base 2021, **Balanco Energético Nacional**, Rio de Janeiro, Brasil, 2022, p. 36.

Energy Agency, 2021. Disponível em:

<https://www.irena.org/publications/2021/Jun/WorldEnergy-Transitions-Outlook>. Acesso em: 04 de janeiro de 2024.

ERRERA, M.R; DIAS, T.D.C; MAYA, D.M.Y; LORA, E.E.S. Global bioenergy potentials projections for 2050. **Biomassa e Bioenergia**, v. 170, 2023.

FERNANDES, H. B. F; FIGUEREDO, A. J; GARCIA, R; WOLF, P. S. A. Regional relations between phenotypic and economic diversity and their ecological predictors in Italy, Spain and Mexico. **Mankind Quarterly**, v. 57, n. 3, p. 355-374, 2017.

FERNANDES, S; PINTO, M. M. **Afinal o que são e como se calculam os quartis?**. 2013

FERRARI, G; PEZZUOLO, A; NIZAMI, A. S; MARINELLO, F. Bibliometric Analysis of Trends in Biomass for Bioenergy Research. **Energies**, v. 13, n. 14, p. 3714, 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. 2018. **The State of the World's Forests 2018** - Forest pathways to sustainable development. Rome.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. 2020. **Global Forest Resources Assessment 2020** – Key findings. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8753en>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. 2022. **The State of the World's Forests 2022**. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360en>

GALCHYNSKA, J; LARINA, Y; VARCHENKO, O; STRUK, N; GRYSHCHENKO, O. Perspectives of Ukrainian bioenergy development: estimation by means of cluster analysis and marketing approach. **Economic Annals-XXI**, v. 187, 2021.

GASPAR, J. M. New economic geography: history and debate. **The European Journal of the History of Economic Thought**, v. 28, n. 1, p. 46-82, 2021.

GHILARDI, A; GUERRERO, G; MASERA, O. Spatial analysis of residential fuelwood supply and demand patterns in Mexico using the WISDOM approach. **Biomass and Bioenergy**, v. 31, n. 7, p. 475-491, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002

GIODA, A. Características e procedência da lenha usada na cocção no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 33, p. 133-150, 2019.

GIODA, A.; TONIETTO, G. B.; LEON, A. P. Exposição ao uso da lenha para cocção no Brasil e sua relação com os agravos à saúde da população. **Ciencia & saude coletiva**, v. 24, p. 3079-3088, 2019.

HAGEN, G; HERRMANN, J; ZHANG, X; KOHLER, H; HARTMANN, I; MOOS, R. Application of a Robust Thermoelectric Gas Sensor in Firewood Combustion Exhausts. **Sensors**, v. 23, n. 6, p. 2930, 2023.

HAN X.; YU J.; XIA Y.; WANG, J. Spatiotemporal characteristics of carbon emissions in energy-enriched areas and the evolution of regional types. **Energy Reports**, v.7, p. 7224-7237, ISSN 2352-4847. (2021). <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.10.097>.

HARWOOD, J. H. Lenha e restos de madeiras como fonte de energia na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 11, p. 553-559, 1981.

HAWKINS, G. M.; DORAN-PETERSON, J. A strain of *Saccharomyces cerevisiae* evolved for fermentation of lignocellulosic biomass displays improved growth and fermentative ability in high solids concentrations and in the presence of inhibitory compounds. **Biotechnology for biofuels**, v. 4, p. 1-14, 2011.

HENDRICKS, A. M; WAGNER, J. E; VOLK, T. A; NEWMAN, D. H. Regional economic impacts of biomass district heating in rural New York. **Biomass and Bioenergy**, v. 88, p. 1-9, 2016.

HILDEBRAND, G.; MACE, A. The employment multiplier in an expanding industrial market: Los Angeles County, 1940-47. **Review of Economics and Statistics** 32: 241-49, 1950.

HORA, J. S. L.; FEITOSA, I. S.; ALBUQUERQUE, U. P.; RAMOS, M. A.; MEDEIROS, P. M. Drivers of species' use for fuelwood purposes: A case study in the Brazilian semiarid region. **Journal of Arid Environments**, v. 185, p. 104324, 2021.

HOSSEINI, S.; EBADI, H.; MAGHSOUDI, Y.; GARESTIER, F. Pol-InSAR for forest biomass estimation with the transformation of the polarization basis. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 47, n. 7, p. 1097-1109, 2019.

HUGHES, E. M.; MACKES, K. H. Developing a geographical information system database and spatial analysis for a forest biomass resource assessment. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 34, n. 3, p. 153-157, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias: 2017/** IBGE, Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.5, 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.10, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.12, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.15, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.17, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.31, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.36, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira: 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. IBGE, Rio de Janeiro, (2020).

International Energy Agency - IEA (2020). **World Energy Outlook 2020**. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020> > Acesso em: out. 2023.

International Energy Agency - IEA (2020). **World Energy Outlook 2023**. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> > Acesso em: dez. 2023.

International Energy Agency - IEA (2022), **Africa Energy Outlook 2022**. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2022>>. Acesso em: jan. 2024.

IQBAL, T; DONG, C. Q; LU, Q; ALI, Z; KHAN, I; HUSSAIN, Z.; ABBAS, A. Sketching Pakistan's energy dynamics: Prospects of biomass energy. **Journal of renewable and sustainable energy**, v. 10, n. 2, p. 023101, 2018.

IRENA. **World Energy Transitions Outlook: 1,5°C Pathway**. International Renewable

JACOBSON, R. A; KEEFE, R. F; SMITH, A. M. S; METLEN S; SAUL, D. A; NEWMAN, S. M; LANINGA, T. J; INMAN, D. Multi-spatial analysis of forest residue utilization for bioenergy. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 10, n. 5, p. 560-575, 2016.

JASINEVIČIUS, G; LINDNER, M; VERKERK, P. J; ALEINIKOVAS, M. Assessing impacts of wood utilisation scenarios for a Lithuanian bioeconomy: Impacts on carbon in forests and harvested wood products and on the socio-economic performance of the forest-based sector. **Forests**, v. 8, n. 4, p. 133, 2017.

JAYARATNE, E. R.; VERMA, T. S. The impact of biomass burning on the environmental aerosol concentration in Gaborone, Botswana. **Atmospheric Environment**, v. 35, n. 10, p. 1821-1828, 2001.

JINGURA, R; KAMUSOKO, R. Temporal and spatial analysis of electricity generation from biomass sources in sub-Saharan Africa. **Cogent Engineering**, v. 4, n. 1, p. 1296757, 2017.

JONG, J; DAHLBERG, A. Impact on species of conservation interest of forest harvesting for bioenergy purposes. **Forest Ecology and Management**, v. 383, p. 37-48, 2017.

KABRICK, J. M; DWYER, J. P; SHIFLEY, S. R; O'NEIL, B. S. Components and nutrient concentrations of small-diameter woody biomass for energy. **Northern Journal of Applied Forestry**, v. 30, n. 3, p. 137-142, 2013.

KANG, S; YU, J. An intensified reaction technology for high levulinic acid concentration from lignocellulosic biomass. **Biomass and Bioenergy**, v. 95, p. 214-220, 2016.

KIMEMIA, D., ANNEGARN, H. An urban biomass energy economy in Johannesburg, South Africa. **Energy For Sustainable Development**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 382-387, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2011.10.002>.

KĻAVIŅŠ, I; BĀRDULE, A; LIBIETE, Z; LAZDIŅA, D; LAZDIŅŠ, A. Impact of biomass harvesting on nitrogen concentration in the soil solution in hemiboreal woody ecosystems. **Silva Fennica**, v. 53, n. 4, 2019.

KOO, J; LALL, S. New economic geography: Real or hype?. **International regional science review**, v. 30, n. 1, p. 3-19, 2007.

KOPCZEWSKA, K. Cluster-based measures of regional concentration. Critical overview. **Spatial Statistics**, v. 27, p. 31-57, 2018.

- KRUGMAN, P. 1991a. "Increasing Returns and Economic Geography." **Journal of Political Economy** 99 (3): 483–499. doi:10.1086/261763.
- KRUGMAN, P. 1991b. **Geography and Trade**, Cambridge, MA, MIT Press.
- KUMAR, P; KRISHNA, A. P. Forest biomass estimation using multi-polarization SAR data coupled with optical data. **Curr. Sci**, v. 119, n. 8, p. 1316-1321, 2020.
- KUZNETSOV, G. V; SYRODOY, S. V; KOSTOREVA, A. A; KOSTOREVA, Z. A; PURIN, M. V; MALYSHEV, D. Y. Increasing the concentration of woody biomass in the furnace room according to the characteristics and conditions of ignition. **Journal of the Energy Institute**, v. 101, p. 265-276, 2022.
- LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 8 ed. São Paulo, SP: Atlas, 2017.
- LASCHI, A; MARCHI, E; GONZÁLEZ-GARCÍA, Z. Forest operations in coppice: Environmental assessment of two different logging methods. **Science of the Total Environment**, v. 562, p. 493-503, 2016.
- LI, C; ZHANG, L; GU, Q; GUO J; HUANG, Y. "Spatio-Temporal Differentiation Characteristics and Urbanization Factors of Urban Household Carbon Emissions in China" **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 2022; 19, no. 8: 4451. <https://doi.org/10.3390/ijerph19084451>.
- LI, K; YAN, W; HUANG, X; YU, L; ZHOU, H. In-situ measurement of combustion characteristics and potassium release concentration during torrefied biomass burning based on spontaneous emission spectroscopy. **Fuel**, v. 328, p. 125249, 2022.
- LI, Y; LI, J; ZHOU, Y. Dynamic evaluation, regional disparity, and spatial correlation of industrial ecologicalization level in China. **Environ Sci Pollut Res** (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18945-1>
- LINARD, Z. U. S. D. A; KHAN, A. S; LIMA, P. V. P. S. Perceptions of environmental impacts of ceramic industry in the municipality of state Crato Ceará, Brazil. **Economía, sociedad y territorio**, v. 15, n. 48, p. 397-423, 2015. NUNES, F. G. Análise exploratória espacial de indicadores de desenvolvimento socioambiental das regiões de planejamento do norte e nordeste goiano. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 7, n. 1, p. 237-259, abr. 2013.
- LINNENLUECKE, M. K; MARRONE, M; SINGH, A. K. Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. **Australian Journal of Management**, v. 45, n. 2, p. 175-194, 2020.
- LONG, L; NUCCI, A. The Hoover index of population concentration: A correction and update. **The Professional Geographer**, v. 49, n. 4, p. 431-440, 1997.
- LONGHI, C; MUSOLESI, A; BAUMONT, C. Modeling structural change in the European metropolitan areas during the process of economic integration. **Economic Modelling**, [S.L.], v. 37, p. 395-407, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2013.10.028>.

- LOPES, G.A; BRITO, J.O; MOURA, L.F. Uso energético de resíduos madeireiros na produção de cerâmicas no estado de São Paulo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 679-686, jun. 2016.
- LÓPEZ-RODRÍGUEZ, F; SANZ-CALCEDO, J. G; MORAL-GARCÍA, F. J. Spatial analysis of residual biomass and location of future storage centers in the southwest of Europe. **Energies**, v. 12, n. 10, p. 1978, 2019.
- LUCKOW, P; WISE, M. A; DOOLEY, J. J., & KIM, S. H. Large. -scale utilization of biomass energy and carbon dioxide capture and storage in the transport and electricity sectors under stringent CO₂ concentration limit scenarios. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 4, n. 5, p. 865-877, 2010.
- MAGARGAL, K; WILSON, K; CHEE, S; CAMPBELL, M. J; BAILEY, V; DENNISON, P. E; ANDEREGG, W.R.L; CACHELIN, A; BREWER, S; CODDING, B. F. The impacts of climate change, energy policy and traditional ecological practices on future firewood availability for Diné (Navajo) People. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 378, n. 1889, p. 20220394, 2023.
- MAO, G; HUANG, N; CHEN, L; WANG, H. Research on biomass energy and environment from the past to the future: A bibliometric analysis. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 1081-1090, 2018.
- MAO, G; ZOU, H; CHEN, G; DU, H; ZUO, J. Past, current and future of biomass energy research: A bibliometric analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, , v. 52, p. 1823-1833, 2015.
- MARTINEZ-GALARRAGA, J; PALUZIE, E; PONS, J; SILVESTRE, J; TIRADO, D. A. New economic geography and economic history: a survey of recent contributions through the lens of the spanish industrialization process. **Cliometrica**, v. 15, n. 3, p. 719-751, 2021 Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11698-020-00214-1>.
- MARTINS, K. D. L. D. C; MELQUÍADES, T. F; REZENDE, J. L. P. D; COELHO JUNIOR, L. M. (2018). Plant extractivism production disparity between Northeast Brazil and Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 25, 2018.
- MATTEI, T. F.; MATTEI, T. S. Métodos de Análise Regional: um estudo de localização e especialização para a Região Sul do Brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD**, v. 38, n. 133, pág. 227-243, 2017.
- MOHR, L; BURG, V; THEES, O; TRUTNEVYTE, E. Spatial hot spots and clusters of bioenergy combined with socio-economic analysis in Switzerland. **Renewable Energy**, v. 140, p. 840-851, 2019.
- MONASTERIO, L; FURTADO, B. A; CRUZ, B; RORDIGUES JÚNIOR, W. O Indicadores de análise regional e espacial. In: **ECONOMIA REGIONAL E URBANA: teorias e métodos com ênfase no Brasil**. Brasília: Ipea, 2011. p. 315-331.
- MONTIS, A; TROGU, D. Planning land-use change for biomass-fuelled energy-production plants: spatial analyses applied to the case of Sardinia, Italy. **Cartographica: The**

International Journal for Geographic Information and Geovisualization, v. 48, n. 1, p. 13-21, 2013.

NAKAMURA, R; NAKAZAWA, J; MATSUMOTO, A. Regional economic effects of CO₂ reduction activities with wood biomass: application and extension of a regional IO model. **Studies in Regional Science**, v. 42, n. 4, p. 799-817, 2013.

NAKAMURA, R; SHIBATA, H; MATSUMOTO, A. Price Formation and Regional Economic Effects of Wooden Biomass Energy. **Studies in Regional Science**, v. 43, n. 4, p. 429-449, 2013.

NAVICKAS, V; VOJTOVIC, S.; SVAZAS, M. Biomass clusters influence on business competitiveness. **Polish Journal of Management Studies**, v. 16, n. 2, p. 188-197, 2017.

NGUYEN, H. K; MOON, J; JO, S; PARK, S. J; SEO, M. W; RA, H. W; YOON, S; YOON, S; SONG, B; LEE, U; YANG, C. W; MUN, T; LEE, J. Oxy-combustion characteristics as a function of oxygen concentration and biomass co-firing ratio in a 0.1 MWth circulating fluidized bed combustion test-rig. **Energy**, v. 196, p. 117020, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117020>

NIGUSSIE, Z; TSUNEKAWA, A; HAREGEWEYN, N; TSUBO, M; ADGO, E; AYALEW, Z; ABELE, S. SMALL-Scale Woodlot Growers' Interest in Participating in Bioenergy Market in Rural Ethiopia. **Environmental management**, v. 68, n. 4, p. 553-565, 2021.

NJENGA, M; SEARS, R. R.; MENDUM, R. Sustainable woodfuel systems: a theory of change for sub-Saharan Africa. **Environmental Research Communications**, v. 5, n. 5, p. 051003, 2023.

PASA, D.L; FARIAS, J. A; HERMES, D. Utilização de biomassa florestal como componente de uma economia de baixo carbono na cultura do tabaco. **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 1, 2022.

PECH, G; DELGADO, C. Screening the most highly cited papers in longitudinal bibliometric studies and systematic literature reviews of a research field or journal: widespread used metrics vs a percentile citation-based approach. **Journal of Informetrics**, v. 15, n. 3, p. 101161, 2021.

PENG, L; SEARCHINGER, T. D; ZIONTS, J; WAITE, R. The carbon costs of global wood harvests. **Nature**, v. 620, n. 7972, p. 110-115, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06187-1>

PÉREZ, G; ISLAS-SAMPERIO, J. M; GRANDE-ACOSTA, G. K; MANZINI, F. Socioeconomic and Environmental Aspects of Traditional Firewood for Cooking on the Example of Rural and Peri-Urban Mexican Households. **Energies**, v. 15, n. 13, p. 4904, 2022.

PIACENTI, C; ALVES, L. R; LIMA, J. F. O Perfil Locacional do Emprego Setorial no Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 39, n.3, p. 482-502, jul./set. 2008.

POGGI, F; FIRMINO, A; AMADO, M. Municipal clusters of bioenergy: a contribution to forest fire prevention. **FINISTERRA-REVISTA PORTUGUESA DE GEOGRAFIA**, v. 53, n. 108, p. 39-52, 2018.

PROTÁSIO, T.P; SCATOLINO, M. V, ARAÚJO, A. C.C; OLIVEIRA, A. F.C.F; FIGUEIREDO, I. C. R; ASSIS, M.R; TRUGILHO, P. F. Assessing Proximate Composition, Extractive Concentration, and Lignin Quality to Determine Appropriate Parameters for Selection of Superior Eucalyptus Firewood. **BioEnergy**. Res. 12, 626–641 (2019).
<https://doi.org/10.1007/s12155-019-10004-x>

PRYSHLIAK, N; BONDARENKO, V; SOKOLIUK, S; BROVARETS, O. The formation of a bioenergy cluster for the production of biofuels from agricultural crops and waste: the experience of Ukraine. **Polityka Energetyczna-Energy Policy Journal**, p. 149-164-149-164, 2022.

RAZM, S; NÍQUEL, S; SAHEBI, H. Um modelo matemático multiobjetivo para redesenhar a rede global de fornecimento de bioenergia sustentável. **Computers & Chemical Engineering**, v. 128, p. 1-20, 2019.

REIS, J. V; SILVA, J.F; SILVA, E. R. A. C; FRANÇA, L. M.A; LEITÃO, M. M. V. B.R; GALVÍNCIO, J. D. Um estudo sobre os serviços ecossistêmicos no mundo baseado na análise bibliométrica da literatura internacional. **Revista Estudo e Debate em Gestão e Planejamento**, v. 29, n. 1, 2022.

RIBEIRO, N. S; ARMSTRONG, A. H; FISCHER, R;KIM, Y. S; SHUGART, H. H; BARROS, A. I.R; CHAUQUE, A; TEAR, T; ALLEN, R.W; BANDEIRA, R. R. Prediction of forest parameters and carbon accounting under different fire regimes in Miombo woodlands, Niassa Special Reserve, Northern Mozambique. **Forest Policy and Economics**, v. 133, p. 102625, 2021.

ROMAN, K; ROMAN, M; WOJCIESZAK-ZBIERSKA, M; ROMAN, M. Obtaining Forest Biomass for Energy Purposes as an Enterprise Development Factor in Rural Areas. **Applied Sciences**, v. 11, n. 12, p. 5753, 2021.

ROTELLA JUNIOR, P; ROCHA, L. C. S; MORIOKA, S. N; BOLIS, I; CHICCO, G; MAZZA, A; JANDA, K. Economic Analysis of the Investments in Battery Energy Storage Systems: review and current perspectives. **Energies**, [S.L.], v. 14, n. 9, p. 2503, 27 abr. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en14092503>.

ROUSSET, P; MACEDO, L; COMMANDRÉ, J. M; MOREIRA, A. Biomass torrefaction under different oxygen concentrations and its effect on the composition of the solid by-product. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 96, p. 86-91, 2012.

RUOSO, A. C; BITENCOURT, L. C; SUDATI, L. U; KLUNK, M. A; CAETANO, N. R. New parameters for the forest biomass waste ecofirewood manufacturing process optimization. **Tchê Química**, Porto Alegre, v. 16, n. 32, p. 560-569, jun. 2019.

- SAIRI, N.A M; BURHAN, B.; SAFIAN, E.E M. Identifying the spatial patterns of housing distribution in Johor Bahru through spatial autocorrelation. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2020. p. 012008.
- SÁNCHEZ-MOLINA, J. A; REINOSO, J. V; ACIÉN, F. G; RODRÍGUEZ, F; LÓPEZ, J. C. Development of a biomass-based system for nocturnal temperature and diurnal CO₂ concentration control in greenhouses. **Biomass and Bioenergy**, v. 67, p. 60-71, 2014.
- SANQUETTA, C. R; DALLA CORTE, A. P; PELISSARI, A. L; TOMÉ, M; MAAS, G. C. B; SANQUETTA, M. N. I. Dynamics of carbon and CO₂ removals by Brazilian forest plantations during 1990–2016. **Carbon balance and management**, v. 13, p. 1-12, 2018.
- SANTOS JÚNIOR, E. P; MARTINS, K. D. L. D. C; SILVA, M. V. B; MAURÍCIO, C. F. B; MENEZES, R. S. C; COELHO JUNIOR, L. M. Forest Bioelectricity in Brazil: Distribution and Spatial-Time Dependence. **IEEE Access**, v. 10, p. 132822-132835, 2022.
- SANTOS JÚNIOR, E. P; SILVA, M. V. B; SIMIONI, F. J; JUNIOR, P. R; MENEZES, R. S. C; JUNIOR, L. M. C. (2022). Location and concentration of the forest bioelectricity supply in Brazil: A space-time analysis. **Renewable Energy**, v. 199, p. 710-719, 2022.
- SANTOS, A. S; VAZQUEZ, G. H. Energia Fotovoltaica: Percepção de Estudantes e a Confecção de um Sistema de Iluminação Sustentável. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 55, 2020.
- SANTOS, M. Sociedade e espaço: a formação social como teoria e como método. **Boletim Paulista de geografia**, n. 54, p. 81_100-81_100, 1977.
- SCARLAT, N; DALLEMAND, J. F; MONFORTI-FERRARIO, F; NITA, V. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. **Environmental Development**, v. 15, p. 3-34, 2015.
- SCHETTINI, D. The brazilian regional industrial exports: spatial analysis of the first decade of the 2000s. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 21, p. 298-311, 2019.
- SCHMIDT, V. K; ZEN, A. C. Desenvolvimento regional e resiliência de cluster: uma proposta teórica. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 13, n. 1, p. 31-45, 2019.
- SEMELER, A. R; PINTO, A. L. Data librarianship as a field study. **Transinformação**, v. 32, p. e200034, 2020
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - (SFB). **Mapa das florestas do Brasil**, 2019.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - (SFB). **Sistema Nacional de Informações Florestais**, 2020. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/producao/889-painel-interativo-2a>, Acesso em: 21 de março de 2023.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF**. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://snif.florestal.gov.br/pt-br/florestas-e-recursos-florestais>>. Acesso em: junho de 2023.

SILVA, A.P.S; ANATER, M.J.N; AMARAL, D.H; NEIVA, A.S; COELHO, S.T. Forest residues consumption by households in large urban centers in brazil: an overview. In: EUROPEAN BIOMASS CONFERENCE AND EXHIBITION, 30., 2022, Florença. Proceedings [...] . Florença: **Eta-Florence Renewable Energies**, 2022. p. 317-321.

Disponível em:

<http://www.etaflorence.it/proceedings/?detail=19166&mode=topic&categories=0&items=%2D%2D&searchstring=FOREST%20RESIDUES%20CONSUMPTION%20BY%20HOUSEHOLDS%20IN%20LARGE%20URBAN%20CENTERS%20IN%20BRAZIL:%20AN%20OVERVIEW&limit=2022>. Acesso em: 21 jan. 2022.

SILVA, B. F; RODRIGUES, R. Z.S; HEISKANEN, J; ABERA, T. A;GASPARETTO, S. C; BIASE, A. G; BALLESTER, M.V.R; MOURA, Y.M; PIEDADE, S.M.S; SILVA, A.K.O; CAMARGO, P. B. Evaluating the temporal patterns of land use and precipitation under desertification in the semi-arid region of Brazil. **Ecological Informatics**, v. 77, p. 102192, 2023.

SIMIONI, F. J; BUSCHINELLI, C. C. D. A; MOREIRA, J. M. M. A. P; PASSOS, B. M; GIROTTO, S. B. F. T. Forest biomass chain of production: challenges of small-scale forest production in southern Brazil. **Journal Of Cleaner Production**, v. 174, p. 889-898, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.330>.

SIMIONI, F. J; MOREIRA, J. M. M. Á. P; FACHINELLO, A. L; BUSCHINELLI, C. C. A; MATSUURA, M. I. S. F. Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal da silvicultura no Brasil. **Ciência Florestal (01039954)**, v. 27, n. 2, 2017.

SIMIONI, F.J; JARENKOW, G.L; SILVA, K.F; BRUTTI, R.C; COELHO JUNIOR, L.M. Eco-efficiency in the transformation of forest biomass residues in electrical energy. **Clean Techn Environ Policy** 23, 144-1456 (2021):<https://doi.org/10.1007/s10098-021-02039-6>

SINGH, M; BABANNA, S. K; KUMAR, D; DWIVEDI, R. P; DEV, I; KUMAR, A; TEWARI, R.K; CHATURVEDI, O. P; DAGAR, J. C. Valuation of fuelwood from agroforestry systems: a methodological perspective. **Agroforestry Systems**, v. 95, n. 5, p. 977-993, 2021.

STOJILOVSKA, A., DOKUPILOVÁ, D., GOUVEIA, J. P., BAJOMI, A. Z., TIRADO-HERRERO, S., FELDMÁR, N; KYPRIANOU, I; FEENSTRA, M. As essential as bread: Fuelwood use as a cultural practice to cope with energy poverty in Europe. **Energy Research & Social Science**, v. 97, p. 102987, 2023.

SVAZAS, M; NAVICKAS, V; KRAJNAKOVA, E; NAKONIECZNY, J. Sustainable supply chain of the biomass cluster as a factor for preservation and enhancement of forests. **Journal of international studies**, v. 12, n. 2, p. 309-321, 2019.

ŚWIECHOWSKI, K; LISZEWSKI, M; BABELEWSKI, P; KOZIEL, J.A; BIAŁOWIEC, A. Fuel Properties of Torrefied Biomass from Pruning of Oxytree. **Data**, v. 4, n. 2, p. 55, 2019.

- SZÉP, T; TÓTH, G; LABELLE, M. C. Farewell to the European Union's east-west divide: Decoupling energy lifts the well-being of households, 2000-2018. **Regional Statistics**, v. 12, n. 3, p. 159-190, 2022.
- TEJADA, J; GRAMMER, P; KAPPLER A; THORWARTH H. Trace element concentrations in firewood and corresponding stove ashes. **Energy & Fuels**, v. 33, n. 3, p. 2236-2247, 2019.
- TOKLU, E. Biomass energy potential and utilization in Turkey. **Renewable Energy**, v 107, p. 235-244, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.008>.
- TRAVASSOS I.S; SOUZA B.I. Os negócios da lenha: indústria, desmatamento e desertificação no Cariri paraibano. **Revista Espaço e Tempo**. 2014;18(2):329-40.
- TRINK, T; SCHMID, C; SCHINKO, T; STEININGER, K. W; LOIBNEGGER, T; KETTNER, C; PACOTE A; TÖGLHOFER, C. Regional economic impacts of biomass based energy service use: A comparison across crops and technologies for East Styria, Austria. **Energy policy**, v. 38, n. 10, p. 5912-5926, 2010.
- VIJAY, V; SUBBARAO, P. M.V; CHANDRA, R. An evaluation on energy self-sufficiency model of a rural cluster through utilization of biomass residue resources: A case study in India. **Energy and Climate Change**, v. 2, p. 100036, 2021.
- VON THUNEN, J. H. 1826. **Der Isolierte Staat in Beziehung Auf Landwirtschaft Und Nationalökonomie**, Hamburg, Perthes (C.M. Wartenberg: Von Thunen € 's Isolated State, trans.) Oxford: Pergammon Press (1966).
- WANG, B; ZHENG, Q; SUN, A; BAO J; WU, D. Spatio-Temporal Patterns of CO2 Emissions and Influencing Factors in China Using ESDA and PLS-SEM. **Mathematics**. 2021; 9(21):2711. <https://doi.org/10.3390/math9212711>
- WANG, Y; ZHENG, Y. Spatial effects of carbon emission intensity and regional development in China. **Environ Sci Pollut Res** 28, 14131-14143 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11557-7>.
- WANG, H; HAN, H; ZHANG, J; ZHANG, D. Nighttime light data-based analysis of spatiotemporal patterns evolution and driving forces of economic development in China at prefecture level (1992–2020). **Transactions in GIS**, 27, 564–591, 2023.
- WATANABE, H; SHIMOMURA, K; OKAZAKI, K. Effect of high CO2 concentration on char formation through mineral reaction during biomass pyrolysis. **Proceedings of the Combustion Institute**, v. 34, n. 2, p. 2339-2345, 2013.
- WENG, Q. Local impacts of the post-Mao development strategy: the case of the Zhujiang Delta, southern China. **International Journal of Urban and Regional Research**, v. 22, n. 3, p. 425-442, 1998.
- YANKOVSKII, S. A; KUZNETSOV, G. V; GALAKTIONOVA, A. A. Experimental Substantiation of the Sulfur Oxide Concentration Reduction Mechanism in Coal and Biomass Particle Mixture Pyrolysis Products. **Thermal Engineering**, v. 69, n. 8, p. 608-614, 2022.

YUAN, R; PU, J; WU, D; WU, Q; HUHE, T; LEI, T; CHEN, Y. Research Priorities and Trends on Bioenergy: Insights from Bibliometric Analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 23, p. 15881, 2022.

ZHANG, L; FANG, C; ZHAO, R; ZHU, C; GUAN, J. Spatial–temporal evolution and driving force analysis of eco-quality in urban agglomerations in China. **Science of The Total Environment**, v. 866, p. 161465, 2023.

ZHANG, X; XIE, Y; JIAO, J; ZHU, W; GUO, Z; CAO, X; LIU, J; XI, G; WEI, W. How to accurately assess the spatial distribution of energy CO₂ emissions? Based on POI and NPP-VIIRS comparison. **Journal of Cleaner Production**, v. 402, p. 136656, 2023.

ZHANG, Y; YU, Q; LI, J. Bioenergy research under climate change: a bibliometric analysis from a country perspective. **Environ Sci Pollut Res** 28, 26427–26440 (2021). <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11356-021-12448-1>

ZHOU, L; WANG, S; KINDERMANN, G; YU, G; HUANG, M; MICKLER, R; KRAXNER F, SHI H; GONG, Y. Dinâmica do carbono na biomassa lenhosa do ecossistema florestal na China com práticas de manejo florestal sob futuras mudanças climáticas e aumento da concentração de CO₂. **Ciência Geográfica Chinesa**, 23(5), 519–536 (2013).doi:10.1007/s11769-013-0622-9.