



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS - GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA DIGITAL (PPGA
DIGITAL)

Regiane de Oliveira Alves

SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA NA EUROPA: O CRESCIMENTO DA
DENDROENERGIA NOS PRIMEIROS ANOS DO SÉCULO XXI

PALMAS – TO
2024

REGIANE DE OLIVEIRA ALVES

**SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA NA EUROPA: O CRESCIMENTO DA
DENDROENERGIA NOS PRIMEIROS ANOS DO SÉCULO XXI**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da Universidade Federal do Tocantins, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agroenergia.

Orientador: Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Júnior

PALMAS - TO
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

A474s Alves, Regiane de Oliveira.
 SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA NA EUROPA: O CRESCIMENTO
 DA DENDROENERGIA NOS PRIMEIROS ANOS DO SÉCULO XXI. / Regiane
 de Oliveira Alves. – Palmas, TO, 2024.
 44 f.

 Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins
 – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em
 Agroenergia, 2024.
 Orientador: Joel Carlos Zukowski Júnior

 1. Dendroenergia. 2. Segurança energética. 3. Biomassa. 4. Agroenergia. I.
 Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

REGIANE DE OLIVEIRA ALVES

**SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA NA EUROPA: O CRESCIMENTO DA
DENDROENERGIA NOS PRIMEIROS ANOS DO SÉCULO XXI**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da Universidade Federal do Tocantins, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agroenergia.

Orientador: Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Júnior

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Júnior
PPGA - UFT

Prof. Dr. Valci Ferreira Victor
UFT

Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana
Instituto Federal do Tocantins / IFTO

Palmas -TO, 15 de abril de 2024.

Dedico esta dissertação aos valorosos profissionais do Hospital Universitário, cuja dedicação incansável à saúde inspirou cada linha deste trabalho, e à Universidade Federal do Tocantins, pelo ambiente propício à formação acadêmica e científica. Agradeço profundamente à minha família pelo apoio inabalável e à comunidade científica pela troca de conhecimentos. Que este estudo contribua para o progresso da ciência e para o bem-estar daqueles que dela necessitam, com gratidão e respeito.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por seu constante sustento e por me guiar em busca do melhor para minha vida. À minha família, expresso minha profunda gratidão pelo apoio incondicional que sempre me proporcionaram. Ao meu filho Théo Alexandre, meu alicerce, cuja presença motiva todas as minhas buscas por melhorias.

Ao meu amigo e colega de trabalho, Dr. Renard, agradeço por sua constante motivação e inspiração, que foram fundamentais para minha entrada no programa de mestrado e para minha jornada no mundo científico. À Secretária do Programa, Geane, sou imensamente grata pelo apoio desde o processo de seleção até o término do curso. Suas palavras de estímulo e paciência foram verdadeiramente essenciais.

Aos meus professores, em especial ao meu orientador, Professor Dr. Joel, expresso minha sincera gratidão. Sua bondade e sabedoria transmitiram-me total confiança e fortaleceram minha autoconfiança na reta final dessa jornada acadêmica.

Aos meus colegas de turma, em particular à Lorena, agradeço por sua amizade incrível e pelo apoio constante durante todo o curso. À minha equipe de trabalho, manifesto minha gratidão por compreenderem minhas ausências e pela parceria diária.

À minha amiga Daianni, agradeço por celebrar comigo cada etapa desta jornada e por suas palavras de incentivo nos momentos mais desafiadores.

Foram inúmeros os obstáculos enfrentados, mas cada um deles se mostrou uma experiência valiosa em minha trajetória. Hoje, celebro esta conquista com a plenitude de saber o quanto é significativa para mim, representando não apenas um título, mas a realização pessoal que tanto almejei.

RESUMO

O presente trabalho explorou a importância da Dendroenergia na Europa como uma alternativa econômica, social e ambiental para a geração de energia, focalizando sua relevância no contexto da segurança energética. Os objetivos específicos incluíram a conceituação dos produtos da Dendroenergia, a análise das tecnologias disponíveis para sua obtenção e a apresentação do panorama nacional e internacional, com ênfase no fornecimento de energia para a Europa. Os resultados destacaram a complexidade da situação energética na União Europeia, evidenciando sua dependência de fontes externas, especialmente o gás natural russo. A análise ressaltou a importância da Dendroenergia como uma opção sustentável diante dos desafios enfrentados pela região. Considerações adicionais abordaram a relação energética entre a União Europeia e a Rússia, bem como as iniciativas de biomassa na Europa e no Brasil, indicando uma transição para fontes mais sustentáveis. Como sugestão para trabalhos futuros, propôs-se explorar estratégias específicas para reduzir a dependência europeia de fontes não renováveis, considerando políticas, tecnologias e modelos de negócios que promovam a adoção efetiva de fontes renováveis.

Palavras-chave: Dendroenergia, Segurança energética, Biomassa.

ABSTRACT

This study explored the significance of Dendroenergy in Europe as an economic, social, and environmental alternative for energy generation, with a focus on its relevance in the context of energy security. Specific objectives included conceptualizing Dendroenergy products, analyzing available technologies, and presenting the national and international panorama, emphasizing energy supply to Europe. The results underscored the complexity of the energy situation in the European Union, highlighting its dependence on external sources, particularly Russian natural gas. The analysis emphasized the importance of Dendroenergy as a sustainable option in addressing the challenges faced by the region. Additional considerations addressed the energy relationship between the European Union and Russia, as well as biomass initiatives in Europe and Brazil, indicating a transition to more sustainable sources. As a suggestion for future work, exploring specific strategies to reduce Europe's dependence on non-renewable sources, considering policies, technologies, and business models promoting effective adoption of renewable sources was proposed.

Keywords: Key Words: Dendroenergy, Energy security, Biomass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz energética da Europa	16
Figura 2 – Esquema de um gaseificador de madeira	19
Figura 3 – Produtos primários, processos e aplicações das termotecnologias	25
Figura 4 – Processo de conversão energética da biomassa florestal	26
Figura 5 – Etapas de construção da pesquisa	32
Figura 6 – Metas climáticas da União Europeia para 2030	33

SIGLAS E ABREVIACÕES

ABIB	Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa
GEE	Gases do Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IEA	Agência Internacional de Energia
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
OCDE	Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento
PAC	Política Agrícola Comum
PIB	Produto Interno Bruto
WSSD	World Summit on Sustainable Development

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa	13
1.2 Problematização	13
1.3 Objetivo Geral	13
1.3.1 Objetivos Específicos	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 Energias renováveis	15
2.2 Dendroenergia e suas características	17
2.3 Sustentabilidade ambiental e a dendroenergia	20
2.4 Tecnologias disponíveis para a obtenção de produtos da dendroenergia	23
2.5 Impactos socioeconômicos da dendroenergia	28
2.6 Panorama europeu da dendroenergia	30
3 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO	32
4 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS	34
5 CONSIDERAÇÕES GERAIS	39
6. REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a matriz energética, tanto em nível mundial como em nível nacional, é constituída principalmente por fontes de energia não renováveis, como o carvão, o gás natural e produtos derivados do petróleo, sendo estes considerados como os principais responsáveis pelo agravamento do efeito estufa. Devido aos riscos trazidos por essas fontes de energia e diante da crescente demanda energética mundial desencadeada pelo crescimento populacional e econômico verificados nos últimos anos, sobretudo após a Revolução industrial, verifica-se a necessidade de buscar por fontes de energia alternativas (DA SILVA *et al.*, 2020).

Nesse sentido, a crescente demanda por fontes alternativas de geração de energia menos agressivas têm apontado para a importância e o crescente uso de sistemas baseados em energia renovável, a destaque para os sistemas energético eólico, solar e de biomassa. É evidente, então, que atualmente a biomassa é considerada das principais fontes de energia com potencial para crescimento nos próximos anos, visto que tanto no mercado internacional como no mercado interno ela tem sido considerada como uma das principais alternativas diante da diversificação da matriz energética bem como da consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis e seus derivados (MORALES; MOURA, 2016).

A biomassa pode então ser definida como qualquer matéria orgânica, sendo ela de origem animal ou vegetal, que esteja propensa a ser transformada em energia. Ela pode ser obtida a partir de materiais não-lenhosos ou materiais lenhosos, como a madeira, assim como de resíduos orgânicos, e biofluidos, a exemplo dos óleos vegetais oriundos da soja e da mamona (DA SILVA *et al.*, 2020).

Nesse ínterim, fica evidente que a Dendroenergia consiste em uma relevante alternativa de fonte de energia renovável aos combustíveis fósseis, estando diretamente alinhada aos programas ambientais que visam a diminuição de emissões de dióxido de carbono na atmosfera. Logo, a dendroenergia é definida como a energia obtida a partir da biomassa da madeira, isto é, da combustão de fibras de madeira, possuindo como fim tanto a produção de energia elétrica como também o cozimento de alimentos, a locomoção, dentre outras formas de uso da energia (BARBOSA *et al.*, 2022).

Dessa forma, é importante que seja ressaltado o emprego da madeira como matéria-prima para obtenção de energia visto seu elevado potencial associado à sua abundância e, também, ampla utilização. Diferentes resíduos florestais, industriais, urbanos, e plantações, podem ser utilizados para a produção de variados produtos, a citar pelo carvão vegetal, licor negro e metanol, que quando aplicados técnicas de processamento e transformação, podem ser

utilizados para geração de energia elétrica e biocombustíveis. Nesse sentido, a crescente demanda por fontes alternativas de geração de energia menos agressivas têm apontado para a importância e o crescente uso de sistemas baseados em energia renovável, com destaque para os sistemas energéticos eólico, solar e de biomassa. É evidente, então, que atualmente a biomassa é considerada uma das principais fontes de energia com potencial para crescimento nos próximos anos, visto que tanto no mercado internacional como no mercado interno ela tem sido considerada como uma das principais alternativas diante da diversificação da matriz energética, bem como da consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis e seus derivados. (DA SILVA *et al.*, 2020).

Com isso, o conceito de dendroenergia contabiliza tanto as árvores provenientes de plantios florestais, sendo estas também conhecidas como florestas energéticas, como também as árvores oriundas de florestas nativas manejadas, ou seja, aquelas que são extraídas respeitando a capacidade de reposição natural da floresta, de forma a proporcionar maior visibilidade e aceitação aos sistemas energéticos criados a partir de biomassas. Para tanto, de forma estratégica, é feito o uso dos plantios que possuem baixa produtividade e grande reserva de biomassa, contribuindo assim para o sequestro de carbono, bem como a reabilitação e reflorestamento de terras degradadas, visando manejá-las para a geração de energia, constituindo um sistema integrado de sequestro de carbono (MORALES; MOURA, 2016).

Nesse diapasão, as florestas energéticas possuem grande potencial de crescimento, apresentando alta produtividade sob manejo sustentável, sendo essa fonte de biomassa cada vez mais atrativa na matriz energética. No que tange ao cenário brasileiro, o país apresenta grande vantagem em relação ao restante do mundo já que possui clima apropriado para o cultivo florestal, garantindo o desenvolvimento silvicultural com ótimas taxas de crescimento (VALVERDE, 2012).

Contudo, apesar da madeira ter sido utilizada como a principal fonte de energia primária desde o início da civilização, possuindo grande relevância para as comunidades como combustível para o aquecimento de alimentos, entre outros usos, passou a constituir-se como uma fonte secundária de energia com a evolução da humanidade (MORALES; MOURA, 2016).

Ao longo dos anos novas fontes de energia desenvolvidas pelo homem, sobretudo o petróleo, fez com que a madeira caísse em desuso, sendo considerada um indício de atraso tecnológico e econômico, reavivando sua utilização apenas na eclosão da crise do petróleo. Logo, durante a Segunda Guerra Mundial, com o aumento do preço do petróleo, o interesse por

termotecnologias foi ampliado, principalmente para uso no transporte e na satisfação das demandas de energia térmica nas indústrias e centrais elétricas de pequena e média capacidade (MORALES; MOURA, 2016). Ademais, além da interferência no preço do petróleo, o aumento da preocupação com as questões ambientais também fez com que a dendroenergia se desenvolvesse, uma vez que dispor de energia limpa se tornou uma estratégia ambiental, social e política para definir a composição da matriz energética de cada país. Logo, é possível notar que no começo do século XXI, a continuidade dos esforços para continuar a evolução da revolução Verde energética é desencadeada, sobretudo, pelo encarecimento do petróleo e pela imposição da agenda ambiental (BARBOSA *et al.*, 2022).

1.1 JUSTIFICATIVA

Diante dos estudos realizados nos últimos anos, as fontes de energia não renováveis, trazem algumas consequências, como por exemplo as mudanças climáticas, e diante do aumento da demanda por fontes energéticas que visem suprir o aumento populacional e os avanços tecnológicos e industriais, tem se debatido para a necessidade do desenvolvimento de fontes alternativas de energia sustentável, bem como os desafios para a sua produção. Logo, a segurança energética mundial tem ganhado espaço nas agendas políticas de todos os países, uma vez que o setor energético mundial tem sofrido às pressões relacionadas. Sobretudo, a produção de petróleo e ao acesso a gás natural em abundância e a preços acessíveis, gerando com isso especulação de preços no mercado e, conseqüentemente, crises energéticas e instabilidade em assegurar energia a todos (BARBOSA *et al.*, 2022).

Isto posto, este trabalho se justifica diante da necessidade em se ampliar o conhecimento a respeito do uso da Dendroenergia como uma importante alternativa de segurança energética. Isso é especialmente relevante em virtude das restrições impostas ao acesso ao gás natural russo, as quais têm suscitado uma busca por opções energéticas mais viáveis. A Dendroenergia se apresenta como uma possível solução, uma vez que demonstra potencial para otimizar a geração de energia, resultando em ganhos ambientais relevantes na mitigação das mudanças climáticas, ao fornecer uma fonte de energia mais limpa.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

Diante do exposto, e considerando que a participação da madeira na matriz energética depende de fatores como a disponibilidade de florestas, questões ambientais bem como sua competição econômica diante de outras fontes energéticas, indaga-se: Qual a importância da

dendroenergia para produção de energia na Europa, levando em consideração as sanções impostas ao gás natural da Rússia?

1.3 OBJETIVO GERAL

Analisar o crescimento da dendroenergia na Europa nos primeiros anos do século XXI.

1.3.1 Objetivos Específicos

- i). Conceituar e apresentar os produtos da Dendroenergia e suas características;
- ii). Ressaltar para as tecnologias disponíveis para a obtenção de produtos da dendroenergia, destacando para o seu funcionamento;
- iii). Apresentar o panorama nacional e internacional da utilização dos produtos da dendroenergia, em especial para o suprimento de energia de energia para a Europa.
- iv). Analisar o papel da dendroenergia como alternativa para o suprimento de energia na Europa, em resposta às restrições de acesso ao gás natural russo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

O século XX testemunhou uma significativa transição energética, consagrando o petróleo como a principal fonte de energia e impulsionando economias globalmente, com repercussões expressivas no setor de transporte, na indústria e no modo de vida moderno. No entanto, essa mudança não alterou a persistência dos combustíveis fósseis como a base do crescimento econômico desde a Primeira Revolução Industrial no século XVIII (SANTOS *et al.*, 2017). No início do século atual, as preocupações com o déficit de oferta, questões geopolíticas e críticas ao modelo de desenvolvimento vigente, aliadas às crescentes inquietações ambientais desde os anos 1960, evidenciaram a necessidade de repensar a dependência dos combustíveis fósseis, destacando a urgência de uma transição para fontes de energia renovável e maior eficiência energética, visando atingir metas climáticas a longo prazo estabelecidas pela Convenção do Clima (SILVA, 2018).

Nesse contexto, emerge a importância da energia no enfrentamento das emissões de gases do efeito estufa (GEE), responsáveis por dois terços das emissões globais (NUNES, 2022). A busca por soluções climáticas sustentáveis demanda uma transição global dos combustíveis fósseis para fontes renováveis de energia, acompanhada por avanços na eficiência energética. Uma revolução em direção à energia limpa é desejável e, mais crucialmente, viável para alcançar objetivos climáticos de longo prazo, alinhando-se com as metas estabelecidas nos acordos internacionais, como os delineados pela Convenção do Clima (SILVA, 2018).

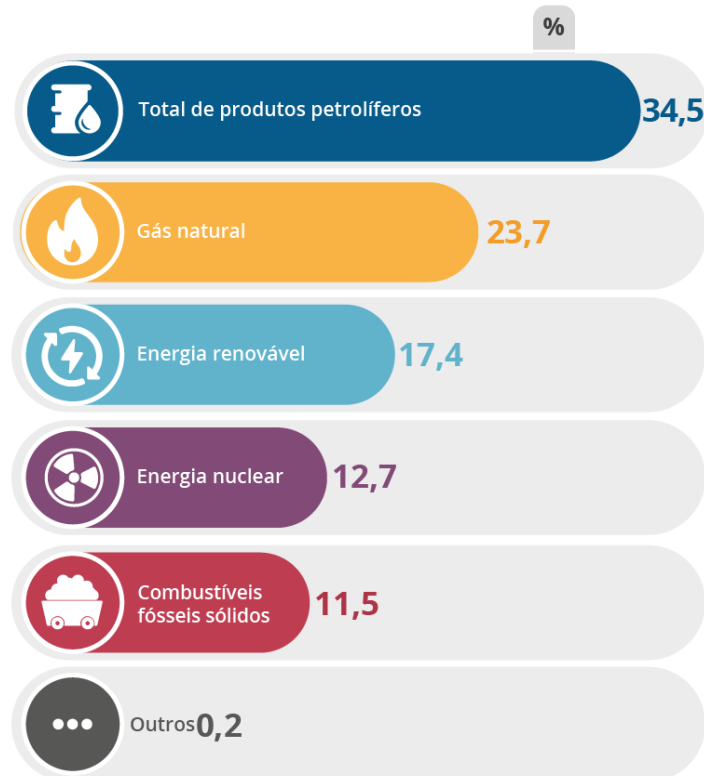
A projeção demográfica estima que a população mundial atingirá aproximadamente 9,7 bilhões até o ano de 2050 (SALOMÃO *et al.*, 2023). Diante desse aumento populacional, a demanda por energia também se elevará significativamente, requerendo um incremento próximo a 35% na oferta global em comparação aos níveis de consumo registrados em 2010 (DE ARAGÃO *et al.*, 2018). Para atender a essa crescente demanda, é imperativo implementar medidas que promovam uma maior diversificação nos recursos energéticos, além de fomentar o desenvolvimento de inovações tecnológicas mais eficientes e ambientalmente confiáveis. A transição para uma matriz energética global mais sustentável emerge como uma necessidade premente, destacando a importância da geração de energia limpa e renovável (DE ARAGÃO *et al.*, 2018).

Essa transformação na matriz energética global também desencadeará mudanças no cenário internacional das responsabilidades relacionadas às emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE). Projeções indicam que as emissões provenientes de países não membros da Organização

para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OCDE) tenderão a aumentar em quase 50%, impulsionadas pelo previsto crescimento econômico e, conseqüentemente, aumento da demanda por energia. Em contrapartida, países membros da OCDE estão alinhados para uma redução de 25% em suas emissões em relação aos níveis de 2010 (DE ARAGÃO *et al.*, 2018). Este declínio é associado ao comprometimento dessas nações em liderar políticas globais de redução de GEE e honrar os acordos estabelecidos na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, realizada em Paris, no ano de 2015 (DE ARAGÃO *et al.*, 2018).

A Figura 1 mostra a matriz energética da Europa, onde a maior oferta é vinda de produtos petrolíferos.

Figura 1 – Matriz energética da Europa



Fonte: European Environment Agency (2023)

A transição energética em direção a fontes limpas, alinhada com as metas estabelecidas pelo Acordo de Paris em 2016, representa um marco significativo na geopolítica da energia no século XXI. O compromisso internacional em reduzir as emissões de CO₂ e outros gases de efeito estufa busca mitigar os impactos das mudanças climáticas, sendo esta uma prioridade consensual. Nesse contexto, se torna incontestável que a transição para fontes de energia com baixas emissões de carbono já delinea dinâmicas de ganhadores e perdedores geopolíticos na

Era Pós-Covid, introduzindo uma nova dimensão na ordem mundial. O crescente tensionamento derivado da concentração geográfica de matérias-primas cruciais para as tecnologias emergentes tem intensificado disputas geopolíticas, sendo prenunciado que essas tensões tenderão a se acentuar ao longo do século XXI (PONTES, 2023). Este cenário evidencia de maneira notável a posição preeminente ocupada pela República Popular da China, que emergiu como protagonista central nesse contexto, influenciando significativamente as dinâmicas geopolíticas relacionadas à transição energética (CASTRO *et al.*, 2022).

2.2 DENDROENERGIA E SUAS CARACTERÍSTICAS

De acordo com o que preconiza Morales e Moura (2016) em seus estudos, a segurança energética mundial tem ganhado grande importância nas agendas políticas de países de todo o mundo, sobretudo devido aos diversos riscos nos quais os setores energéticos estão sujeitos diante, sobretudo, a alta pressão verificada na produção de petróleo, fato este responsável por gerar especulação de preços tanto no mercado internacional como também no mercado nacional, causando com isso crises energéticas e instabilidade em garantir energia para todos. Ademais, fica claro que a crescente preocupação com as mudanças climáticas, que se agravam com o passar do tempo, tem atraído consideravelmente o interesse cada vez maior pelas fontes renováveis de energia (MORALES; MOURA, 2016).

Dessa forma, se destaca a biomassa, que consiste em qualquer matéria orgânica, sendo ela de origem animal ou vegetal, que esteja propensa a ser transformada em energia. Ela pode ser obtida tanto por meio de materiais não lenhosos, como também por meio de materiais lenhosos, como a madeira, resíduos orgânicos e, também, biofluidos, como ocorre nos casos dos óleos vegetais obtidos principalmente a partir da soja e da mamona (SANTOS, 2016).

De acordo com Chaves (2021), os biocombustíveis provenientes da transformação da biomassa podem ser classificados em três principais grupos, sendo estes diretamente relacionados com a origem de sua matéria. O primeiro grupo consiste nos biocombustíveis provenientes de resíduos urbanos, o segundo pelos biocombustíveis de plantação não florestal ou agrocombustíveis e, o terceiro grupo, pelos biocombustíveis advindos da madeira ou dendrocombustíveis. (CHAVES, 2021).

Nesse sentido, vale dizer que a energia obtida por meio da biomassa é oriunda de materiais lenhosos, como a madeira, recebendo o nome de dendroenergia. Logo, é possível observar que a biomassa da madeira inclui todo o conjunto que compõe a árvore, isto é, as folhas, o tronco, a casca, os ramos, as raízes e, até mesmo, os resíduos resultantes da serragem. Assim, a madeira e os resíduos florestais, industriais e urbanos são considerados

energia primária, e, por sua vez, o carvão vegetal e a eletricidade, energia secundária (SANTOS, 2016).

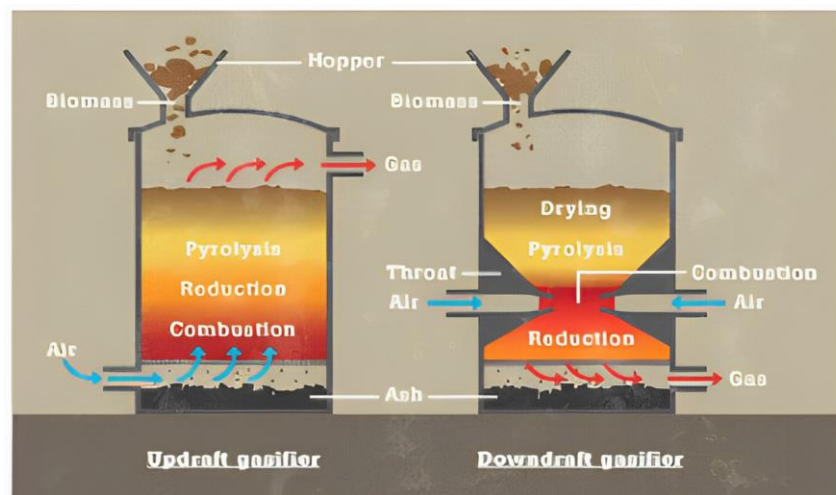
A produção de dendrocombustíveis no Brasil é marcada pela predominância das espécies acácia e eucalipto, as quais desempenham papéis distintos na matriz energética do país. A acácia, cultivada principalmente na região sul, apresenta uma densidade de madeira de 0,7 a 0,85 g/cm³, e seu poder calorífico varia entre 4.800 e 4.900 kcal/kg. O carvão derivado da acácia exibe uma densidade de aproximadamente 0,3-0,5 g/cm³ e um poder calorífico em torno de 6.600 kcal/kg. Por outro lado, o eucalipto, devido à sua vasta diversidade de espécies, é considerado uma opção destacada para a produção de energia, sendo Minas Gerais o estado brasileiro com maior extensão de hectares plantados. A madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), com densidade de 0,479 g/cm³ e poder calorífico de 4.641 kcal/kg, tem grande destaque na produção de energia, sendo o carvão resultante desse tipo de madeira alcançando um poder calorífico na faixa de 8.146 kcal/kg (SANTOS, 2016).

O conceito de dendrocombustível, também denominado biocombustível da madeira, se desdobra em duas categorias principais: o primeiro nível engloba todas as formas de dendrocombustíveis, enquanto o segundo nível se divide em combustíveis diretos da madeira, combustíveis indiretos da madeira e combustíveis de madeira recuperada. Os combustíveis diretos correspondem à madeira utilizada diretamente ou de maneira indireta como fonte de energia, enquanto os combustíveis indiretos são subprodutos resultantes do processamento florestal, podendo se apresentar em formas sólidas, líquidas ou gasosas (SANTOS, 2016). Por sua vez, os combustíveis de madeira recuperada envolvem materiais provenientes de atividades socioeconômicas que empregam combustíveis de origem florestal. Essa classificação proporciona uma compreensão abrangente das diferentes formas de utilização da dendroenergia, abrindo espaço para a avaliação de sua viabilidade em distintos contextos e aplicações (SANTOS, 2016).

A história e evolução dos gaseificadores de madeira são considerados elementos fundamentais na compreensão da diversidade de aplicações da dendroenergia. Originados durante a Segunda Guerra Mundial, os gaseificadores foram inicialmente utilizados como combustíveis para automóveis e tratores, empregando a destilação destrutiva de combustíveis sólidos, como a madeira. Atualmente, os gaseificadores incorporam tecnologias avançadas, resultando em uma mistura de hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono e nitrogênio, este último proveniente do ar utilizado no processo de combustão parcial. A eficiência desses gaseificadores modernos é notável, podendo fornecer até 85% da energia contida na madeira, evidenciando seu potencial significativo no panorama energético

sustentável (SILVEIRA, 2018). A compreensão aprofundada desses avanços tecnológicos é crucial para o desenvolvimento e implementação bem-sucedidos de sistemas de gaseificação de madeira, contribuindo para a diversificação e eficiência da matriz energética (SANTOS, 2016). A Figura 2 mostra o funcionamento de um gaseificador de corrente ascendente e descendente de madeira.

Figura 2 – Esquema de um gaseificador de madeira



Fonte: Santos (2016)

Logo, vale dizer que a dendroenergia consiste em uma importante alternativa econômica, social e ambiental disponível, uma vez que além de ser ambientalmente sustentável, também proporciona geração de trabalho e renda, principalmente na zona rural, bem como melhora a qualidade do solo e a ocupação de áreas consideradas como improdutivas. Dessa forma, a utilização da biomassa da madeira é sustentável quando o insumo é obtido por meio da realização do manejo florestal adequado ou mesmo a partir de resíduos florestais, industriais ou urbanos (SANTOS, 2016).

Isto posto, é evidente que as florestas energéticas se destacam diante da alta tecnologia empregada no manejo, na colheita florestal e no estudo de novos materiais genéticos, devendo esta tecnologia ser constantemente desenvolvida e aprimorada. Nesse ínterim, essa alta tecnologia possibilita a produção de madeira de maior qualidade a menores custos, visto que a implantação e o desenvolvimento da floresta são otimizados para que se possa assim aprimorar a sua conversão em energia (MORALES; MOURA, 2016).

As áreas de apoio consideradas como mais importantes são o melhoramento genético e o manejo florestal, de forma que ambas as áreas em conjunto são capazes de promover maior produtividade e manutenção da fitossanidade da floresta, além de otimizar a conversão da biomassa florestal em energia atuando, para tanto, nas propriedades da madeira, isto é, na sua umidade, densidade, homogeneidade, teor de lignina e extrativos (CAMINHA, 2020).

Nesse diapasão, a área de serviços ambientais também participa ativamente nas ações de manutenção do ecossistema, abrangendo com isso a gestão de bacias hidrográficas, sequestro de carbono, habitat de vida selvagem, e da oferta de matéria-prima renovável para bioenergia, bioprodutos e, também, produtos químicos (MORALES; MOURA, 2016).

A utilização da biomassa lenhosa para geração de energia emerge como uma alternativa sustentável e economicamente viável diante dos desafios contemporâneos relacionados à matriz energética. A biomassa lenhosa, proveniente de fontes renováveis como árvores e resíduos florestais, é apresentada como uma fonte de energia neutra em carbono, uma vez que as emissões liberadas durante sua queima são equivalentes às absorvidas durante o crescimento das plantas (MIRANDA; OLIVEIRA; RAMALHO, 2022). Esse ciclo fechado de carbono contribui para a redução da pegada de carbono e, conseqüentemente, atenua os impactos ambientais associados à geração de energia. Além disso, a biomassa lenhosa é considerada uma opção de transição que permite aproveitar a infraestrutura existente, como as instalações de produção de carvão, facilitando a adaptação gradual para fontes de energia mais limpas (RODRIGUES *et al.*, 2018).

Outro aspecto relevante é a versatilidade da biomassa lenhosa na geração de energia, podendo ser empregada em diferentes formas, como pellets, briquetes, ou até mesmo na forma de resíduos florestais (BATISTA *et al.*, 2023). Essa diversidade de formas de biomassa possibilita a adaptação às necessidades específicas de diferentes setores, como a indústria, a geração de eletricidade e até mesmo o aquecimento residencial. A disponibilidade abundante de biomassa lenhosa, aliada à sua capacidade de fornecer energia de maneira contínua, torna-a uma opção atrativa, contribuindo para a diversificação da matriz energética e a promoção de sistemas mais resilientes e sustentáveis (LADEIRA, 2019).

2.3 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E A DENDROENERGIA

O início do século XXI é marcado por um paradoxo notável, caracterizado pelo crescimento econômico e avanço tecnológico coexistindo com a persistente desigualdade social e desafios ambientais crescentes em diversas partes do mundo. O desenvolvimento de avanços

científico-tecnológicos ao longo dos anos proporcionou soluções para muitos dilemas humanos, no entanto, a implementação efetiva dessas melhorias ainda não alcançou a maioria das populações. Este fenômeno evidencia a inadequação da mera busca pelo crescimento econômico como garantia de desenvolvimento integral (ALMEIDA; PERSCH, 2023). A sociedade, apesar de manter uma crescente demanda por produtos e serviços, manifesta uma crescente valorização da proteção ambiental, pois compreende que a preservação do meio ambiente é intrinsecamente ligada à proteção da vida humana. Esse contexto desafia as organizações a repensarem suas práticas, destacando a necessidade de reconciliar a sustentabilidade dos sistemas econômico e natural, transformando a preservação ambiental em um tema estratégico essencial no âmbito organizacional (MARTINS; DA SILVA, 2014).

A globalização, ao interconectar os países desenvolvidos e em desenvolvimento, propiciou a disseminação dos estilos de vida, comportamentos e padrões de consumo característicos das nações mais industrializadas. Essa transmissão de hábitos de consumo, predominantemente observada nos países desenvolvidos, passou a exercer pressão sobre os recursos naturais nos países em desenvolvimento, comprometendo sua capacidade de sustentabilidade. O World Summit on Sustainable Development (WSSD), realizado em Johannesburgo em 2002, comumente referido como Rio +10, representou um marco importante nesse contexto (DE BRASIL, 2020). Através do Plano de Ação, o compromisso com os princípios de sustentabilidade delineados uma década antes no Rio de Janeiro foi reafirmado, destacando a necessidade de continuar a implementação dos projetos da Agenda 21. A dimensão social do desenvolvimento sustentável foi fortalecida, e a integração dos três pilares fundamentais - desenvolvimento econômico, progresso social e proteção ambiental - foi estabelecida como prioridade (DA COSTA *et al.*, 2019).

No âmbito do WSSD, temas cruciais foram abordados, desde questões relacionadas à paz e segurança até a promoção do respeito aos direitos fundamentais, diversidade cultural e eliminação da pobreza (LUCENA *et al.*, 2020). A mudança no modelo de produção e consumo insustentáveis, assim como a proteção e gestão eficiente dos recursos naturais, foram delineadas como medidas essenciais para alcançar a sustentabilidade nas dimensões social, econômica e ambiental. A explicitação de um comprometimento que beneficia a todos, com ênfase nos grupos mais vulneráveis da sociedade, incluindo mulheres, jovens, crianças e os marginalizados, se destacou como um imperativo para garantir que o desenvolvimento sustentável seja inclusivo e equitativo (DA COSTA *et al.*, 2019).

A dendroenergia, derivada da biomassa florestal, é destacada pelos benefícios ambientais que oferece em comparação com outras fontes de energia. Ao contrário de

combustíveis fósseis, a queima de biomassa florestal libera quantidades de dióxido de carbono (CO_2) equivalentes às que foram inicialmente absorvidas durante o crescimento das plantas, estabelecendo um ciclo de carbono fechado. Essa neutralidade de carbono torna a dendroenergia uma opção mais sustentável, contribuindo para a redução das emissões líquidas de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, mitigando o impacto das mudanças climáticas (TEZOTTO, 2018).

Além disso, a dendroenergia se destaca pela sua capacidade de promover a gestão sustentável das florestas, pois incentiva práticas de manejo responsáveis e a replantação de árvores, garantindo a renovação contínua da biomassa florestal (ELOY *et al.*, 2013). Em comparação com a extração não sustentável de combustíveis fósseis, a utilização de dendroenergia como fonte de energia contribui para a conservação da biodiversidade e preserva ecossistemas florestais. Esses aspectos conferem à dendroenergia uma posição favorável em relação a outras fontes energéticas, proporcionando benefícios ambientais significativos (COSTA; SILVA, 2022).

O estudo conduzido por Lima (2015) comparou a eficiência da dendroenergia em relação ao diesel, à energia elétrica e ao gás liquefeito de petróleo (GLP). Observou-se que a variação do poder calorífico superior e inferior entre as biomassas investigadas está diretamente associada à composição química específica de cada amostra. Por outro lado, a considerável variação no poder calorífico líquido é atribuída principalmente às significativas flutuações nos teores de umidade das amostras.

Ao analisar o consumo de biomassa para geração de energia térmica em comparação com diesel, GLP e energia elétrica, percebe-se que a biomassa demanda volumes substanciais do material para produzir a mesma quantidade de energia, o que representa um desafio em sua aplicação em pequenos comércios, residências ou indústrias de menor porte. Contudo, a utilização de pellets emerge como uma alternativa viável, pois são comercializados em embalagens seladas, minimizando a geração de sujeira e permitindo o armazenamento prolongado sem perda de qualidade (LIMA, 2015).

Os resultados obtidos indicam que o emprego da biomassa é economicamente, ambientalmente e socialmente viável. Em comparação com energia elétrica, diesel e GLP, a biomassa apresenta custos inferiores, demonstra menor impacto ambiental e contribui para a geração de riquezas nas regiões produtoras, estabelecendo uma cadeia de renda local. A análise revela que a pelletização representa uma melhoria nas propriedades energéticas da biomassa, elevando seu poder calorífico superior, inferior e líquido, além de padronizar as partículas em

termos de dimensões e umidade. Essa uniformidade facilita o manuseio, transporte e assegura ao consumidor uma carga energética mais consistente e eficiente (LIMA, 2015).

2.4 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA A OBTENÇÃO DE PRODUTOS DA DENDROENERGIA

É explícito a importância em entender o funcionamento das tecnologias de conversão da madeira, visto que a termotecnologia conta, na maioria das vezes, com o processo de queima, total ou parcial da biomassa, passando pelo processo de pirólise, isto é, pela quebra das ligações químicas dos compostos orgânicos de grandes cadeias, na presença de calor, em cadeias menores (MORALES; MOURA, 2016).

Desse modo, as tecnologias mais utilizadas na conversão da madeira em energia são a torrefação, a pirólise, a liquefação, a gaseificação e a combustão (GALVÃO, 2018). A torrefação consiste em um processo que busca produzir biocombustíveis sólidos com fluxos de biomassa florestal que apresentem alto grau de eficiência energética. Desse modo, conseguem produzir como produto alta qualidade energética, possuindo maior valor calórico do que a matéria prima original (COSTA; ALTOÉ, 2022).

Nessa perspectiva, os autores supracitados apontam que a torrefação consegue reduzir os custos de utilização da biomassa nas usinas de cogeração de energia, evitando com isso despesas de capital adicional de armazenamento e transporte e para o processamento de biomassa residual uma vez que possui alto teor de umidade e baixo poder calorífico. Logo, a torrefação é considerada como um tratamento térmico da biomassa que produz um combustível com melhores características energéticas (MIHARA, 2022).

Por sua vez, a pirólise consiste na decomposição termoquímica da biomassa diante da ausência de oxigênio, onde são produzidos sólidos, como carvão vegetal, óleos e gases pirolíticos, sendo que a fração destes produtos dependentes de aspectos como o tipo de biomassa, a temperatura de operação, bem como da taxa de aquecimento e do tempo de residência (COSTA; ALTOÉ, 2022).

O processo de pirólise mais comum, isto é, a carbonização, é definida como a transformação da biomassa em um produto intermediário que apresenta um valor energético maior, o carvão (BRITO *et al.*, 2020). Para o carvão, por exemplo, a densidade energética é de duas vezes maior que o material de origem, além de que sua queima pode atingir temperaturas mais elevadas. Como resultado desse processo, os produtos são obtidos de duas formas, de forma sólida e de forma gasosa (DE CASTRO, 2019).

Já a liquefação consiste na produção de líquidos a partir da biomassa oriunda de maneira indireta, ou seja, por meio da transformação catalítica do gás de síntese, ou de maneira direta,

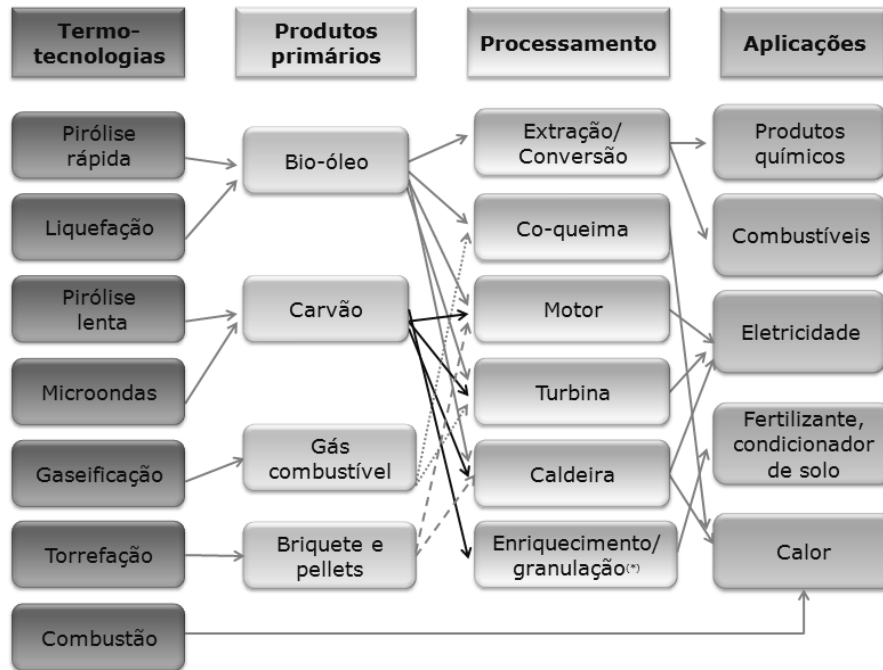
através pirólise rápida e hidrotérmica. De acordo com os estudos desenvolvidos por Costa e Altoé (2022), a gaseificação se refere às tecnologias nas quais as biomassas sólidas podem ser transformadas em reação envolvendo uma quantidade de oxigênio ou de ar inferiores ao mínimo necessário para que haja combustão. Assim, vale dizer que a conversão térmica da biomassa em gás combustível ocorre em altas temperaturas, de modo que o gás gerado no gaseificador, pode então ser queimado ou usado como combustível, tanto em motores como também em turbinas (COSTA; ALTOÉ, 2022).

Ainda sobre a gaseificação, Morales e Moura (2016) salientam que consiste em um processo ocorrido sob altas temperaturas, isto é, atingindo cerca de 700 a 1000° C, possuindo também longo tempo de resistência, buscando otimizar com isso a produção de gás combustível por meio da combustão parcial com o ar. Essa tecnologia é amplamente empregada na geração de energia pela queima de seu produto principal, o singás ($\text{CO} + \text{H}_2$), na produção de combustíveis líquidos e compostos químicos via Fischer-Tropsch, bem como na incineração de resíduos tóxicos, biológicos infectantes e na queima completa de gases poluentes (LAVORANTI *et al.*, 2021).

Por fim, a termo tecnologia de combustão consiste em um processo em que há a oxidação completa de combustível autossustentável, ou seja, uma vez que o calor irradiado das chamas atinge o combustível, este é decomposto em várias partículas menores, de modo que ao se combinarem com o comburente o queimam, irradiando, novamente, calor para o combustível, formando assim um ciclo constante (MORALES; MOURA, 2016).

Isto posto, a Figura 3 apresentada abaixo evidencia os produtos primários obtidos a partir destes diferentes processos, bem como as suas aplicações mais comuns.

Figura 3 – Produtos primários, processos e aplicações das termotecnologias



Fonte: Morales e Moura (2016).

De acordo com o que Vidal e Hora (2011) apontam em seus estudos, o processo é amplamente usado, principalmente em indústrias que possuem caldeira a vapor e, também, na produção de energia elétrica em termoelétricas, requerendo para tantos grandes volumes para que haja a geração contínua de energia.

Nesse sentido, vale afirmar que, apesar de atualmente o país contar com bons resultados no que se refere a conversão de biomassa em energia, se torna evidente a importância da pesquisa, o desenvolvimento e a inovação que possuem grande capacidade de potencializar ainda mais esses resultados, principalmente o investimento em material dendroenergético, a citar para os novos materiais genéticos, a secagem, a densificação, dentre outros (MORALES; MOURA, 2016).

O dendrocombustível pode ser classificado em dois níveis, isto é, sendo o primeiro nível responsável por englobar todos os tipos de dendrocombustíveis, enquanto o segundo nível seria, por sua vez, subdividido em outros três subníveis, sendo eles: combustíveis diretos provenientes da madeira, combustíveis indiretos provenientes da madeira e combustíveis de madeira recuperada. Os combustíveis diretos de madeira consistem em toda madeira utilizada diretamente ou indiretamente como combustível (SANTOS *et al.*, 2016).

Por sua vez, os combustíveis indiretos oriundos da madeira são considerados todos os subprodutos da exploração florestal, sendo estes resultantes de diferentes processamentos da madeira, podendo dessa forma serem sólidos, líquidos ou mesmo gasosos. Por fim, os combustíveis de madeira recuperada consistem em combustíveis provenientes de atividades socioeconômicas que utilizam para tantos combustíveis de origem florestal (SANTOS *et al.*, 2016).

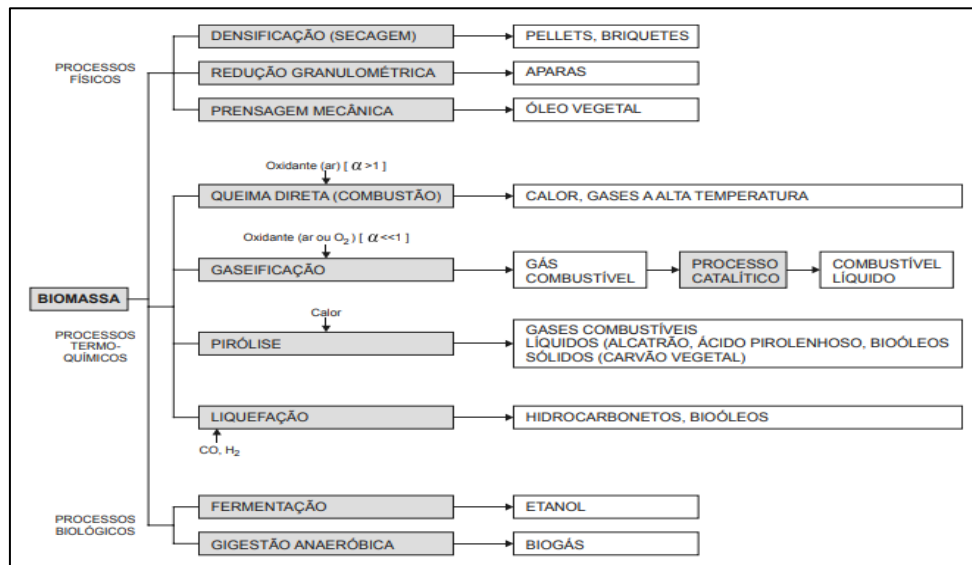
Conforme os estudos desenvolvidos por Schrhaus (2007), os processos de conversão energética da biomassa da madeira podem ser classificados em três grupos, isto é, em processos físicos, em processos termoquímicos e, por fim, em processos biológicos. No que tange aos processos físicos, são considerados a densificação, a redução granulométrica e a obtenção de óleos vegetais por meio da prensagem mecânica, não afetando assim a composição química original da matéria-prima.

Por sua vez, os processos termoquímicos se caracterizam principalmente pela presença de temperaturas elevadas que incluem, como visto, a combustão direta, a gaseificação, a pirólise e a liquefação, sendo tais processos os considerados mais comuns em relação aos sistemas dendroenergéticos, devido principalmente ao seu baixo teor de umidade (DA SILVA, 2021).

Ademais, em relação aos processos de conversão biológica, sublinha-se para a fermentação alcoólica e para a digestão anaeróbia, que se desenvolvem normalmente na presença de elevada umidade e perante temperaturas consideradas próximas à temperatura ambiente (SCHRHAUS, 2007).

Conforme exposto, a Figura 4 exibida abaixo apresenta um esquema dos principais processos da dendroenergia, evidenciando os reagentes e os produtos principais, podendo estes serem combustíveis intermediários ou mesmo energia para uso final.

Figura 4 – Processo de conversão energética da biomassa florestal



Fonte: Schrhaus (2007).

O *pellet* de madeira consiste em um biocombustível granulado, o qual é produzido a partir de biomassa vegetal, sendo esta florestal, industrial e agroindustrial, devendo ser moída e compactada em alta pressão, possuindo com isso alto poder calorífico e boa resistência mecânica (PEREIRA, 2017).

Logo, o *pellet* pode então ser considerado como um biocombustível granulado à base de biomassa vegetal moída e compactada em alta pressão, capaz de provocar a transformação dos componentes lignocelulósicos perante o efeito do calor gerado diante da fricção na passagem pelos furos da matriz, o que resulta dessa forma em um produto adensado de alto poder calorífico e, também, boa resistência mecânica (PEREIRA, 2017).

Conforme os estudos desenvolvidos por Dias Júnior (2013), a briquetagem é considerada como uma das principais alternativas tecnológicas atuais para melhorar o aproveitamento dos resíduos de biomassa, consistindo então em um processo de trituração e compactação que faz o uso de elevadas pressões para que se possa transformar os referidos resíduos em blocos que são denominados briquetes, de modo que estes possuem melhor potencial de geração de calor quando comparados aos resíduos *in natura* (DIAS JÚNIOR, 2013).

A densificação dos resíduos por meio da briquetagem viabiliza a valorização de uma série de resíduos, uma vez que é capaz de promover a sua homogeneização no que se refere a umidade, granulometria e densidade. A briquetagem não é utilizada apenas para resíduos

vegetais, sendo também empregada para compactar ou aglomerar minérios, bem como restos de metais e produtos químicos variados (DIAS JÚNIOR, 2013).

A utilização de briquetes está diretamente relacionada à preservação ambiental, de modo que possibilita dar um destino aos resíduos e ainda evita o uso de lenha e de carvão vegetal. Vale dizer que a utilização dos briquetes produzidos pelo aproveitamento de resíduos de biomassa é capaz de reduzir significativamente a poluição ambiental, colaborando para tanto com a sustentabilidade energética (DIAS JÚNIOR, 2013).

O biogás consiste na obtenção do metano juntamente com o dióxido de carbono por meio da decomposição de materiais como, por exemplo, resíduos, alimentos, esgoto e esterco em digestores de biomassa (GRANDO, 2021). O biogás consiste em uma mistura de gases produzida pela decomposição biológica da matéria orgânica na ausência de oxigênio. Vale dizer que, normalmente, consiste em uma mistura gasosa composta principalmente de gás metano e gás carbônico, com pequenas quantidades de gás sulfídrico e umidade (PEREIRA, 2017).

Dentre os produtos energéticos, o destaque está na produção de etanol, que pode ser dividida em etanol de primeira e etanol de segunda geração. O processo tecnológico realizado a partir do caldo resultante da moagem da cana-de-açúcar resulta em etanol denominado de primeira geração. Por sua vez, o processo de produção de etanol a partir da biomassa residual da cana de açúcar, tanto da palha como também do bagaço, resulta no etanol de segunda geração (CARPIO, 2019).

O carvão consiste em um combustível sólido comum, cuja sua composição varia de acordo com o local no qual o mesmo é extraído (PEREIRA, 2017). A sua composição, no que se refere aos cálculos de combustão, é normalmente dada pela análise imediata, sendo que esta é capaz de fornecer a composição em termos das quantidades relativas dos elementos químicos, como carbono, enxofre, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio. Assim, possuindo uma forma rochosa e de coloração negra, o carvão é considerado o combustível fóssil mais abundante na natureza (PEREIRA, 2017).

2.5 IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DA DENDROENERGIA

A dendroenergia emerge como uma alternativa crucial do ponto de vista econômico, social e ambiental, por conta de sua sustentabilidade ambiental, contribuições para geração de emprego e renda no meio rural, melhorias na qualidade do solo e ocupação de áreas previamente consideradas improdutivas. A viabilidade ambiental da biomassa de madeira está atrelada à sua obtenção por meio de práticas de manejo florestal adequado ou a partir de resíduos florestais,

industriais e urbanos, contrastando com a obtenção proveniente de desmatamentos em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento (REIS, 2019). A consideração criteriosa de todas as emissões de gases do efeito estufa, incluindo as rotas de conversão utilizadas, representa um fator crítico para a sustentabilidade do emprego da biomassa na geração de energia (SANTOS *et al.*, 2016).

Nos últimos anos, tem havido um aumento significativo no uso da lenha como fonte de energia no setor energético europeu. Esse aumento é atribuído, principalmente, à crescente preocupação global com as mudanças climáticas e à contínua busca por fontes de energia que sejam ecologicamente sustentáveis (SOUZA, 2023).

Os países membros da União Europeia (UE) utilizaram aproximadamente 23,1 milhões de toneladas de pellets de madeira no ano de 2021. Projeções indicam que o consumo desses pellets deverá exceder a marca de 24 milhões de toneladas, e é previsto um aumento ainda maior no futuro, devido aos preços elevados dos combustíveis fósseis e à crescente demanda por parte de residências individuais (UNECE, 2022).

A região da UNECE desempenha um papel de destaque no comércio mundial de energia proveniente da madeira, atuando tanto como exportadora (principalmente os Estados Unidos e Canadá) quanto como importadora (especialmente o Reino Unido). Em 2021, aproximadamente 10,6 milhões de toneladas de pellets de madeira processada, seca, moída e uniformemente comprimida foram negociadas internacionalmente. É notável que o Reino Unido, como o maior importador global de pellets de madeira, também seja o lar do maior consumidor individual, uma usina de energia que importou e utilizou 7,8 milhões de toneladas desses pellets no mesmo ano (UNECE, 2022).

Atualmente, as florestas na União Europeia registram um incremento líquido de pouco mais de 800 milhões de metros cúbicos anualmente. Apenas 500 milhões de metros cúbicos são colhidos, primariamente para uso industrial na construção, fabricação de móveis e produção de papel (WAGENINGEN, 2022).

Entretanto, ainda há uma considerável proporção de lenha não destinada ao comércio na colheita anual, totalizando cerca de 120 milhões de metros cúbicos. Esta lenha não comercial é frequentemente produzida por cerca de 20 milhões de proprietários de pequenas florestas privadas, que a utilizam em suas próprias propriedades, para consumo próprio ou para o mercado local. Esses proprietários, detentores de aproximadamente 40% das florestas

européias, contribuem significativamente para a produção de lenha não comercial (WAGENINGEN, 2022).

O mercado comercial de lenha, que inclui pellets e lascas para mercados regionais, ainda é relativamente modesto, com cerca de 20 milhões de toneladas de pellets produzidas. Em conjunto, esses dois produtos representam aproximadamente 60% de toda a energia renovável na Europa, contribuindo com cerca de 7% do consumo total de energia, abrangendo todos os setores, inclusive transporte e indústria (WAGENINGEN, 2022).

2.6 PANORAMA EUROPEU DA DENDROENERGIA

A matriz energética mundial é, ainda, constituída principalmente por fontes de energia não renováveis, como o carvão, produtos derivados do petróleo e gás natural, sendo estes preocupantes, uma vez que são considerados como os maiores agravadores do efeito estufa, devido às elevadas emissões de dióxido de carbono. Isto posto, diante da crescente demanda energética mundial, impulsionada principalmente pelo crescimento populacional e econômico, é verificável que os recursos energéticos derivados do petróleo tendem à escassez, o que demonstra cada vez mais a necessidade da busca por fontes de energia alternativas (SANTOS, 2016).

Na União Europeia, onde a bioenergia representa a maior fatia das fontes renováveis, respondendo por quase 60% do consumo total, cerca de 70% desse fornecimento provém da biomassa florestal (embora haja divergências entre os países quanto a essa promoção). Além disso, instituições como a Agência Internacional de Energia defendem a busca pela neutralidade da bioenergia através do uso da biomassa florestal. As principais organizações empresariais do setor na Europa e na América do Norte também endossam essa perspectiva, incluindo a Bioenergy Europe e outras entidades com forte presença industrial e, frequentemente, altamente subsidiadas (MANRIQUE, 2022).

Na Europa, a bioenergia derivada da biomassa florestal é a única fonte de energia sujeita a critérios obrigatórios de sustentabilidade por lei, uma distinção não encontrada em outras formas de energia. Isso reflete o foco das discussões sobre o tema em princípios fundamentais. Portanto, resolver as lacunas legais relacionadas à neutralidade de carbono pode ser vital no futuro, considerando que a neutralidade e a renovabilidade da bioenergia florestal não podem

ser pressupostas automaticamente, sendo necessária uma avaliação específica para cada tipo de biomassa e cadeia energética (MANRIQUE, 2022).

A Europa tem um projeto, o Dendromass4Europe (D4EU), que tem como missão estabelecer sistemas sustentáveis de cultivo de dendromassa de curto período de rotação (SRC) em terras marginais, que alimentam cadeias de valor bio-baseadas e criam oportunidades adicionais de emprego em áreas rurais. Para destacar o papel e contribuição dos materiais bio-baseados de cultivo de dendromassa de curto período de rotação (SRC) para uma bioeconomia europeia, é importante estudar os potenciais impactos ambientais da produção de dendromassa e dos quatro novos materiais bio-baseados (NBBM). O Dendromass4Europe segue a abordagem de acompanhar as atividades de P&D e o estabelecimento da cadeia de valor com avaliações ambientais e socioeconômicas, bem como análises de ecoeficiência (MEYER et al., 2021).

3 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

Uma pesquisa pode ser classificada, conforme Gil (2002), quanto a sua abordagem, aos seus objetivos e aos procedimentos técnicos utilizados para sua execução. Quanto à abordagem, essa pesquisa é considerada qualitativa, uma vez que busca apontar para a importância da Dendroenergia para geração de energia na Europa, sobretudo na geração de energia como combustíveis e como energia térmica, cruzando levantamentos bibliográficos de pesquisadores entendedores sobre o tema.

A pesquisa qualitativa permite avaliar, através de observações e constatações, o problema a ser estudado por meio dos dados coletados. Assim, é possível descrevê-la como sendo,

A pesquisa qualitativa envolve o estudo do uso e a coleta de uma variedade de materiais empíricos – estudo de casos; experiência pessoal; introspecção; história de vida; entrevista; artefatos; textos e produções culturais; textos observacionais/registros de campo; históricos interativos e visuais – que descrevem momentos significativos rotineiros e problemáticos na vida dos indivíduos. Portanto, os pesquisadores dessa área utilizam uma ampla variedade de práticas interpretativas interligadas na esperança de sempre conseguirem compreender melhor o assunto que está ao seu alcance (DENZIN; LINCOLN *et al.* 2006, p. 17).

Em relação aos seus objetivos, essa pesquisa é considerada descritiva, uma vez que, sob a ótica de Gil (2008), consiste em descrever as características, fenômenos ou experiências de uma população utilizando de técnicas padronizadas. No que concerne à fonte de dados utilizada para a confecção deste trabalho, a fonte é secundária, buscando trabalhos acadêmicos, artigos científicos, livros, entre outros.

Quanto ao procedimento técnico, esta pesquisa utilizou-se da Revisão Bibliográfica que, de acordo com Gil (1991, p.48) “é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”. Para isso, a pesquisa se baseou em estudos de autores, tais como Morales e Moura (2016), Santos (2016), Chaves (2021), Costa e Altoé (2022), dentre outros.

Ademais, para Bunge (1980), uma pesquisa ainda pode ser classificada quanto a sua natureza, isto é, básica ou aplicada. Essa pesquisa possui abordagem básica, uma vez que não busca apresentar soluções para determinado problema, mas sim gerar conhecimento útil para a ciência, isto é, busca aumentar o conhecimento sobre determinado assunto (NASCIMENTO, 2016).

Buscando proporcionar um processo de construção confiável e livre de erros, foi desenvolvido um protocolo conforme mostrado na Figura 5, descrito como um documento através do qual devem ser seguidos os passos, objetivos, abordagem metodológica, tipo de análise, entre outros.

Figura 5 – Etapas de construção da pesquisa



Fonte: elaboração própria

4 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

A busca por diversos países por um nível adequado de segurança energética tem se demonstrado de suma importância, trazendo grande inquietação para a União Europeia nos últimos anos, uma vez que se encontra em posição de vulnerabilidade enquanto relevante importadora de recursos energéticos e significativamente dependente da Rússia, sobretudo em relação ao gás natural (FAIAS, 2022).

Com a invasão da Ucrânia pela Rússia, tornou-se manifesta a imperatividade para a União Europeia investir em fontes renováveis de energia como um meio de salvaguardar sua segurança energética. Este evento suscita uma reflexão ampla sobre as dinâmicas energéticas entre as nações, evidenciando a sensibilidade do sistema energético diante de acontecimentos de urgência, como conflitos armados. A transição para fontes alternativas de energia, particularmente diante da indisponibilidade futura do gás natural, é identificada como uma questão premente (FAIAS, 2022).

Entretanto, é importante reconhecer que a mudança de paradigma energético não pode ser realizada de maneira imediata. O processo de transição energética demanda tempo significativo, desde o seu planejamento até a implementação efetiva das novas fontes de energia. Portanto, é necessário adotar uma abordagem estratégica e gradual para alcançar a independência energética almejada, conscientes de que os resultados só serão percebidos após um período substancial de implementação (Figura 6).

Figura 6 – Metas climáticas da União Europeia para 2030

Os objetivos mínimos atuais para 2030 em matéria de emissões de gases com efeito de estufa, de energias renováveis e de eficiência energética a nível da UE são os seguintes:



Fonte: European Environment Agency (2023)

Logo, a segurança energética é considerada como a necessidade em se assegurar o fornecimento de modo seguro e com confiança, a preços considerados acessíveis, sem assim prejudicar os valores e objetivos nacionais do país em questão. Isto posto, no que se refere a

realidade energética europeia, ressalta-se que o total de energia disponível na União Europeia é proveniente, ainda que de forma minoritária, da existência de produção doméstica de energia e, substancialmente, da energia importada de outros países (DUCKENFIELD, 2022).

Conforme publicado pela Comissão Europeia, em 2019, apenas 39% da energia consumida pela União Europeia foi produzida internamente, de forma que 61% eram oriundas de importações, sendo assim extremamente vulnerável diante das disrupções do abastecimento energético (DUCKENFIELD, 2022).

De acordo com o que aponta os dados apresentados pela Comissão Europeia (2021), para o ano de 2019, apesar de existir um *mix* energético diversificado nos países pertencentes à União Europeia, os recursos energéticos disponíveis naquele mesmo ano eram provenientes principalmente de produtos petrolíferos, incluindo assim o petróleo bruto (36%), o gás natural (36%), a energia nuclear (13%) e os combustíveis fósseis sólidos (13%) (FAIAS, 2022).

A utilização de recursos energéticos varia significativamente conforme cada país, sendo que alguns possuem acesso mais significativo a energias renováveis, enquanto outros possuem, por sua vez, maior acessibilidade a recursos fósseis (FAIAS, 2022).

Nesse sentido, se observa que a comercialização de energia tem sido nas últimas décadas uma importante condutora das relações econômicas estabelecidas entre a União Europeia e a Rússia (FAIAS, 2022). Desse modo, é possível afirmar que a União Europeia é substancialmente dependente da energia russa para que consiga satisfazer as suas demandas, principalmente no que concerne ao gás natural, enquanto a Rússia, por outro lado, depende das receitas recebidas pelo comércio de energia com os mercados europeus, principalmente devido a exportação de petróleo e gás, constituindo dessa forma uma parte de suma relevância no orçamento do Estado russo (DUCKENFIELD, 2022).

Logo, de acordo com Austvik (2016), a curto prazo, a Rússia aparenta deter maior poder de negociação devido, principalmente, ao seu monopólio de produção de gás natural, além de estar sujeita a menores custos do que a União Europeia, de modo geral, caso o país opte por provocar uma disrupção do fornecimento do gás natural à Europa, cessando com isso a dinâmica energética.

Vale dizer que, apesar das atividades relacionadas ao processo de extração, produção e exportação terem um peso determinante para a economia russa, a importância econômica do gás é mais utilizada, fato este capaz de garantir uma margem de manobra para que a Rússia possa estrategicamente interromper o seu fornecimento, temporariamente, de modo a alcançar determinados objetivos econômicos e/ou político (AUSTVIK, 2016).

Ao se considerar a médio prazo, esta relação pode se tornar assimétrica em benefício da União Europeia, caso ela aposte em uma significativa redução da importação do gás natural russo, optando assim por seguir rotas de abastecimento alternativas de modo a incluir em seu *mix* energético outros recursos (AUSTVIK, 2016).

É evidente que a dependência da União Europeia ao gás russo faz com que, por diversas vezes, os seus países membros estejam sujeitos a ambições russas. Diante de crises, a destaque para a anexação da Crimeia, no ano de 2014, e para a invasão russa à Ucrânia, no ano de 2022, dificulta para a União Europeia aplicar sanções substanciais ao setor energético russo devido, sobretudo, a atual imperatividade da energia russa para a continuidade das atividades econômicas europeias (FAIAS, 2022).

Com isso, a Rússia tem utilizado o gás natural como um importante arma energética, realizando isso por meio de elevadas receitas decorrentes da exportação deste gás. Diante de enormes endividamentos e déficits orçamentários, as receitas decorrentes da energia são cruciais para o orçamento do Estado russo, tanto pelo fortalecimento econômico da Rússia, como também devido a consolidação da sua independência energética perante as relações internacionais (FAIAS, 2022).

De acordo com os estudos desenvolvidos por Duckenfield (2022), as economias europeias ainda permanecem vulneráveis, mesmo que estejam caminhando sistematicamente para desvencilhar sua infraestrutura energética da dependência das importações oriundas da Rússia, de modo que a União Europeia limitou suas importações do petróleo russo. Assim, conforme com o autor supracitado, a Europa é mais vulnerável à redução ou ao embargo do gás natural, de modo que recentemente o Fundo Monetário Internacional advertiu que, diante um corte parcial ou total do gás natural russo, as economias europeias poderiam com isso entrar em recessão.

É válido destacar que a Rússia perderia uma parcela considerável de sua receita com o corte do gás natural, uma vez que os gasodutos de gás natural criam uma dependência mútua já que são fixos tanto para os consumidores europeus como também para o fornecedor. Apesar dos custos envolvidos, cabe salientar que os europeus possuem maior flexibilidade para encontrar fontes alternativas de energia (DUCKENFIELD, 2022).

De acordo com Pereira (2017), a biomassa sólida, composta, oriunda em grande parte de produtos à base de madeira, como a lenha, *pellets* e briquetes, dentre outros, tem aumentado sua participação na matriz energética da Europa, assim como outras fontes renováveis de energia.

Isto posto, no que tange ao biodiesel, sua produção mundial ocorreu, inicialmente, na década de 1990, motivado pelas políticas do mercado agrícola, de modo que o motor para este desenvolvimento foi a reforma da Política Agrícola Comum (PAC), realizada pela União Europeia (SANTOS, 2018). Contudo, vale dizer que a pandemia do COVID-19, que eclodiu no final de 2019, afetou negativamente o crescimento do mercado de biocombustíveis da Europa. Dessa forma, com a substancial queda no preço do etanol houve uma redução da margem de lucro dos produtores de etanol no ano de 2020 (VIDAL, 2022).

Além disso, as reduções nas atividades econômicas devido ao distanciamento social também afetaram a demanda por combustíveis provenientes do metanol, butanol e gasolina nos países europeus. Logo, fatores como a instabilidade do petróleo, as preocupações com o meio ambiente, a busca pela segurança energética e por sustentabilidade e a diversidade atual de combustíveis disponíveis tem impulsionado o mercado de biocombustíveis na região (VIDAL, 2022).

De acordo com o estudo publicado pela Agência Internacional de Energia (IEA), uma organização internacional sediada na cidade de Paris (França) e ligada a OCDE para tratar de assuntos energéticos, mostrou que em 2020 a União Europeia respondia naquele ano por cerca de 32% da produção mundial de biodiesel, possuindo como principais matérias-primas os óleos vegetais e o óleo de cozinha residual (VIDAL, 2022).

Desse modo, vale dizer que os principais produtores de biocombustíveis da União Europeia são a Alemanha, a França, a Espanha e a Holanda. Foi possível ainda observar que os países da União Europeia possuem menor representatividade no que tange a produção global de etanol, respondendo assim por cerca de 5% (VIDAL, 2022).

Posteriormente, em 2021, com a flexibilização das medidas de isolamento social, foi possível perceber um aumento no consumo de combustíveis na Europa, sendo que o uso de biodiesel cresceu em 3% em relação ao ano de 2020 e o etanol em 5,5% (VIDAL, 2022).

Por sua vez, no que tange ao Brasil, a biomassa florestal é considerada como uma das principais vertentes abordadas no Plano Nacional de Agroenergia e, também, nas Diretrizes de Política de Agroenergia, sendo que ambos os documentos são elaborados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que trabalha em parceria com outras instituições (PEREIRA, 2017).

As prioridades para essa vertente consistem no desenvolvimento de novas tecnologias para o aproveitamento de resíduos florestais, bem como no melhoramento genético da produção silvícola, na otimização da tecnologia de transformação da biomassa em produtos que possuem maior valor agregado e maior eficiência energética (PEREIRA, 2017).

Ademais, de acordo com o autor, uma alternativa considerada viável para o aproveitamento dos resíduos lenhosos e florestais no Brasil consiste no desenvolvimento de Centros de Recolhimento e Processamento de Biomassa Residual, uma vez que estes podem contribuir para a redução da dependência energética nacional de combustíveis fósseis, além de contribuir para possibilitar o cumprimento das metas estabelecidas para a redução da dependência em energias não renováveis e, também, para o aumento da eficiência energética (PEREIRA, 2017).

Assim, por meio da publicação da Lei 11.097, em 13 de janeiro de 2005, o biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira. Assim, esta lei fixou, para todo o território nacional, um percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao diesel vendido ao consumidor final, além de estabelecer o seu modo de utilização e o regime tributário a ser utilizado por região de plantio, por oleaginosa e por categoria de produtor, isto é, agronegócio ou agricultura familiar (VIDAL, 2022).

De acordo com a Rystad Energy, o GNL pode não preencher adequadamente a lacuna deixada pelo gás russo durante períodos de frio intenso. Eles projetam que os preços do gás dentro da União Europeia poderiam disparar para \$3500 por 1000 metros cúbicos, quase 300% mais altos do que no ano passado. A Rystad Energy enfatiza o imenso desafio de substituir a maior parte do gás russo, alertando para implicações profundas para as populações, economias e o papel do gás na transição energética da região. Eles sugerem que alcançar uma demanda equilibrada por GNL pode se tornar viável apenas após 2024 (NANDANA; RUNTURAMBI; DARYANTO, 2023).

Conseqüentemente, se o fornecimento de gás russo for interrompido, os preços do GNL na Europa provavelmente permanecerão elevados por um período prolongado, levando a aumentos significativos nos preços de outras fontes de energia, mesmo aquelas consideradas acessíveis. Por exemplo, a Letônia, um importante exportador de diversos produtos de madeira, já viu os preços da lenha dispararem de 120 para 200 euros este ano, apesar da temporada de aquecimento estar distante. A alta dependência da Europa nas importações da Rússia e da Ucrânia a torna mais suscetível do que outras grandes economias a interrupções no fornecimento. Interrupções contínuas e custos crescentes de transporte nas cadeias de abastecimento globais complicam ainda mais os desafios (NANDANA; RUNTURAMBI; DARYANTO, 2023).

A exploração da dendroenergia como alternativa ao gás natural russo oferece uma série de benefícios ambientais, econômicos e sociais. Em primeiro lugar, a biomassa lenhosa é considerada uma fonte de energia renovável, uma vez que as florestas podem ser replantadas e

regeneradas. Isso contrasta com o gás natural, que é uma fonte de energia não renovável e sujeita a flutuações de preço e disponibilidade devido a fatores geopolíticos. Além disso, o uso de dendroenergia pode contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa, quando comparado a combustíveis fósseis convencionais, como o carvão e o petróleo (STOJILOVSKA et al., 2023).

Vasylyshyn et al. (2022) avaliaram o potencial energético da biomassa lenhosa das florestas da Ucrânia. Em termos de energia primária, seu valor ultrapassa 27 EJ. Ao mesmo tempo, para facilitar a garantia das necessidades energéticas da sociedade, foi estabelecido o potencial anual da biomassa lenhosa, que pode ser utilizada como fonte de energia renovável. Para este fim, um potencial anual de 93,9 PJ está disponível na Ucrânia. Mais de 50% do potencial de biomassa lenhosa é representado por lenha proveniente da madeira do tronco, e quase 25% são resíduos de exploração florestal. Quase 60% do potencial está concentrado nas regiões noroeste da Ucrânia, em particular em áreas florestadas como os Cárpatos Ucrânicos e Polissia. Atualmente, para garantir o uso racional do potencial energético da biomassa lenhosa, programas-alvo regionais para substituição de recursos energéticos fósseis por biocombustíveis lenhosos são extremamente importantes.

No entanto, a transição para uma maior dependência da dendroenergia como fonte de energia não está isenta de desafios e considerações. Em primeiro lugar, é necessário garantir a sustentabilidade da exploração florestal, para evitar impactos negativos sobre os ecossistemas florestais e a biodiversidade. Além disso, é crucial investir em tecnologias eficientes e limpas de conversão de biomassa em energia, a fim de maximizar os benefícios ambientais e minimizar as emissões poluentes (PILIPENKO, 2023).

Para maximizar os benefícios da dendroenergia como alternativa ao gás natural russo, são necessários investimentos significativos em pesquisa, desenvolvimento e infraestrutura, bem como o estabelecimento de estratégias de gestão integrada dos recursos florestais. Além disso, é fundamental garantir a coordenação entre os diferentes setores envolvidos, incluindo governos, indústria, comunidades locais e grupos ambientais, para garantir que o desenvolvimento da dendroenergia ocorra de forma sustentável e equitativa. Em última análise, a utilização da dendroenergia como parte integrante da estratégia energética da Europa representa não apenas uma resposta às atuais restrições de acesso ao gás natural russo, mas também uma oportunidade para promover a resiliência energética, a segurança e a sustentabilidade a longo prazo (STOJILOVSKA et al., 2023).

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Através da investigação minuciosa das dinâmicas energéticas regionais, das tendências de dependência de fontes externas e dos desafios enfrentados pela região, foi possível destacar a relevância crítica da diversificação das fontes de energia e da promoção de soluções renováveis.

Ao conceituar e apresentar os produtos da Dendroenergia e suas características, observamos que esta forma de energia renovável se baseia na utilização da biomassa florestal, como lenha, pellets e lascas, para a geração de calor e eletricidade. Esses produtos são altamente versáteis e podem ser obtidos a partir de resíduos florestais, industriais e urbanos, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental. Sua característica principal reside na sua origem renovável e na sua capacidade de ser produzido de forma sustentável, através de práticas adequadas de manejo florestal.

Ressaltando as tecnologias disponíveis para a obtenção de produtos da dendroenergia e destacando seu funcionamento, é importante mencionar os processos de produção de pellets e lascas, que envolvem a compactação e trituração da biomassa florestal. Além disso, existem tecnologias avançadas de cogeração que permitem o aproveitamento máximo da energia gerada a partir da queima de biomassa, garantindo assim uma eficiência energética ainda maior. Essas tecnologias são fundamentais para maximizar o aproveitamento da biomassa florestal e garantir sua viabilidade como fonte de energia sustentável.

Ao apresentar o panorama nacional e internacional da utilização dos produtos da dendroenergia, especialmente para o suprimento de energia na Europa, observamos um aumento significativo no uso de pellets de madeira como fonte de energia na região. Países como os Estados Unidos, Canadá e o Reino Unido desempenham papéis importantes tanto como exportadores quanto importadores de energia proveniente da biomassa florestal. Esse cenário reflete a crescente demanda por fontes de energia sustentáveis, impulsionada por preocupações ambientais e pela busca por alternativas aos combustíveis fósseis.

A Europa, em particular, está buscando diversificar suas fontes de energia e reduzir sua dependência de importações, tornando a dendroenergia uma opção cada vez mais atraente para o suprimento de energia na região. Os resultados obtidos destacaram a complexidade da situação energética na União Europeia, onde a dependência de importações de energia, em particular do gás natural russo, expõe a região a desafios significativos. A análise revelou que a Europa enfrenta riscos consideráveis, como evidenciado pela dependência de fontes externas para 61% de sua energia em 2019, e a vulnerabilidade a disrupções no fornecimento energético.

No contexto de uma busca por segurança energética, destaca-se a importância da Dendroenergia como uma opção sustentável. As considerações sobre a relação energética entre a União Europeia e a Rússia ressaltam a necessidade de diversificação das fontes de energia, com ênfase em alternativas renováveis, como a biomassa sólida. A ênfase na produção de biodiesel na Europa e as iniciativas no Brasil indicam um movimento em direção a fontes mais sustentáveis, alinhado com as crescentes preocupações ambientais.

Além disso, é fundamental considerar o potencial das nações europeias para a mudança de sua matriz energética, mesmo diante dos desafios evidenciados neste trabalho. A Europa possui recursos e capacidades significativas para efetuar uma transição para fontes de energia mais sustentáveis e renováveis. Com o desenvolvimento e implementação adequados de políticas, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, bem como a colaboração entre os países membros, é possível avançar em direção a um futuro energético mais resiliente e alinhado com os objetivos de sustentabilidade. Portanto, é imperativo que os líderes europeus reconheçam a urgência dessa transição e ajam de maneira decisiva para garantir que ela ocorra de forma eficaz e dentro de um prazo adequado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Genicelia Rangel De; PERSCH, Hudson Carlos Avancini. **O desmatamento e as mudanças climáticas no estado de Rondônia: a busca pelo desenvolvimento sustentável.** 2023.
- AUSTVIK, O. The Energy Union and security-of-gas supply. **Energy Policy** 96, 372-382. 2016.
- BARBOSA, Caio Magalhães *et al.* DENDROENERGIA: Uma Revisão Bibliográfica. **Open Science Research VIII**, v. 8, n. 1, p. 134-139, 2022.
- BATISTA, Jorge Luiz *et al.* **Projeto conceitual de uma planta de produção para fabricação de briquetes/pelets a partir de resíduos de carvão vegetal e serragem/maravalha de madeira.** 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- BRITO, João Mauro Alves Lima *et al.* **Carbonização sustentável para valorização do bambu bambusa tuldoide: produção de carvão ativado e caracterização do bio-óleo recuperado.** 2020.
- BUNGE, M. **Epistemologia: curso de especialização.** São Paulo: Universidade de São Paulo: 1980.
- CAMINHA, Victor Aurelio Gomes. **Caracterização e controle de umidade da biomassa florestal em empresa agroindustrial do sudoeste do Paraná.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- CARPIO, Roymel Rodríguez. **Otimização do processo de produção de etanol de segunda geração em um sistema integrado à primeira geração.** 2019.
- CASTRO, Fernando Ferreira de *et al.* **Transição energética e dependência por minerais críticos: aspectos geopolíticos, socioambientais e a perspectiva brasileira.** 2022.
- CHAVES, Camila Fonseca. **Análise termoenergética de um gaseificador de blocos de madeira para operação de motores de combustão interna de pequena potência.** 2021. Tese de Doutorado.
- COSTA, Bruno Perpétuo; ALTOÉ, Leandra. Uma análise da biomassa como fonte de energia elétrica e investigação de suas tecnologias. **Bioenergia em Revista: Diálogos (ISSN: 2236-9171)**, v. 12, n. 2, p. 100-117, 2022.
- COSTA, Isabela Cristina Silva da; SILVA, Manoela Torres da. **Índices técnicos sobre quantificação de resíduos pós exploratórios de planos de manejo florestal, em três municípios do estado do Pará.** 2022.
- DA COSTA, Luana Folchini *et al.* Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável no contexto das Ciências Sociais: do Século XVIII ao Século XXI. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233)**, v. 9, n. 2, p. 6-19, 2019.
- DA SILVA, Marina Raisa Vilela *et al.* Energia Eólica, Solar e de Biomassa: Uso, perspectiva e desafios. **Biodiversidade**, v. 19, n. 4, 2020.
- DA SILVA, Vera Fonseca. **Processos termoquímicos de conversão de biomassa.** 2021. Tese de Doutorado. Instituto Politecnico de Braganca (Portugal).

- DE ARAGÃO PEDROSO, Luiz Lúcio *et al.* Demandas atuais e futuras da biomassa e da energia renovável no Brasil e no mundo/Current and future demands for biomass and renewable energy in Brazil and worldwide. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 5, p. 1980-1996, 2018.
- DE BRASIL CAMARGO, Ana Luiza. **Desenvolvimento sustentável: dimensões e desafios**. Papyrus Editora, 2020.
- DE CASTRO, DOUGLAS ALBERTO ROCHA. Estudo do processo de pirólise de sementes de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) para produção de biocombustíveis. **PRODENA (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia)**. Belém, PARÁ, 2019.
- DENZIN, N. K. e LINCOLN, Y. S. Introdução: a disciplina e a prática da pesquisa qualitativa. In: DENZIN, N. K. e LINCOLN, Y. S. (Orgs.). **O planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p. 15-41
- DIAS JÚNIOR, Ananias Francisco. **Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais**. 2013.
- DUCKENFIELD, Mark. Sanções Econômicas. **MILITARY REVIEW**, 2022.
- ELOY, Elder *et al.* **Quantificação e caracterização da biomassa florestal em plantios de curta rotação**. 2013.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2014: ano base 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2014.
- FAIAS, Inês Alexandre Costa. **A Alemanha como porta de entrada para o gás natural russo na União Europeia**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa (Portugal).
- GALVÃO, Luiz Gustavo Oliveira. **Efeitos da acústica e da temperatura no processo de torrefação e nas propriedades energéticas da madeira de *Eucalyptus grandis***. 2018.
- GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. Atlas. 2000.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- GRANDO, Rafaela Lora. **Mapeamento tecnológico da cadeia produtiva do biogás**. 2021. Tese de Doutorado. Thesis (Management doctor degree), University of Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, Brazil.
- LADEIRA, Lucas Abrantes. **Potencial energético da madeira e pellets de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell**. 2019.
- LAVORANTI, Osmir José *et al.* **Florestas energéticas**. 2021.
- LIMA, Anderson Luiz Pires de. **Análise comparativa do uso de biomassa florestal como fonte de energia**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- LUCENA, Iamara Feitosa Furtado *et al.* **Cooperação Internacional e extrafiscalidade tributária: ferramentas para implementação da agenda 2030 e de políticas de energia limpa no Estado do Ceará/Brasil**. 2020.

MANRIQUE, Silvina Magdalena. **Actualidad, perspectivas y reflexiones en el uso de la biomasa con fines energéticos.** 2022.

MARTINS, Maria Rosa Selvati; DA SILVA, José Geraldo Ferreira. O sistema de gestão ambiental baseado na ISO 14000: Importância do instrumento no caminho da sustentabilidade ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 1460-1466, 2014.

MEYER, Matthias et al. Sustainable biomass value chains based on poplar plantations in european rural areas. **BioEnergy Research**, v. 14, n. 2, p. 355-356, 2021.

MIHARA, Larissa Miyuki Gomes. **Efeito da torrefação nos componentes e nas propriedades das espécies de madeira amazônica para fins energéticos.** 2022.

MIRANDA, Pedro Paulo Costa; OLIVEIRA, Grazielle Alves de; RAMALHO, Daniella Aparecida Silva. **TIPOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS.** 2022

MORALES, Marina Moura; MOURA, José Claudio. Dendroenergia e Termo Tecnologias. **Energia na Agricultura**, v. 31, n. 2, p. 138-147, 2016.

NANDANA, Yassar; RUNTURAMBI, Arthur Josias Simon; DARYANTO, Eko. The Turmoil of Europe's Economy, Food and Energy Stability: Will It Ends Western Sanctions on Russia?. **International Journal of Social Service and Research**, v. 3, n. 5, p. 1290-1302, 2023.

NUNES, Matheus Simões. O Brasil no Acordo de Paris sobre Mudanças Climáticas um estudo sobre o cumprimento das metas de redução de emissões no setor de energia. **Editora Licuri**, p. 1-47, 2022.

PEREIRA, Arthur Santos. **Uso de pellets de madeira para fins energéticos: pesquisa de mercado.** 2017.

PILIPENKO, A. V. Gasification of wood fuel as a factor of sustainable development of bioenergy. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing, 2023.

PONTES, Natália Pereira. **A União Europeia e as mudanças climáticas: os principais desafios políticos, geográficos e socioeconômicos para a transição energética do Bloco.** 2023.

REIS NETO, Afonso Feitosa. **Redução do desmatamento e da degradação florestal (REDD): bases legais para implementação na Caatinga de Pernambuco.** 2019.

RODRIGUES, Felipe da Silva *et al.* **Produção de biomassa lenhosa de 31 materiais de Eucalyptus spp. em Prata, MG.** 2018.

SALOMÃO, Gustavo Lúcio *et al.* **AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CRESCIMENTO POPULACIONAL EM UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. UNIFUNEC CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR**, v. 12, n. 14, p. 1-18, 2023.

SANTOS, Edlane Mirele Rodrigues dos. **O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel: uma análise do impacto na agricultura familiar.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SANTOS, Romário de Jesus et al. **Energia para integrar e desintegrar: o petróleo no contexto da integração energética Sul-Americana (2000-2015).** 2017.

- SANTOS *et al.*, Fernando Almeida. DENDROENERGIA: UMA REVISÃO. **Nucleus**, v. 13, n. 1, 2016.
- SCHURHAUS, Patrick. **Produtos e propriedades energéticas da madeira**. União da Vitória: Centro Universitário da União da Vitória, 2007. 162 p. Disponível em: <https://engmadeira.yolasite.com/resources/Energia%20da%20madeira.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2023.
- SILVA, Renan Cabral da. **A transição energética dos emergentes no século XXI: Brasil e China em foco**. 2018.
- SILVEIRA, Andrei Rei Rodrigues. **Potencial e Aproveitamento Bioenergético de Biogás e Gás de Síntese a partir de Resíduos e Efluentes Gerados nas Indústrias de Beneficiamento de Arroz de Pelotas/RS**. 2018.
- Situação atual: A energia está na base das ambições da Europa em matéria de clima**. European Environment Agency, 2023. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/pt/sinais-da-aea/sinais-2022/artigos/situacao-atual-a-energia-esta>>. Acesso em 27 fev. 2024.
- SOUZA, Elias Costa de. **Perfil térmico e emissões gasosas na cocção de pizzas mediante o uso de madeira como combustível**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- STOJLOVSKA, Ana et al. 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.
- TEZOTTO, DIOGO RODRIGUES; SANTA BÁRBARA, D. **Balanço dos gases de efeito estufa na cadeia produtiva do chocolate com abordagem de ciclo de vida**. 2018. Tese de Doutorado. master's thesis, Faculty of Engineering, Architecture and Urbanism, Methodist University of Piracicaba.
- VALVERDE, Sebastiao Renato. **Silvicultura brasileira: oportunidades e desafios da economia verde**. 2012.
- VASYLYSHYN, R. et al. Energy potential of woody biomass in Ukraine's forests and prospects for its utilization as an alternative energy source. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2022.
- VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. da. **Perspectiva do setor de biomassa de madeira para a geração de energia**. BNDES Setorial 33, Rio de Janeiro, 2011, p. 261-314, mar. 2011.
- VIDAL, Maria de Fátima. **Indústria: Biocombustíveis-Biodiesel e Etanol**. 2022.