

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

VITÓRIA LARISSA MOREIRA MELO

**CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL LENHOSO COMO FONTE ENERGÉTICA
VIÁVEL NO BRASIL: UMA ANÁLISE SISTEMÁTICA DA PRODUÇÃO
CIENTÍFICA BRASILEIRA.**

RECIFE

2021

VITÓRIA LARISSA MOREIRA MELO

**CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL LENHOSO COMO FONTE ENERGÉTICA
VIÁVEL NO BRASIL: UMA ANÁLISE SISTEMÁTICA DA PRODUÇÃO
CIENTÍFICA BRASILEIRA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciência Florestal, da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Nogueira

RECIFE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- V845c Melo, Vitória Larissa Moreira
 Caracterização de material lenhoso como fonte energética viável no Brasil: uma análise sistemática da
 produção científica brasileira. / Vitória Larissa Moreira Melo. - 2021.
 60 f. : il.
- Orientador: Marcelo Nogueira. Inclui
 referências e anexo(s).
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,
 Bacharelado em Engenharia Florestal, Recife, 2021.
1. Bioenergia. 2. Biomassa florestal. 3. Potencial energético. 4. Florestas energéticas. I. Nogueira,
 Marcelo, orient. II. Título

CDD 634.9

VITÓRIA LARISSA MOREIRA MELO

**CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL LENHOSO COMO FONTE ENERGÉTICA
VIÁVEL NO BRASIL: UMA ANÁLISE SISTEMÁTICA DA PRODUÇÃO
CIENTÍFICA BRASILEIRA.**

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo Nogueira
(Orientador – Departamento de Ciência Florestal/UFRPE)

Prof. Dr. Rafael Leite Braz
(Departamento de Ciência Florestal/UFRPE)

Prof^a. Dr^a Cristiane Guiselini,
(Departamento de Engenharia Agrícola/UFRPE)

Prof^a. Dr^a Simone Mirtes Araújo Duarte,
(Departamento de Ciência Florestal/UFRPE)
(Suplente)

RECIFE

2021

*À mainha, Maria Cerize Moreira Silva,
sem a qual esta escrita nunca seria registrada com tais idiossincrasias.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Escrevo hoje este trabalho da forma que sou, sendo quem e como eu pude ser e compartilhando o privilégio do conhecimento que tenho e por isso agradeço. À vida e ao universo, agradeço pelas possibilidades, pelos aprendizados e pelos caminhos que a mim foram oferecidos como experiências necessárias para estar aqui hoje e pelo entendimento que somos parte de um todo completo e que por isso, somos completos por sermos nós mesmos.

De forma particular agradeço:

À minha família, pai, irmãos, tias e tios pela contribuição e apoio durante a minha jornada de vida e existência.

À minha mãe, por me ensinar o prover e o desprover do amor. Pelos aprendizados, pelas oportunidades, pelo apoio, pela compreensão, pelo respeito e pela aceitação de quem eu sou e das escolhas que tomo.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE e ao Departamento de Ciência Florestal – DCFL, pelo arcabouço de um espaço que oferece e estimula o conhecimento, o interesse, à atividade de criatividade.

Ao PET AgroEnergia, pelos aprendizados institucionais, acadêmicos, profissionais e de relacionamento que obtive ao longo dos 4 (quatro) longos anos que tive a oportunidade de fazer parte deste grupo tão especial, estimulante e inovador. Em especial à Cristiane Guiselini, não só pela tutoria deste grupo, mas pelo aprendizado, amizade, cumplicidade, conselhos, risadas e bons momentos boêmios oferecidos e ao vínculo de respeito e admiração como pessoas e profissionais que entre nós foi criado.

Às amigas que estiveram em minha vida e trouxeram nesta jornada muita paciência, amor e boas energias nos meus momentos de estresse, tristeza, euforia, alegria e risadas: Júlia Yasmim de Castro Silva, que pude conhecer e me identificar e conectar ainda na adolescência de forma tão boa e que será uma das maiores cientistas da computação; Sarah Gumy Santos Kim, menina com quem tive o prazer de dividir momentos incríveis, aprendizados, ganhos, perdas e crescimentos individuais que nos tornaram hoje as mulheres que somos, e que mesmo que me dê dores de cabeça, me faz aceitar de bom grado o papel autodeclarado de irmã; e Ravena, filha de Sarah, que ainda não sabe, mas vai ser estimulada pelas tias Vitória e Júlia a ser uma mulher incrível.

Aos amigos que às vezes estão distantes, mas nunca são distantes: Jamir, Pablo e Alanna, que me ofereciam sempre tempo das suas vidas para ir à academia e comer sorvete logo em seguida, tornando as noites de descanso dos meus dias, realmente formas de reenergização.

Às amigadas da UFRPE, que pude ter a oportunidade de guardar no meu coração: José Jorge Monteiro Júnior, meu primeiro e único abraço em todas as fotos de turma retirada ao longo de cinco anos, pela nossa filha Alfreda, cantos na sala do coral, francês e coach científico; Lucca Silveira Mousinho Mossio, por ser o melhor colega de casa do mundo e um ótimo ouvinte, por estar sempre disposto a cursar optativas estranhas, por muito metal, alternatividade, violão nos descansos e carinho; Taciana Paraizo da Silva pelos abraços mais gostosos da UFRPE, carinho, amor e compreensão nas horas de choro e alegria; Elcio Ferreira dos Santos Júnior, pelas caronas sem as quais eu teria um histórico de faltas muito maior, pela alegria que ele sempre leva aos lugares, prestatividade e aprendizados compartilhados; Alisson Gomes de Santana, pela paciência de me ensinar cálculo com a melhor didática do Norte-Nordeste; Claudio Brito Coelho, pelo tempo dedicado a estar no meu lado em risadas, bebedeiras, lágrimas, crises e parceria. Pela ciência feita, cafezinhos passados, Bibias Pizza, fuga de órgãos de trânsito, choros no Conterrâneo e colchão reservado em qualquer casa minha; Yasmim Victória, Maria Eduarda Fernandes e Bruno Rocha por serem extremamente bons ouvintes, carinhosos, empáticos e fazerem qualquer festa, saída, dança, gartic, barzinho, viagem de turma, serem extremamente divertidos e memoráveis.

A meu companheiro, Heitor Abreu Ferreira, pelo apoio e crença incondicionais na minha pessoa. Pelo extremo suporte nos momentos de insegurança, impaciência, tristeza e muitas lágrimas, mas também por dividir e protagonizar momentos de alegria, leveza, conquistas e vitórias. Obrigada pelos aprendizados de todos os dias e às trocas tão especiais e necessárias. Amor.

Ao Conterrâneo Bar, lugar onde pude alongar minha experiência acadêmica e debater assuntos sobre provas, publicações, além de criar e reforçar laços só de colocar uma música naquela jukebox e promover um brinde.

Por fim, agradeço a todos e todas que cruzaram o meu caminho, que me permitiram uma troca de emoção, sentimento, conhecimento e crescimento como ser humano.

Boa leitura a todos(as).

[...]

Por de trás de algo que se esconde

Há sempre uma grande mina de conhecimentos
e sentimentos

Não há mistérios em descobrir

O que você tem e o que gosta

Não há mistérios em descobrir

O que você é e o que você faz.

CHICO SCIENCE & NAÇÃO ZUMBI. ETNIA.

Afrociberdelia. Rio de Janeiro: Chaos, 1996. Compact Disc.
Digital Áudio, 1 CD. Resmaterizado em Digital.

MELO, VITÓRIA LARISSA MOREIRA. Caracterização de material lenhoso como fonte energética viável no Brasil: uma análise sistemática da produção científica brasileira, 2021. Orientador: Marcelo Nogueira.

RESUMO

A busca por fontes energéticas renováveis vem crescendo ao longo do tempo de forma vertiginosa. Quando a madeira é utilizada para produção de energia, algumas características devem ser levadas em consideração, como as de crescimento ou dendrológicas da planta, já que estas influem significativamente sobre a produção de massa seca individual ou por área, além da sua composição (química, elementar e imediata). O objetivo deste trabalho foi utilizar-se da literatura científica para entender quais são as principais características associadas ao material lenhoso, para que este possa vir a ser considerado uma boa fonte de energia. A metodologia utilizada para este trabalho foi a seleção de estudos realizadas a partir de uma revisão sistemática, onde 174 artigos foram analisados e sintetizados. Esses estudos foram publicados de 2000 a meados de 2021 em inglês, espanhol e português. A grande maioria dos estudos foi realizada no estado brasileiro de Minas Gerais, seguido por São Paulo, Santa Catarina e Pará. As espécies utilizadas pelos artigos para as análises e ensaios laboratoriais foram espécies arbóreas do gênero *Eucalyptus* (44%), *Pinus* (8%) e outras espécies (48%). Observou-se um aumento acentuado na produção de artigos nas regiões Norte e Nordeste durante os últimos 6 (seis) anos. As unidades de análise visadas por esses estudos foram as características da madeira como densidade básica, poder calorífico superior, teor de materiais voláteis e teor de lignina total. Estas variáveis foram analisadas estatisticamente de forma não paramétrica. Portanto, são considerando aptos os materiais lenhosos que apresentem uma densidade básica de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$, poder calorífico superior de $19,7 \text{ MJ.kg}^{-1}$, teor de materiais voláteis e teor de lignina de 27,79% e 28 %, respectivamente. A importância de ter um material científico de consulta referente ao uso da biomassa florestal como material energético se dá pela dissipação da informação aos principais interessados no uso da biomassa florestal e de material lenhoso como fonte energética.

Palavras-chave: bioenergia, biomassa florestal, potencial energético, florestas energéticas.

MELO, VITÓRIA LARISSA MOREIRA. Characterization of woody material as a viable energy source in Brazil: a systematic analysis of Brazilian scientific production, 2021. Advisor: Marcelo Nogueira

ABSTRACT

The search for renewable energy sources has been growing rapidly over time. When wood is used for energy production, some characteristics must be taken into account, such as the growth or dendrological characteristics of the plant, as these significantly influence the production of individual dry matter or by area, in addition to its composition (chemical, elementary and immediate). The objective of this work was to use the scientific literature to understand the main characteristics associated with woody material, so that it can be considered a good source of energy. The methodology used for this work was the selection of studies carried out from a systematic review, where 174 articles were analyzed and synthesized. These studies were published from 2000 to mid-2021 in English, Spanish and Portuguese. The vast majority of studies were carried out in the Brazilian state of Minas Gerais, followed by São Paulo, Santa Catarina and Pará. The species used in the articles for analyzes and laboratory tests were tree species of the genus *Eucalyptus* sp. (44%), *Pinus* sp (8%) and other species (48%). There was a sharp increase in the production of articles in the North and Northeast regions during the last 6 (six) years. The units of analysis targeted by these studies were wood characteristics such as basic density, higher calorific value, volatile materials content and total lignin content. These variables were statistically analyzed in a non-parametric way. Therefore, woody materials with a basic density of 0.6 g.cm⁻³, higher calorific value of 19.7 MJ.kg⁻¹, volatile materials content and lignin content of 27.79% and 28 % respectively. The importance of having scientific material for consultation regarding the use of forest biomass as energy material is due to the dissipation of information to the main interested parties in the use of forest biomass and woody material as an energy source.

Keywords: bioenergy, forest biomass, energy potential, energy forests

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 BIOMASSA FLORESTAL COMO FONTE ENERGÉTICA	14
2.2 TEOR DE UMIDADE.....	16
2.3 DENSIDADE	16
2.4 PODER CALORÍFICO E PRODUÇÃO ENERGÉTICA DA MADEIRA	17
2.5 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DA MADEIRA	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 DESIGN	18
3.2 PESQUISAR, ENCONTRAR E SELECIONAR ARTIGOS.....	19
3.3 CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL	22
4.2 CONTEÚDO	24
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	24
5 CONCLUSÃO	28
6 REFERÊNCIAS	29
7 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	34

1 INTRODUÇÃO

Sob uma perspectiva historiográfica, o avanço do uso da energia proveniente de variadas fontes teve início com o estouro da I Revolução Industrial, em 1790. Este marco abriu espaço para a construção de um cenário onde o uso de energia estaria cada vez mais presentes nas esferas industriais e sociais.

Desta forma, nas últimas cinco décadas houve um aumento exponencial do consumo energético mundial. Em decorrência deste cenário, países começaram a buscar fontes alternativas de energia, já que as provenientes de combustíveis fósseis apresentam muita variabilidade econômica de mercado e pouca segurança energética para o uso em massa nos setores produtivos.

O uso da biomassa florestal como fonte energética no país tem uma presença histórica e foi durante anos a principal fonte energética brasileira. No entanto, ao se visar um uso sustentável de qualquer matéria prima, é importante permear nas camadas que dizem respeito a rentabilidade do seu uso. No cenário do uso da biomassa florestal, uma destas camadas são as características que conferem energia da madeira, pois muitas vezes, o processo de queima da é prejudicado por falta de conhecimentos prévios sobre o comportamento do material combustível.

A literatura acadêmica e experimental vem trilhando um caminho sobre o potencial energético de espécies florestais, no entanto, nota-se uma carência de recomendações referentes as características energéticas pela academia. Esta ausência afeta a perpetuação do uso potencial da biomassa como fonte energética e se restringe ao meio científico, não alcançando a esfera industrial e produtiva.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi utilizar-se da literatura científica para tomar como base e entender quais são as principais características associadas ao material lenhoso, para que este possa vir a ser considerado uma boa fonte de energia. Acredita-se que esta publicação venha a ser uma contribuição para facilitar o acesso ao conhecimento sobre a caracterização e finalidade da madeira para fins energéticos. Desta forma, servirá como fonte de consulta para maior informação e potencial aprimoramento de tecnologias da madeira.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Biomassa florestal como fonte energética

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2019) as demandas energéticas vêm apresentando um crescimento exponencial em relação ao consumo de energia, principalmente no que se diz respeito dos setores industriais e comerciais. Esse fato tem estimulado muitos países a buscarem o uso de outras fontes energéticas, principalmente as renováveis, incluindo a madeira.

Pelo aspecto econômico e energético, fatores como as fortes oscilações nos preços dos combustíveis fósseis e a busca por maior segurança energética vêm atrelando-se ao desenvolvimento tecnológico da exploração de recursos renováveis. Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 (MME, 2007), torna-se cada vez mais necessária a busca por fontes alternativas de geração de energia elétrica.

Em um cenário internacional, a Agenda 2030 da ONU com seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável aborda esta questão energética em seus objetivos 7, 12, 13 que visam garantir energia limpa e acessível, consumo e produção responsáveis e ação contra a mudança global do clima. Assim, há a preocupação em “reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis” (ODS, 2015) e adquirir o conhecimento necessário para o avanço desse setor.

As alternativas tecnológicas ou fontes alternativas de energia são aquelas que derivam de ciclos naturais que se renovam e não dependem de combustível disponível na natureza, independentemente da fonte de produção de energia (OLIVEIRA & PINHEIRO, 2020).

Segundo o Boletim do Monitoramento do Sistema Elétrico de abril de 2020, atualmente o Brasil tem 83% de sua matriz elétrica originada de fontes renováveis, das quais a biomassa representa 8,6% da participação, ficando atrás apenas da energia hidrelétrica e eólica (MME, 2020).

A biomassa florestal apresenta várias características vantajosas quando comparadas com outras fontes alternativas. Entre elas destacam-se versatilidade na origem, pois esta pode ser proveniente de florestas energéticas, resíduos florestais, industriais e urbanos; e a viabilidade no uso tecnologias eficientes para conversão da biomassa em energia (MURARO, 2018).

De acordo com o relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (2018) o setor brasileiro de florestas tornou-se um dos mais relevantes no cenário global. A área de florestas plantadas no Brasil equivale a cerca de 7,84 milhões de ha e é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais. No ano de 2019 o Produto Interno Bruto do setor totalizou cerca de R\$86,6 bilhões, demonstrando, assim, uma intensidade na participação direta do progresso econômico do país.

O setor florestal nacional é notável como fornecedor de energia ou matéria-prima para os setores da indústria de construção civil e de transformação. Nesse cenário, a madeira, utilizada como lenha ou carvão, é uma das principais fontes de biomassa para produção de energia do país (IBÁ, 2019).

Por conta da localização do território brasileiro no globo, o país se encontra em uma posição favorável quanto a disponibilidade de recursos para serem utilizados como fontes de energia renováveis, em comparação ao resto do mundo. A biomassa florestal representada pela lenha, foi a principal fonte de energia primária no país por mais de 450 anos. Na década de 1950, a madeira respondia por 75% do total da energia consumida nacionalmente (AREIAS, 2020; FLORES, 2015). Atualmente, segundo o Relatório Ibá (2020), 20% da biomassa florestal é destinada para geração de energia.

Nas últimas décadas, foram introduzidas políticas federais e estaduais para estimular o uso de fontes renováveis, como a Lei nº 10.438 de 2002, que institui o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. A Lei dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial e trata a biomassa como uma das fontes inseridas neste contexto.

Neste contexto, a produção de lenha para combustão dos plantios florestais usando espécies de rápido crescimento, tanto para uso doméstico como industrial, tornou-se um sucesso. Os processos e técnicas silviculturais obtiveram amplo conhecimento e domínio tecnológico para expansão das florestas plantadas, assim, o setor florestal tornou-se competitivo e forte, alcançando os atuais índices de produtividade e todos os benefícios socioeconômicos e ambientais decorrentes das florestas plantadas (RIBASKI, 2017).

Os plantios florestais de rápido crescimento, principalmente com os gêneros *Eucalyptus* sp. tiveram significativa expansão a partir dos anos 60, sobretudo com os incentivos fiscais de 1966 a 1988. A Política Agrícola para Florestas Plantadas, estabelece em seu art 2º as florestas plantadas como:

“As florestas compostas predominantemente por árvores que resultam de semeadura ou plantio, cultivadas com enfoque econômico e com fins comerciais” (BRASIL, 2014).

O aumento da implantação destas florestas deve-se bastante pelo aumento exponencial da demanda produtiva, que abre espaço para diferentes finalidades, permitindo ao produtor alcançar diferentes mercados de produtos florestais. (MOREIRA et al., 2017).

Assim, o crescimento dos plantios florestais e os avanços silviculturais têm propiciado o uso da biomassa lenhosa como fonte energética para a geração térmica, e cogeração de pequenas centrais elétricas (RIBEIRO et al., 2017).

Dentre as fontes de energia sustentável, a biomassa florestal pode ser caracterizada como todo material biológico não fóssil produzido pelos seres e associado ao material lignocelulósico produzido. Pode se apresentar como lenha, cavacos, briquetes, resíduos industriais de madeira, resíduos da colheita das florestas plantadas e até mesmo como dejetos de podas urbanas (FOELKEL, 2016). Geralmente, sua principal forma de utilização através de sua conversão termoquímica ou pela combustão a partir da queima.

O uso da biomassa, com objetivos energéticos, possui muitos benefícios ambientais que contribuem diretamente para a redução de uso de combustíveis fósseis e mitigação das mudanças climáticas (CREUTZIG et al., 2015; PFAU et al., 2019)

As espécies florestais são fonte importante de energia para o Brasil, com a produção de carvão e lenha. Cada vez mais há potencial para ampliar a participação destas espécies na matriz energética industrial do país, diante do aprimoramento e desenvolvimento de tecnologias e alternativas de espécies para matéria prima. O estudo da implantação e condução de espécies que possuam potencial energético suficiente para suprir a demanda do mercado em áreas sob manejo florestal pode vir a ser uma solução para a minimização de impactos na caatinga. O uso pode trazer um desenvolvimento sustentável ao uso do material lenhoso para fins energéticos (em sua maioria lenha e carvão vegetal.) (SANTOS et al., 2013; SOARES, et al., 2014).

A madeira apresenta dois grupos de componentes químicos: os fundamentais ou macromoleculares e os acidentais ou minoritários. No primeiro grupo estão presentes a celulose, hemicelulose (polioses) e lignina, e no segundo os extrativos e elementos inorgânicos (cinzas).

A quantidade destes componentes (Tabela 1) varia entre as espécies e são influenciados por diversos fatores (KLOCK et al., 2013).

Tabela 1 – Composição química média das madeiras de folhosas e coníferas.

Constituintes	Folhosas	Coníferas
Celulose	45 ± 2%	42 ± 2%
Polioses	30 ± 5%	27 ± 2%
Lignina	20 ± 4%	28 ± 2%
Extrativos	3 ± 2%	5 ± 3%

Fonte: KLOCK et al. (2013)

A madeira, quando é submetida a altas temperaturas, começa a apresentar mudanças físico-químicas em sua constituição, sofrendo decomposição térmica dos seus constituintes: hemiceluloses, celulose e lignina, passando por um processo de carbonização sob atmosfera inerte. Segundo Schaffer (1973), as primeiras mudanças físico-químicas surgem a partir de 50°C. As fases da pirólise da madeira podem ser divididas em cinco diferentes fases: a primeira, ocorre em uma faixa de temperatura ambiente e 100 °C, e é onde acontece a saída de água-livre e água higroscópica da madeira, que permanecia retida no lúmen e parede das células; a segunda fase, consiste na eliminação da água higroscópica e água de constituição, que ocorre na faixa entre 100 e 250 °C; na terceira fase, ocorre a destruição da hemicelulose, entre 250 e 330 °C; na faixa entre 330 e 370 °C ocorre a quarta fase, que supõe-se ocorrer a destruição da celulose; e finalmente, em temperaturas acima de 370° C, ocorre o início da degradação da lignina e a formação de carvão vegetal, que caracteriza a quinta fase (VOVELLE E MELLOOTTEE, 1982).

Quando a madeira é utilizada para produção de energia, algumas características devem ser levadas em consideração, como as de crescimento ou dendrológicos da planta, já que estas influem significativamente sobre a produção de massa seca individual ou por área, além da sua composição daquela madeira (química, elementar e imediata). Outras propriedades que devem ser levadas em conta são a densidade básica, o teor de umidade, o poder calorífico superior, inferior e líquido (TRUGILHO, 2017).

Assim, surge uma necessidade de avaliar algumas características da biomassa como: teor de umidade, densidade, composição do material lenhoso que são importantes para a utilização da biomassa como fonte de energia, pois estão diretamente ligadas ao poder calorífico das espécies (VALE et al., 2011). Uma vez que se conhece as características da madeira, pode-se otimizar o potencial das espécies ao destinar àquelas de maior quantidade de energia por unidade de massa para usos específicos e esperar delas um melhor rendimento (SANTOS, 2013).

2.2 Teor de Umidade

A madeira é um material orgânico e higroscópico, que apresentam capacidade de absorver e trocar umidade com o ambiente no qual se encontra. O teor de umidade da madeira é basicamente o conteúdo de água presente em seu interior. Em árvores vivas, dependendo da espécie, densidade da madeira e condições climáticas da região, este teor pode variar de aproximadamente 35 a 200% (KLITZKE, 2007).

O teor de umidade se relaciona de forma negativa com o poder calorífico devido a combustão da madeira úmida disponibilizar menos energia. Isto ocorre pois há um gasto de energia para o aquecimento e vaporização da água. Neste contexto, é sempre interessante utilizar madeiras com teores de umidade abaixo de 25% para combustão (PEREIRA et al., 2000).

2.3 Densidade

Para a madeira, a densidade, é uma das propriedades físicas mais importantes, dela dependem a maior parte de outras propriedades tecnológicas. Para Pereira (2000), a densidade está relacionada com a contração e inchamento, resistência mecânica, rendimento e qualidade da polpa celulósica, custos ligados ao transporte e armazenamento e com a qualidade da madeira e do carvão vegetal.

Do ponto de vista prático, a densidade da madeira pode ser expressa de três maneiras: a densidade aparente da madeira (ρ_{ap}), se define como relação entre a massa e o volume, determinada nas mesmas condições de umidade (U), e variável dependente do valor de U. A densidade a 0%, acontece quando a relação entre massa e volume é obtida para teor de umidade igual a 0 ($U = 0$). Por fim, a densidade básica (ρ_b) é determinada pela razão entre a massa seca e o volume saturado da madeira (REZENDE & ESCOBEDO, 1988).

A densidade aparente da madeira é quando se calcula a densidade relacionando a massa e o volume específico (isto é, o volume que inclui o material lenhoso, extrativos e o ar contido

nas células da madeira), em um teor de umidade, já a densidade básica, requer apenas a determinação da massa saturada, que será igual ao volume saturado, e da massa seca da madeira.

Segundo Moreschi (2010), muitas vezes existe uma dificuldade de se encontrar um valor exato que corresponda ao volume da madeira à 0% de umidade, devido a sua propriedade higroscópica. A determinação da densidade básica permite sempre que ocorra a reprodução de um valor constante.

A densidade energética demonstra a quantidade de calor em um volume definido na biomassa, estimando o desempenho do material como combustível e avaliando o rendimento da madeira para processos siderúrgicos ou para queima. É altamente influenciado por propriedades físico-químicas da madeira, como a densidade básica, teor de lignina, extrativos e cinzas (BARROS et al., 2019).

Madeiras com maior densidade tem maior poder calorífico por unidade de volume. Materiais lenhosos com maior densidade apresentam mais carbono por unidade volumétrica e sendo este a principal fonte de energia durante a combustão, significa dizer que para um mesmo volume, a madeira de maior densidade irá produzir mais energia (QUENÓ, 2009).

2.4 Poder calorífico e produção energética da madeira

O rendimento energético de um processo de combustão da madeira depende de sua constituição química, onde os teores de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e substâncias minerais variam com a espécie e é de grande importância para a escolha adequada da madeira a ser utilizada.

O poder calorífico define-se como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa de material lenhoso (JARA, 1989). Para Santos et al. (2012), o poder calorífico é influenciado fortemente por teores de extrativos e lignina. Quanto maior a quantidade de carbono fixo na madeira mais lenta será a queima do material lenhoso, enquanto isso, teores elevados de matérias voláteis proporcionam uma queima mais acelerada (BRUN et al., 2017).

O poder calorífico pode ser classificado como poder calorífico inferior (PCI), poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico útil (PCU). O PCI é definido como a quantidade de calor liberada durante a combustão do combustível, com a água sob a condição de vapor. O PCS é a quantidade de calor liberada durante a combustão com a água na forma condensada. Por sua vez, quando uma quantidade de calor liberado pela queima acontece de modo que a

água proveniente da queima esteja em estado gasoso (volume variável), tem-se o PCU, que é a energia necessária para evaporar a água referente da umidade da madeira (KLAUTAU, 2008; LIMA, 2010).

Para Campos (2009), o poder calorífico superior e o inferior são diferentes pela quantidade de energia necessária para evaporar a umidade presente no combustível e a água produzida a partir da oxidação do hidrogênio do combustível.

2.5 Análise química imediata da madeira

Para conhecer a percentagem de material volátil, de carbono fixo e de cinzas de um material lenhoso a ser utilizado como fonte energética, é importante realizar uma análise química imediata. Como dito anteriormente, estas percentagens influenciam nas propriedades de queima do material, pois os materiais voláteis queimam mais rápido que o carbono fixo (BRITO & BARRICHELO, 1978).

A quantidade de cinzas é inversamente proporcional ao poder calorífico, o teor pode variar entre 0,5% e 5%, dependendo de fatores como casca, quantidade de terra e areia agregadas à madeira (CHAVES et al., 2013; PEREIRA, 2000). Esta parte dos materiais combustíveis constituem a parte inorgânica e podem ser compostas por silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe) (KLAUTAU, 2008).

Durante a combustão da biomassa, os materiais se dissipam rapidamente, o tempo de queima do combustível diminui e junto diminui a eficiência energética. O poder calorífico tem relação direta com o carbono fixo, que aumenta o tempo de queima do material combustível (CHAVES, 2013; PEREIRA, 2000).

Dessa forma, o rompimento do ciclo entre os estudos de potencialidades energéticas e as áreas exploradas para este uso são indispensáveis. Os povoamentos florestais são capazes de ofertar conhecimento tecnológico da madeira com significativos benefícios e matéria-prima de qualidade que permite a redução da dependência de combustíveis fósseis (GADELHA, 2015; SILVA 2016).

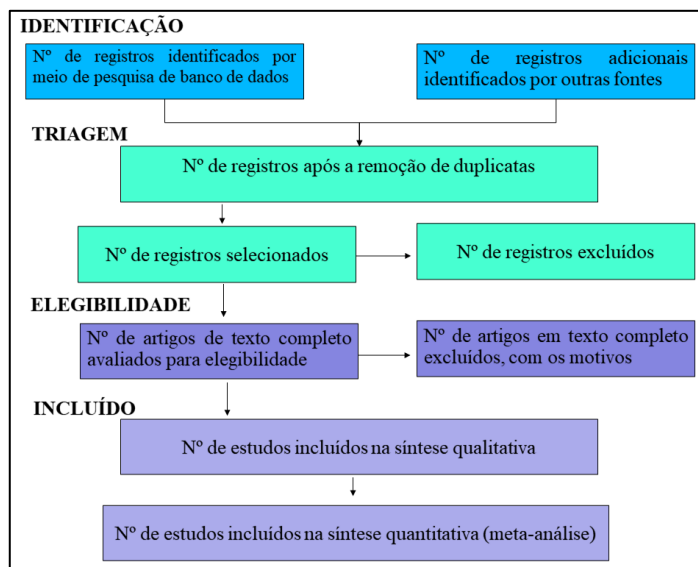
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Escopo da pesquisa

O presente estudo foi desenvolvido seguindo os procedimentos PRISMA (PULLIN E

STEWART, 2006) e CEE (2013), com a finalidade de gerar um protocolo para busca localização e seleção de artigos (Figura 1). O escopo da pesquisa foi nacional e limitou-se a artigos em inglês, espanhol e português. Os estudos foram selecionados para avaliação com base em critérios relacionados a caracterização da madeira e seu potencial como fonte energética.

Figura 1– Fluxo de informações através das diferentes fases de uma revisão sistemática



Fonte: Adaptado de: BMJ (2009)

3.2 Pesquisa e seleção dos artigos

Com o intuito de evitar uma seleção subjetiva e proposital de publicações científicas, faz-se de grande importância a sistematização dos procedimentos de revisão de literatura. Foi desenvolvido um protocolo de busca e localização de artigos o mais objetivo e replicável possível. A pesquisa foi limitada a artigos de periódicos acadêmicos e excluiu capítulos de livros e anais de conferências, desde que focassem no uso da madeira como material energético. De forma facilitadora para a etapa de busca, foram agrupadas em três grupos critérios de inclusão e exclusão dos artigos para a coleção: 1) madeira como fonte de energia; 2) características energéticas do material lenhoso; 3) características físicas e químicas da madeira (Tabela 1).

Quatro bases de dados acadêmicas foram pesquisadas com as palavras-chave e um período de análise de 2000 até o primeiro bimestre de 2021 de forma interativa (Tabela 2). A busca foi realizada em três etapas: 1) as palavras-chave definidas foram utilizadas de forma permutável com seus sinônimos, de modo que a busca não ficasse restrita em um primeiro

momento; 2) as palavras-chave foram reaplicadas nos acessos iniciais para filtrar os resultados mais relevantes; 3) as palavras-chave foram aplicadas dentro do documento dos resultados para posterior filtragem. A busca foi finalizada 03 de abril de 2021. Os artigos foram então selecionados para análises subsequentes de acordo com os critérios acima. Apenas artigos com acesso em texto completo e *abstract* (resumo em língua inglesa) foram utilizados para análise (Tabela 2).

Tabela 2 – Detalhes dos estágios da revisão sistemática, incluindo procedimentos de pesquisa e critérios de seleção.

Estágios da Revisão	Procedimentos	Detalhes			
		Palavras-chave utilizadas ³			
Coleção de Dados	Banco de dados utilizados para o levantamento de artigos	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	
		Biocombustível	Densidade energética	Anatomia	
		Scopus ¹ (www.elsevier.com/pt-br/solutions/scopus)	Bioenergia	Poder calorífico	Celulose
		Web of Science ¹ (www.webofknowledge.com)	Biomassa florestal	Potencial energético	Extrativos
		Redalyc ² (www.redalyc.org/)	Briquetes		Lignina
			Carvão vegetal		
			Dendroenergia		
			Lenha		
			Florestas energéticas		
			Madeira		
Triagem de Dados	Informações e detalhes nos resumos dos artigos usando critérios de seleção	<i>Critérios de Seleção</i>			
		1. Área de estudo no Brasil			
		2. Informações sobre produção de madeira para energia			
		3. Ensaios laboratoriais sobre análise química e física de material lenhoso (com finalidade energética)			
		<i>Critérios de Seleção</i>			
		1. Área de estudo no Brasil			
		2. Informações sobre produção de madeira para energia			

Elegibilidade de dados	Obtenção dos artigos e análise do conteúdo na íntegra usando critérios de seleção	3. Ensaio laboratoriais sobre análise química e física de material lenhoso (com finalidade energética)
Análise dos Dados	Classificar os dados	<p>Construir banco de dados de todos os estudos, sintetizar conteúdo, desenvolver categorias para itens de classificação, usar dados para criar tabela, diagramas de síntese e análises estatísticas.</p> <p>Construir visualizações para facilitar a exposição de padrões sobre os assuntos abordados, utilizando-se de métrica de centralidades.</p>
	Análise dos temas	

¹ Banco de dados para publicações em Inglês, Espanhol e Português; ² Banco de dados para publicações em Português e Espanhol; ³ As palavras foram utilizadas nos idiomas citados a depender dos bancos de dados utilizados.

3.3 Classificação e análise

Uma vez obtido o conjunto final de artigos, realizou-se uma análise de conteúdo. Houve uma leitura dos resultados na íntegra, extraindo informações e classificando-os em categorias para facilitar identificação de padrões e compará-los, independente de suas metodologias. O produto final desta categorização foi uma lista de artigos obtida a partir da densificação e agrupação de ideias que estavam relacionadas, para possivelmente evitar a redundância. A lista final de categorias foi obtida interativamente, densificando e agrupando ideias que estavam intimamente relacionadas para evitar redundância. Essa classificação facilitou a análise subsequente e a visualização dos dados. Os artigos não foram categorizados se uma categoria que descreveu pelo menos um outro artigo não puder ser atribuída.

Foram considerados para este estudo as características: Densidade Básica, Poder Calorífico Superior, Teor de Materiais Voláteis, Densidade Energética e Teor de Lignina. Para dados coletados fora do Sistema Internacional de Medida, foram separados e convertidos, para serem utilizados de forma unificada. Após os dados categorizados e agrupados, foram elaboradas visualizações gráficas para a melhor compreensão e exposição das conexões entre categorias e identificação padrões nos dados. Posteriormente, foi realizada uma análise estatística não paramétrica em ambiente do software estatístico R versão 4.1.0. e Microsoft Excel, para análises de média e mediana, além da averiguação de variabilidade entre os

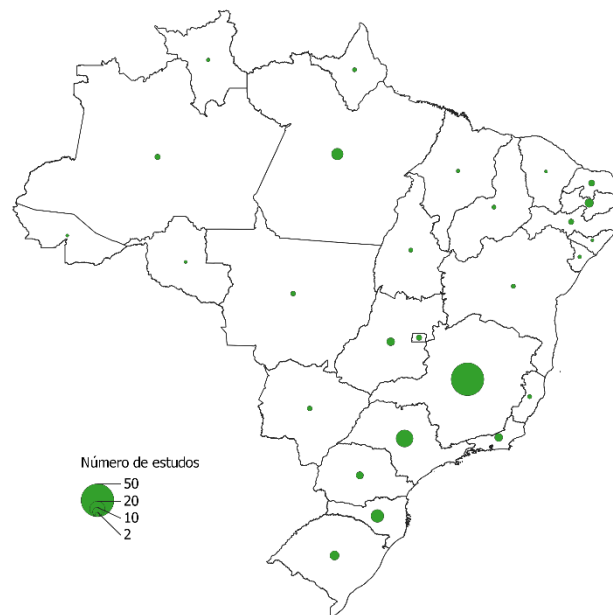
resultados encontrados em literatura para as características da madeira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição espaço-temporal

Após a coleta e triagem dos artigos, observou-se que dos 174 trabalhos encontrados, a maioria das pesquisas brasileiras sobre biomassa lenhosa energética e potencial energético florestal foram realizados utilizando o material lenhoso dos estados de Minas Gerais (26%), seguido por São Paulo (12%), Santa Catarina (9%) e Pará (8%) (Figura 2). O número de artigos aumentou ao longo do tempo, com um aumento acentuado após 2012 (Figura 3). O primeiro estudo é datado de 2000, publicado no Distrito Federal em Brasília, estendendo-se até o ano vigente deste trabalho.

Figura 2 – Localização dos estudos revisados por estados brasileiros usando dados de artigos incluídos na revisão da literatura sobre caracterização do material lenhoso como fonte energética (n = 174)



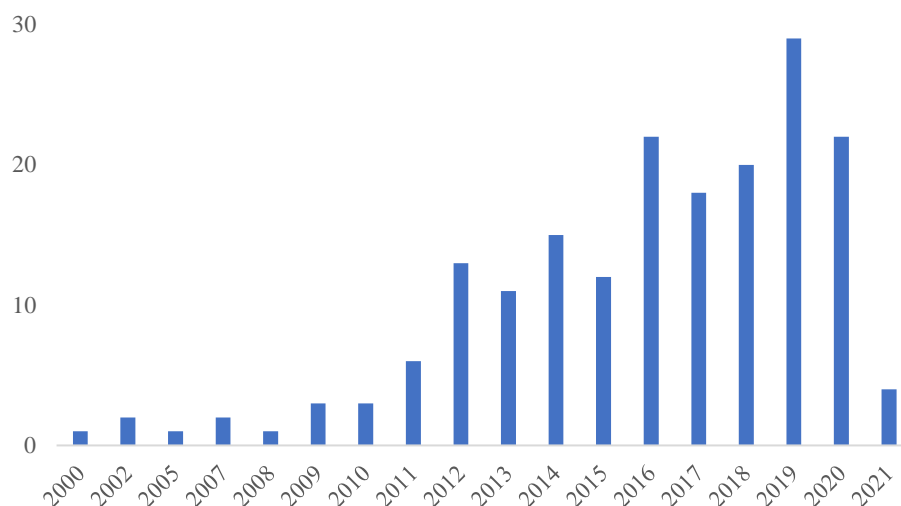
Fonte: Melo, V. L. M. (2021).

Em termos de enfoque geográfico, o predomínio de Minas Gerais pode ser explicado em função da pesquisa sobre tecnologia da madeira ter iniciado nesse estado do que em qualquer outro estado do país (Figura 2). Além disto, a região do sudeste do Brasil apresenta uma grande concentração de siderúrgicas, que utilizam a madeira como fonte energética, desta forma, é coerente que as pesquisas aconteçam em maior quantidade nesta região do país.

No entanto, também pelo uso industrial crescente, como por exemplo o polo

gesso e de cerâmicas, recentemente há um aumento de pesquisas sobre características energéticas nas regiões Norte-Nordeste do país, principalmente no que diz respeito ao uso de espécies endêmicas dos biomas Caatinga e Cerrado. Além disso, por serem biomas que apresentam uma ausência de Plano de Manejo Sustentável, o avanço de estudos relacionamentos à espécies de rápido crescimento, que são característicos destes tipos de biomas, auxilia na conservação destes biomas. (BRAND, 2017; CARVALHO et al., 2020; GONÇALVES et al., 2010; LIMA JÚNIOR et al.; 2014; MEDEIROS NETO et al., 2012; NARITA et al., 2018; ORELLANA et al., 2018; PAES et al., 2013; SILVA e VALE, 2018).

Figura 3 – Cronograma de estudos revisados com base no ano de publicação usando dados de artigos incluídos na revisão da literatura sobre caracterização do material lenhoso como fonte energética (n = 174)



Fonte: Melo, V. L. M. (2021).

O aumento da literatura científica sobre caracterização do material lenhoso como fonte energética nos últimos 10 anos confirma um maior interesse em compreender e realizar análises químicas imediatas da madeira, para avaliar o potencial madeireiro para uso energético (ALMEIDA et al., 2015; BARROS, et al., 2019; BARROS, et al., 2019; BRUN et al., 2017; BRUN et al., 2018; CAMPOS, 2019; CARNEIRO et al., 2014; CARVALHO, 2018; DIAS JÚNIOR et al., 2015; GADELHA et al., 2015; JESUS et al., 2017; LOPES et al., 2017; NONES et al., 2015; VIADURRE, et al., 2012).

Embora a maior parte da literatura nos últimos 10 anos tenha se concentrado no uso da madeira como lenha e carvão vegetal, pode-se perceber que há tópicos como: utilização de briquetes, cavacos, cascas e resíduos de colheita e podas vêm sendo ser explorados. Assim,

como a avaliação das características do carvão vegetal de diversas espécies florestais (CHAVES, 2013; DIAS JÚNIOR et al., 2016; EVARISTO et al., 2016; FARAGE et al., 2013; FERNANDEZ et al., 2016; FONSECA et al., 2020).

4.2 Conteúdo

A análise das publicações mostrou que as espécies mais utilizadas para realização de ensaios e análises referentes à bioenergia são as do gênero *Eucalyptus* (44%). Foram encontrados, também, estudos relacionados ao gênero *Pinus* e Outras espécies (Figura 4 e Tabela 3).

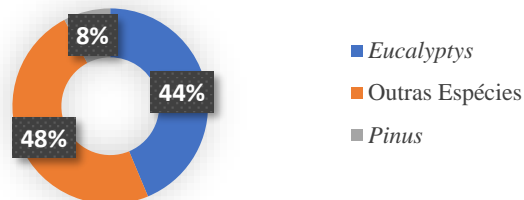
Tabela 3 – Lista de espécies que foram catalogadas na revisão bibliográfica e caracterizadas como “Outras Espécies” no presente estudo.

Outras Espécies	
<i>Acacia auriculiformis</i> A.Cunn. ex Benth.	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit
<i>Acacia mangium</i> Willd.	<i>Luehea divaricata</i> Mart.
<i>Acacia mearnsii</i> De Wild.	<i>Manilkara amazonica</i> (Huber) Standl.
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) A.Chev.
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	<i>Miconia cinnamomifolia</i> (DC.) Naudin
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speng.	<i>Micropholis guianensis</i> (A. D. C.)
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	<i>Mimosa arenosa</i> (Willd.) Poir.
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.	<i>Mimosa scabrella</i> Benth.
<i>Ateleia glazioviana</i> Baill.	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	<i>Ormosia paraensis</i> Ducke
<i>Bixa arborea</i> Huber	<i>Protium apiculatum</i> Swart
<i>Brosimum</i> sp.	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.
<i>Byrsonima spicata</i> (Cav.) DC.	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	<i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L.P.Queiroz
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	<i>Pouteria macrophylla</i> (Lam.) Eyma
<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.
<i>Cochlospermum orinocense</i> (Kunth) Steud.	<i>Rinorea guianensis</i> Aubl.
<i>Combretum leprosum</i> Mart.	<i>Rapanea ferruginea</i> (Ruiz & Pav.) Mez
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire et al.
<i>Croton sonderianus</i> Müll.Arg.	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi
<i>Cupressus lutanica</i> Mill.	<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake
<i>Diplotropis purpurea</i> (Rich.) Amshoff	<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel
<i>Eschweilera</i> sp.	<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville
<i>Guatteria</i> sp.	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G.Nichols.
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	<i>Tachigali chrysophylla</i> (Poepp.) Zarucchi & Herend.

<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima
<i>Hevea brasiliensis</i>	<i>Trema micranta</i> L.
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	<i>Vatairea guianensis</i> Aubl.
<i>Inga edulis</i> Mart.	<i>Vatairea paraensis</i> Ducke
<i>Jatropja sp.</i>	<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.
<i>Khaya ivorensis</i> A.Chev.	

Fonte: Melo, V. L. M. (2021).

Figura 4 – Quantidade de artigos por categoria de gênero e espécies levantados na revisão bibliográfica



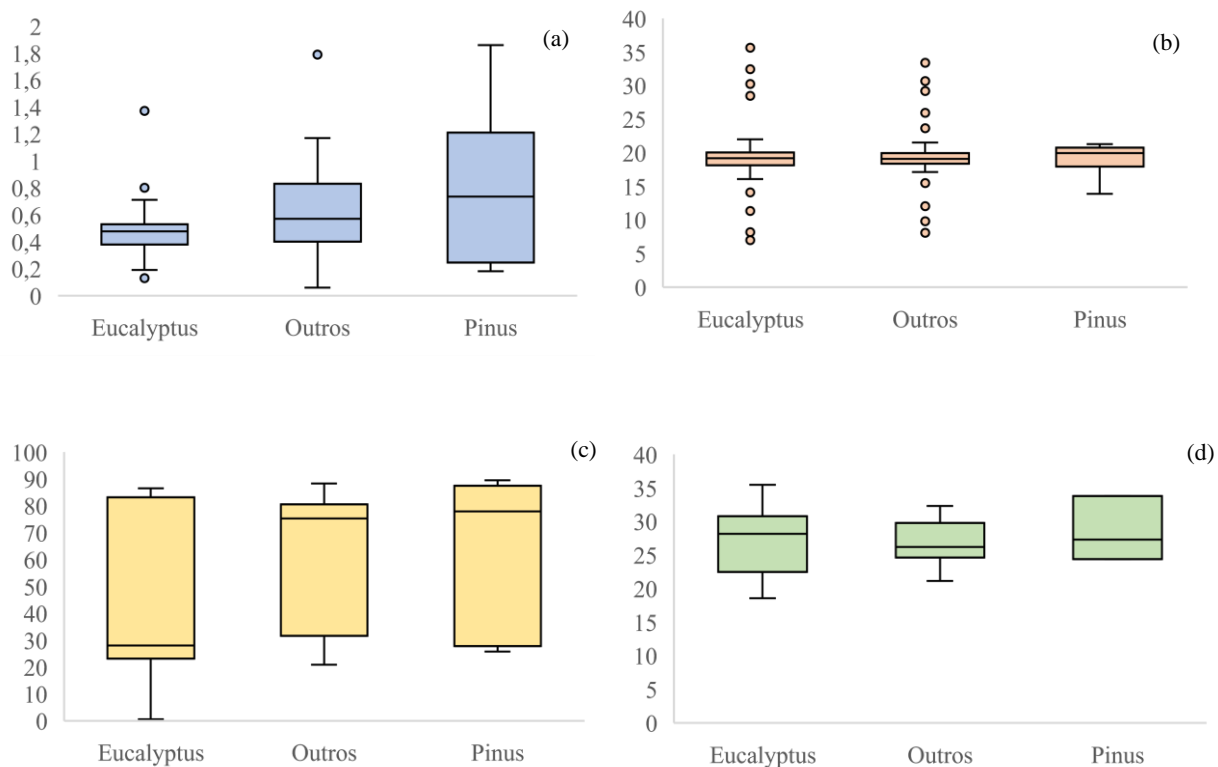
Fonte: Melo, V. L. M. (2021).

A revisão sistemática teve suas limitações, mas também alguns pontos fortes importantes. As limitações do banco de dado Redalyc, que se mostrou carente de publicações do Brasil. No entanto, o uso dessa base de dados ofereceu a oportunidade de ir além de uma revisão da literatura tradicional apenas em inglês, além do que já está incluído no Scopus, que também fornece acesso a artigos multilíngues.

4.3. Análise estatística

Os artigos foram analisados em ambiente R, com as características Densidade Básica (g.cm^{-3}), Poder Calorífico Superior (MJ.kg^{-1}), Teor de Materiais Voláteis (%) e Teor de Lignina Total (%). Os valores coletados são dados que não representam uma distribuição normal, desta forma, foram estatisticamente comparados de forma não paramétrica a partir de suas medianas (Figura 5).

Figura 5 – Boxplot das características da madeira: (a) Densidade básica; (b) Poder calorífico Superior; (c) Teor de Materiais Voláteis e (d) Teor de Lignina.



Fonte: Melo, V. L. M. (2021).

Para a densidade, encontrou-se uma média de 0,6 g.cm⁻³, para o poder calorífico superior, uma média de 19,7 MJ.kg⁻¹ e para teor de materiais voláteis e teor de lignina a média aritmética encontrada foi de 27,79% e 28,00%, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 – Resultados do teor das características da madeira analisadas em na coleção de artigos

	Densidade básica (g.cm ⁻³)	Poder calorífico superior (MJ.kg ⁻¹)	Teor de Materiais Voláteis (%)	Teor de Lignina total (%)
<i>Eucalyptus sp.</i>	0,47	20,02	23,75	26,61
<i>Pinus sp.</i>	0,78	19,92	29,06	26,91
Outras espécies	0,78	19,38	30,57	30,55
Média	0,6	19,7	27,79	28

Fonte: MELO, V. L.M. (2021).

Em um estudo realizado por Quirino et al. (2014), foram amostradas 132 espécies florestais e obteve-se como resultado uma média de 4732 kcal.kg⁻¹, de poder calorífico, com um valor máximo de 5260 kcal.kg⁻¹, que convertidos para MJ.kg⁻¹ resultam em 19,81 MJ.kg⁻¹ e 22,02 MJ.kg⁻¹, respectivamente. O poder calorífico superior, em termos de caracterização

do material lenhoso como uma potencial fonte de energia, de acordo com Numazawa (2000), madeiras de regiões tropicais apresentam um poder calorífico variando de 4171,68 a 5106,53 kcal.kg⁻¹, que convertidos são respectivamente 17,46 a 21,38 MJ.kg⁻¹.

A densidade básica da madeira é uma característica que apresenta baixa e média variabilidade, onde, madeiras mais densas apresentam maior estoque de carbono por volume (LIMA et al., 2020). Segundo Santos et al. (2012), as densidades básicas encontradas em um estudo de diferentes materiais clonais resultam em uma média de aproximadamente 0,48 g.cm⁻³.

Sobre o teor de materiais voláteis, Vale (2000) demonstrou que entre 47 espécies de cerrado estudadas a variação do teor de materiais voláteis da madeira foi de 74,62 a 81,2%. Enquanto isso, o teor de lignina total, é caracterizado na madeira, segundo Klock (2013), como o terceiro componente fundamental, ocorrendo entre 15 e 35%.

5 CONCLUSÃO

A maioria das pesquisas encontradas nesta revisão bibliográfica relatou as características físico-químicas e energéticas de material lignocelulósico para lenha, no entanto, também puderam ser mapeados alguns estudos que direcionam o uso de cavacos, cascas, briquetes e conversão para carvão.

Além disso, notou-se que a grande maioria das pesquisas relacionadas à este tema têm como enfoque a experimentação de madeira do gênero *Eucalyptus*. A distribuição geográfica se apresenta com o Sudeste sendo um hotspot para as pesquisas, em destaque os estados de Minas Gerais e São Paulo.

Com os resultados obtidos das análises estatísticas, obteve-se uma média para as seguintes características das espécies analisadas: para o gênero *Eucalyptus*, uma densidade básica de 0,47 g.cm⁻³, poder calorífico superior, uma média de 20,02 MJ.kg⁻¹ e para teor de materiais voláteis e teor de lignina a média aritmética encontrada foi de 23,75% e 26,61%, respectivamente. Para o gênero *Pinus*, uma densidade básica de 0,78 g.cm⁻³, poder calorífico superior, uma média de 19,92 MJ.kg⁻¹ e para teor de materiais voláteis e teor de lignina a média aritmética encontrada foi de 30,57% e 30,55%, respectivamente. E finalmente, para as outras espécies, uma densidade básica de 0,61 g.cm⁻³, poder calorífico superior, uma média de 19,38 MJ.kg⁻¹ e para teor de materiais voláteis e teor de lignina a média aritmética encontrada foi de 29,06% e 26,91%, respectivamente.

Entre estudos pioneiros sobre o uso de material lenhoso como fonte energética e suas

principais características para tal finalidade, destacam-se: "Avaliação energética da biomassa do cerrado em função do diâmetro das árvores", "Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. Ciência Florestal" e "Balanço energético e econômico de duas alternativas de descascamento de madeira de eucalipto" (VALE et al., 2002; VALE et al., 2002; SEIXA et al., 2005), por serem incipientes e introdutórios, além de representar o retrato do início da implantação de florestas energéticas.

Uma observação a ser feita diante das avaliações de literatura científica relacionadas ao assunto do presente trabalho, é a falta de padronização e uniformidade entre as normas técnicas de pirólise e combustão da madeira e carvão vegetal. Dessa forma, esta desuniformidade pode ser um impedimento para o mapeamento e a definição de teores consistentes. Há também outras variáveis que impactam diretamente nas características energéticas da madeira, com a idade do material, teor termogravimétrico e teor de umidade.

Portanto, o presente estudo trouxe uma avaliação da distribuição categórica, geográfica e estrutural do cenário de pesquisas voltadas ao uso de material lenhoso como fonte de energia. Neste cenário, materiais lignocelulósicos que apresentem uma densidade média de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$; poder calorífico superior de $19,7 \text{ MJ.kg}^{-1}$ e teores de materiais voláteis de 27,79% e de lignina total de 28%, podem ser considerados aptos para uso energético.

Embora esta revisão tenha iluminado algumas das tendências na pesquisa disciplinar na tecnologia da madeira, um exame mais aprofundado dos aspectos transdisciplinares desta pesquisa é necessário para compreender a prática do uso de biomassa florestal na indústria energética, incluindo o trabalho de interessados profissionais e outras partes interessadas locais.

.

6 REFERÊNCIAS

- AREIAS, A. Aspectos político-econômicos, sociais e ambientais do uso da biomassa de cana-de-açúcar para geração de energia elétrica. **Scientific Electronic Archives**. Vol. 13 (3). 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9165 **Carvão vegetal - Determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8633 – **Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico**. Rio de Janeiro, 1984, 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 11941 - **Determinação da densidade básica em madeira**. Rio de Janeiro, 2003, 6p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14929 - **Madeira- Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa**. Rio de Janeiro, 2003, 3p.
- BARROS, M. L.; SILVA, R. G. C.; PADILHA, M. C. S.; SÁ, V. A. Caracterização energética de *Eucalyptus* sp. provenientes de dois tratamentos do solo em Alagoas. **IV Congresso Brasileiro de Eucalipto**, Salvador. 2019.
- BELLOTE, A. F. J. et al. **Biomassa e sua participação na matriz energética brasileira**. Embrapa Territorial - Capítulo em livro científico (ALICE), 2018.
- BRAND, Martha Andreia. Potencial de uso da biomassa florestal da caatinga, sob manejo sustentável, para geração de energia. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 117-127, 2017.
- BRASIL, **Decreto nº 8.375, de 11 de dezembro de 2014. Define a Política Agrícola para Florestas Plantadas**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/decreto/d8375.htm>. Acesso em: outubro de 2019.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **Instituto de Pesquisas Estudos Florestais - IPEF**, n. 16, p. 63 – 70, 1978.
- BRUN, E. J; BERSCH, A. P.; PEREIRA, F. A.; SILVA, D. A.; BARBA, Y. R.; DORINI JUNIOR, J. R. Caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 1, p.87-92, 2017.

CAMPOS, A. A. **Estudo potencial energético de combustíveis derivados da biomassa: construção de um calorímetro isoperibólico.** 17º CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, UNIMEP, Piracicaba, 2009.

CARDOSO, M. G. A. Quantificação de substâncias tânicas nas diferentes partes da planta sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.). **Trabalho de Conclusão de Curso.** 38p. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, Natal. 2017.

CARVALHO, A. C. Potencial energético da madeira de espécies florestais em área sob manejo sustentável, após corte raso, no Rio Grande do Norte. **Dissertação (Ciências Florestais).** 2018. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Macaíba, Rio Grande do Norte, 2018.

CARVALHO, P. E. R. **Sabiá - *Mimosa caesalpiniiifolia*. Circular técnica, 135.** Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

CHAVES, Antônio M. Brito et al.. Características energéticas da madeira e do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia**, v. 9, n. 17, p. 533 – 542, 2013.

CREUTZIG, F.; RAVINDRANATH, N. H.; BERNDDES, G; BOLWIG, S.; BRIGHT, R.; CHERUBINI, F.; CHUM, H.; CORBERA, E.; DELUCCHI, M.; FAAIJ, A.; FARGIONE, J.; HABERL, H.; HEATH, G.; LUCON, O.; PLEVIN, R.; POPP, A.; ROBLEDO-ABAD, C.; ROSE, S.; SMITH, P.; STROMMAN, A.; SUH, S.; MASERA, O. Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. **GCB- Bioenergy** 7, 916-944. 2015.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, C. R.; PROTÁSIO, T. P.; MELO, I. C. N. A.; BRITO, J. O.; TRUGUILHO, P. F. Pyrolysis and wood by-products of species from the Brazilian semi-arid region. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 117, p. 65-75, 2018.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

FARIAS, R. R. S. de; CASTRO, A. A. J. F. Fitossociologia de trechos do Complexo de Campo Maior, Campo Maior, PI, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 949-963, 2004.

FERREIRA, R. L. C. et al. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serrapilheira em um bosque de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 7-12, 2007.

FOELKEL, C. Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade. In: Foelkel, C. (Org.). **Eucalyptus Online Book & Newsletter**. 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO); **El estado de los bosques del mundo**. Roma, 2016.

GADELHA, F. H. L. et al. Produtividade de clones de eucaliptos em diferentes sistemas de manejo para fins energéticos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 263-270, 2015.

GONÇALVES, C.A. et al. Caracterização físico-química da madeira de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). **Revista Caatinga**, v.23, n.1, p.54-62, 2010.

IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2016**. França, 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ); **Relatório Anual (2019)**. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>> Acesso em: 07 de out de 2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ); **Relatório Anual (2020)**. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>> Acesso em: 30 de mai de 2021.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO (IPA). **Polo gesseiro do Araripe: Potencialidades, problemas e soluções**. Relatório do Evento. 2014.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989.

KLAUTAU, J. P. Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo co-corrente para secagem de grãos. 2008, 192 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental)** – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

KLITZKE, Ricardo Jorge. **Curso de secagem da madeira – Módulo 01**. p. 1 – 119, 2007.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 4ª edição revisada. Curitiba: UFPR, 2013. 86p.

LIMA, E. A. Alternativa para estimar o preço da madeira para energia. **Comunicado técnico 260**. Embrapa. 2010.

LIMA JÚNIOR, C. et al. Potencial de aproveitamento energético de fontes de biomassa no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 02, p. 207-221, 2014.

LINS, T.R.S. et al. Rendimento e caracterização do carvão vegetal de galhos de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 39-43, 2019.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4. ed. Nova Odessa: Plantarum. v. 1, 2000. 368p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. Secretaria de Energia Elétrica, Brasília. 2020.

MURARO, H. A. Queima de biomassa em caldeiras e aquecedores de água. 2018. 24 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia elétrica)**. UNOPAR, Ponta Grossa, Paraná, 2018.

MONÇÃO, N. B. N., et al. Assessing chemical constituents of *Mimosa caesalpiniiifolia* stem bark: possible bioactive components accountable for the cytotoxic effect of *M. caesalpiniiifolia* on human tumour cell lines. **Molecules**, v. 20, n. 3, p. 4204-24, 2015.

MORESCHI, J. C. **Propriedades Tecnológicas da Madeira**. Apostila, 3ª ed. Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2010.

NUMAZAWA, S. Contribution à l'étude de la pyolyse lente sous pression du bois – Détermination des paramètres optima du procédé et caractéristiques des produits obtenus, **Tese de Doutorado**, Université de Technologie de Compiègne, França, 2000.

OLIVEIRA, A. M. Q.; PINHEIRO. J. G. L.P. ENERGIA RENOVÁVEL COM UTILIZAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA:Tecnologia ambiental e avaliação do crescimento no Âmbito global com interface da Produção brasileira de energia. **Revista Episteme Transversalis**, Volta Redonda-RJ, v.11, n.1, p.242-267, 2020.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. **Documento 38**, Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

PFAU, S. F.; HANSEN, S. V.; STRAATSMA, M. W.; KOOPMAN, K. R.; LEUVEN, R. S. E. W.; HUIJBREGTS, M. A. J. Life cycle greenhouse gas benefits or burdens of residual biomass from landscape management. **Journal of Cleaner Production**, 220, 698-706. 2019.

QUENÓ, L. R. M. Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e de capim elefante para energia. 2009, 64 f. **Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)** - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

REZENDE, M. A.; ESCOBEDO, J. F. Retratabilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. **Instituto de Pesquisas Florestais**, 1988. m. 39, p. 33-40.

RIBASKI, J.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, V. R. de; DRUMOND, M. A. . **Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*): árvore de múltiplo uso no Brasil**. Comunicado Técnico, 104. Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

RIBASKI, J. **Tecnologias silviculturais para produção de florestas energéticas. Documento 310**. Embrapa florestas. Colombo, Paraná, 2017.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização do bioma caatinga – características e potencialidades. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Org.). Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. Brasília: **Serviço Florestal Brasileiro**, 2010. p. 29-42

SANTOS, J. A. LIMA, V. O. B.; OLIVEIRA, J. C.; MATOS, P. S.; TRAZZI, P. A. Avaliação do crescimento de clones de eucalipto no norte de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v.14 n.26. 2017.

SANTOS, L.C.; CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. de C. O.; TRUGILHO, P. F. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 971-980, 2012.

SANTOS, R. C. et al. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no estado do Rio Grande do Norte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, 2013 p. 491-502.

SCHAFFER, E. L. Effect of pyrolytic temperatures on the longitudinal strenght of dry Douglas fir. **Journal of testing and evaluation**, 1973. v. 1, n. 4, p 319-329.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SBF); **Boletim SNIF 2018**. ed.1. 2018.

SILVA, D. A. et al. **Caracterização energética do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. São Jorge: Universidade Federal do Paraná, 2011.

SILVA, L. C. R. MACHADÃO, S. A.; GALVÃO, F.; FIGUEIREDO FILHO, A. Evolução estrutural de bracatingais da região metropolitana de Curitiba, Paraná, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 171-179, 2016.

SILVA, J. F. et al. Economia, agricultura e clima através de modelo digital do terreno na microrregião de Vitória de Santo Antão. **Revista Geama**, v. 1, n. 1, p. 43-58, 2016.

TRUGILHO, P. F. Energia da biomassa florestal. Universidade Federal de Lavras. S.d.Disponível em: <<http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-05.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2020

VALE, Ailton Teixeira et al. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2011.

VASCONCELOS, I.; ALMEIDA, R. T.; NESS, R. L. L. Behavior of 19 strains of Rhizobium sp. in symbiosis with sabia, Mimosa caesalpiniaefolia Benth. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, 17 (1):pág. 99-103. 1986.

VOVELLE, C. e MELLOOTTEE, H. Modelisation de La Pyrolyse Oxydante ou Noxydante De Bois Ou De Déchets Végétaux À Partir De Leurs Composants. In: PALZ, W.; CHARTIER, P. (Eds.). **Energy From Biomass**. 2. Ed. London: Applied Sciences, 1982. P. 925-929

7 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALMEIDA, A. M. C.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; MEDEIROS NETO, P. N.; PIMENTA, A. S. Avaliação físico-química e energética da madeira das espécies *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke e *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Smith de ocorrência no semiárido nordestino brasileiro. **Ciência Florestal**, 2015. v. 25, n. 1, p. 165-173.

ALMEIDA, C. C. F.; BRAND, M. A.; BALDUINO, A. L. J.; CUNHA, A. B. Qualidade energética da madeira e de briquetes produzidos a partir de *Cupressus lusitanica* Mill. **Scientia Forestalis**, 2015. v. 43, n. 108.

ALMEIDA, G.; BRITO, G. O.; PERRÉ, P. Alternations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: The potential of mass loss as a synthetic indicator. **Bioresource Technology**, 2010. v.101.

AMARAL, S. S.; CARVALHO JÚNIOR, J. A.; COSTA, M. A. M.; SOARES NETO, T. G.; DELLANI, R.; LEITE, L. H. L. Comparative study for hardwood and softwood forest biomass: Chemical characterization, combustion phases and gas and particulate matter emissions. **Bioresource Technology**, 2014. v. 164.

ANATER, M. J. N.; SANQUETTA, C. R.; BRAND, M. A.; SILVA, D. A.; CORTE, A. P. D. análise da qualidade do carvão vegetal para uso residencial na região de Curitiba, Paraná, Brasil. *Scientia Forestalis*, 2019. v. 47, n. 123, p. 494-504.

ANDRADE, C. R.; DIAS JÚNIOR, A. F.; BRITO, J. O.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A. Waste wood of urban origin for energy use. *Revista Árvore*, 2017. v. 41, n. 2.

ANDRADE, T. C. G. R.; BARROS, N. F.; DIAS, L. E.; AZEVEDO, M. I. R. Biomass yield and calorific value of six clonal stands of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake cultivated in northeastern Brazil. *Cerne*, 2013. v. 19, n. 3, p. 467-472.

ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F.; MOULIN, J. C.; GOULART, S. L.; BARAÚNA, E. E. P.; ABREU NETO, R. Anatomy of Charcoal and Carbonization Effect under *Eucalyptus* Fibers Dimensions. *Floresta e Ambiente*, 2020. v. 27, n. 1.

ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; ANDRADE, C. R. Características do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Cerne*, 2013. v. 19, n. 3, p. 423-431.

ARAÚJO, A. C. C.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BRAGA, P. P. C.; LIMA, R. V.; PROTÁSIO, T. P. Efeito da relação siringil/guaiacil e de fenóis derivados da lignina nas características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* spp. *Scientia Forestalis*, 2016. v. 44, n. 110, p. 405-414.

ARAÚJO, S.; BOAS, M. A. V.; NEIVA, D. M.; CARNEIRO, A. C.; VITAL, B.; BREGUEZ, M. PEREIRA, H. Effect of a mild torrefaction for production of eucalypt wood briquettes under different compression pressures. *Biomass and Bioenergy*, 2016. v. 90.

AREIAS, A. Aspectos político-econômicos, sociais e ambientais do uso da biomassa de cana-de-açúcar para geração de energia elétrica. *Scientific Electronic Archives*. Vol. 13 (3). 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 11941 - Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 2003, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14929 - Madeira- Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2003, 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8633 - Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9165 Carvão vegetal - Determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 8p.

ASSIS, C. F. C.; LEAL, E. M.; ASSIS, P. S.; NASCIMENTO, L. M.; KONISHI, H.; USUI, T. Experimental analysis of injecting different blends of biomass materials and charcoal in a blast furnace. *Ironmaking & Steelmaking*, 2019.

BARROS, M. L.; SILVA, R. G. C.; PADILHA, M. C. S.; SÁ, V. A. Caracterização energética de *Eucalyptus* sp. provenientes de dois tratamentos do solo em Alagoas. IV Congresso Brasileiro de Eucalipto, Salvador. 2019.

BARROS, S. V. S.; NASCIMENTO, C. C.; AZEVEDO, C. P. Caracterização tecnológica da madeira de três espécies florestais cultivadas no Amazonas: Alternativa para produção de lenha. *Revista Floresta*, 2012. v. 42, n. 4, p. 725 -732.

BARROS, S. V. S.; PIO, N. S.; NASCIMENTO, C. C.; AZEVEDO, C. P.; COSTA, S. de S. Avaliação do potencial energético das espécies florestais *Acacia auriculiformis* e *Ormosia paraensis* cultivadas no município de Iranduba/Amazonas, Brasil. *Madera y Bosques*, 2009. v. 15, n. 2.

BARROS, S. V. S.; PIO, N. S.; NASCIMENTO, C. C.; AZEVEDO, C. P.; COSTA, S. de S. Avaliação do potencial energético das espécies florestais *Acacia auriculiformis* e *Ormosia paraensis* cultivadas no município de Iranduba/Amazonas, Brasil. *Madera y Bosques*, 2009. v. 15, n. 2.

BELLOTE, A. F. J. et al. Biomassa e sua participação na matriz energética brasileira. Embrapa Territorial - Capítulo em livro científico (ALICE), 2018.

BOSCHETTI, W. T. N.; LOPES, A. C. P.; RIBEIRO, R. A.; REYES, R. Q.; CARNEIRO, A. C. O. Krat Lignin as an additive in pine and eucalyptus particle composition for briquette production. *Revista Árvore*, 2019. v. 43, n. 2.

BOSCHETTI, W. T. N.; PEREIRA, M. P. C. F.; SORATTO, D. N.; BOA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VIDAURRE, G. B.; CARVALHO, A. M. M. L. Properties of charcoal produced from reaction wood in trees inclined due to wind. *Revista Árvore*, 2017. v. 46, n. 6.

BOTRAEL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; SILVA, J. R. M. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de Eucalyptus. *Revista Árvore*, 2007. v. 31, n. 3, p. 391-398.

BRAND, M. A. Potencial de uso da biomassa florestal da caatinga, sob manejo sustentável, para geração de energia. *Ciência Florestal*, 2017. v. 27, n. 1, p. 117-127.

BRAND, M. A.; BRITO, J. O.; QUIRINO, W. F.; MUÑIZ, G. I. B. Influência da época de estocagem na qualidade da biomassa florestal para a geração de energia. *FLORESTA*, 2012. v. 42, n. 2, p. 369 - 380.

BRAND, M. A.; CUNHA, A. B.; CARVALHO, A. F.; BREHMER, D. R.; KÜSTER, L. C. Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar, em Biguaçu, Santa Catarina. *Scientia Forestalis*, 2013. v. 41, n. 99, p. 401-410.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; BRITO, J. O.; QUIRINO, W. F. Influência das dimensões da biomassa estocada de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden na qualidade do combustível para geração de energia. *Revista Árvore*, 2014. v. 38, n. 1, p. 175-183.

BRAND, M. A.; OLIVEIRA, L. C.; LACERDA, S. R.; TONIOLO, E. R.; LEAL JÚNIOR, G.; CAMPELLO, R. B. Caracterização da vegetação da caatinga do sul do Piauí para geração de energia. *FLORESTA*, 2015. . 45, n. 3, p. 477-486.

BRAND, M. A.; RODRIGUES, A. A.; OLIVEIRA, A.; MACHADO, M. S.; ZEN, L. R. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na região serrana sul de Santa Catarina. *Revista Árvore*, 2015. v. 39, n. 6, p. 1165-1173.

BRAND, M. A.; STÄHELIN, S. F.; FERREIRA, J. C.; NEVES, M. D. Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. *Revista Árvore*, 2014. v. 38, n. 2, p. 353-360.

BRAND, Martha Andreia. Potencial de uso da biomassa florestal da caatinga, sob manejo sustentável, para geração de energia. *Ciência Florestal*, v. 27, n. 1, p. 117-127, 2017.

BRASIL, Decreto nº 8.375, de 11 de dezembro de 2014. Define a Política Agrícola para Florestas Plantadas. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. Instituto de Pesquisas Estudos Florestais - IPEF, n. 16, p. 63 – 70, 1978.

BRUN, E. J.; BERSCH, A. P.; PEREIRA, F. A.; SILVA, D. A.; BARBA, Y. R.; DORINI JÚNIOR, J. R. Caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp., 2018. v. 48, n. 1, p.87-92.

BRUN, E. J.; BERSCH, A. P.; PEREIRA, F. A.; SILVA, D. A.; BARBA, Y. R.; DORINI JUNIOR, J. R. Caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. Revista Floresta, Curitiba, v. 48, n. 1, p.87-92, 2017.

CAMPOS, A. A. Estudo potencial energético de combustíveis derivados da biomassa: construção de um calorímetro isoperibólico. 17º CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, UNIMEP, Piracicaba, 2009.

CANTO, J. L. MACHADO, C. C.; SEIXAS, F.; SOUZA, A. P.; SANT'ANNA, C. M. Avaliação de um sistema de cavaqueamento de ponteiras de eucalipto para aproveitamento energético. Revista Árvore, 2011. v. 35, n. 6, p.1327-1334.

CARDOSO, M. G. A. Quantificação de substâncias tânicas nas diferentes partes da planta sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.). Trabalho de Conclusão de Curso. 38p. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, Natal. 2017.

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e diferentes materiais genéticos. Revista Árvore, 2014. v. 38, n. 2, p. 375-381.

CARVALHO, A. C. Potencial energético da madeira de espécies florestais em área sob manejo sustentável, após corte raso, no Rio Grande do Norte. Dissertação (Ciências Florestais). 2018. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Macaíba, Rio Grande do Norte, 2018.

CARVALHO, A. C.; SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, C. P. S.; COSTA, S. E. L.; CARVALHO, A. J. E.; PAREYN, F. G. C.; VIDAURRE, G. B.; DIAS JÚNIOR, A. F.; ALMEIDA, M. N. F. Produção de energia da madeira de espécies da Caatinga aliada ao manejo florestal sustentável. Scientia Forestalis, 2020. v. 48, n. 126.

- CARVALHO, P. E. R. Sabiá - *Mimosa caesalpiniiifolia*. Circular técnica, 135. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.
- CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; SANTOS, R. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A. Correlations between age, wood quality and charcoal of eucalyptus clones. *Revista Árvore*, 2016. v. 40, n. 3.
- CHAVES, Antônio M. Brito et al.. Características energéticas da madeira e do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia*, v. 9, n. 17, p. 533 – 542, 2013.
- CHRISTOFORO, A. L.; BANCZEK, E. P.; FÁVARO, J. M.; KLUGER, L.; MARGRAF, A.; MACHADO, G. O. Energetic performance of a portable cooking stove prototype for nine *Eucalyptus* species. *Nativa*, 2019. v. 7, n. 6, p. 771-777.
- COELHO JÚNIOR, 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*, 2019. v. 26, n. 3.
- COSTA, E. V. S.; PEREIRA, M. P. C. F.; SILVA, C. M. S.; PEREIRA, B. L. C.; ROCHA, M. F. V.; CARNEIRO, A. C. O. Torrefied briquettes of sugar cane bagasse and *Eucalyptus*. *Revista Árvore*, 2019. v. 43, n. 1.
- COSTA, L. J.; LIMA, L. V. L.; PAULA, M. O.; CARNEIRO, A. C. O.; REIS, M. F. C.; SOARES, J. D. Correlation between compression strength parallel of wood and charcoal of *Eucalyptus* clones. *Scientia Forestalis*, 2018. v. 46, n. 120, p. 606-613.
- COSTA, S. E. L.; SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CASTRO, A. F. N. M.; MAGALHÃES, M. A.; CARNEIRO, A. C. O.; SANTOS, C. P. S.; GOMES, I. R.; ROCHA, S. M. G. Briquettes quality produced with the macauba epicarp (*Acrocomia aculeata*) and *Pinus* sp. wood. *Revista Árvore*, 2019. v. 43, n. 5.
- COSTA, T. G.; BIANCHI, M. L.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. *Cerne*, 2014. v. 20, n. 1, p. 37-46.
- COUTO, A. M.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; SÁ, V. A. Multivariate analysis applied to evaluation os *Eucalyptus* clones for bioenergy production. *Cerne*, 2013. v. 19, n. 4.

COUTO, A. M.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGUILHO, P. F.; NEVES, T. A.; SÁ, V. A. Multivariate analysis applied to evaluation os Eucalyptus clones for bioenergy production. *Cerne*, 2013. v. 19, n. 4.

COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; PROTÁSIO, T. P. Qualidade do carvão vegetal de Eucalyptus e Corymbia produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização. *Scientia Forestalis*, 2015. , v. 43, n. 108, p. 817-831.

CREUTZIG, F.; RAVINDRANATH, N. H.; BERNDES, G; BOLWIG, S.; BRIGHT, R.; CHERUBINI, F.; CHUM, H.; CORBERA, E.; DELUCCHI, M.; FAAIJ, A.; FARGIONE, J.; HABERL, H.; HEATH, G.; LUCON, O.; PLEVIN, R.; POPP, A.; ROBLEDO-ABAD, C.; ROSE, S.; SMITH, P.; STROMMAN, A.; SUH, S.; MASERA, O. Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. *GCB- Bioenergy* 7, 916-944. 2015.

CUNHA, T. Q. G.; SANTOS, A. C.; NOVAES, E.; HANSTED, A. L. S., YAMAJI, F. M.. SETTE JÚNIOR, C. R. Eucalyptus expansion in Brazil: Energy yield in new forest frontiers. *Biomass and Bioenergy*, 2021. v. 144.

DEBONI, T. L.; SIMONI, F. J.; BRAND, M. A.; LOPES, G. P. Evolution of quality of forest biomass for energy generation in a cogeneration plant. *Renewable Energy*, 2019. v. 135.

DELUCIS, R. A.; SANTOS, P. S. B.; BELTRAME, R.; GATTO, D. A. Chermical and fuel properties of forestry wastes from pine plantations. *Revista Árvore*, 2017. v. 41, n. 5.

DIAS JR, A. F.; ANDRADE, A. M.; CARVALHO, A. M.; BENÍCIO, E. L.; BRITO, J. O. Produção de briquetes de moinha de carvão vegetal e resíduos lignocelulósicos visando uso bioenergético. *Scientia Forestalis*, 2016. v. 44, n. 111.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, C. R.; PROTÁSIO, T. P.; MELO, I. C. N. A.; BRITO, J. O.; TRUGUILHO, P. F. Pyrolysis and wood by-products of species from the Brazilian semi-arid region. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 46, n. 117, p. 65-75, 2018.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRANDE, A. M.; SOARES, V. W.; COSTA JÚNIOR, D. S.; FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. S. Potencial energético de sete materiais genéticos de Eucalyptus cultivados no Estado do Rio de Janeiro. *Scientia Forestalis*, 2015. v. 43, n. 108, p. 833-843.

DIAS JÚNIOR, A. F.; COSTA JÚNIOR, D. S.; ANDRADE, A. M.; OLIVEIRA, E.; LANA, A. Q.; BRITO, J. O. Quality of Eucalyptus Wood Grown in Rio de Janeiro State for Bioenergy. *Floresta e Ambiente*, 2016. v. 23, n. 3, p. 435-442.

DIAS JÚNIOR, A. F.; SUUCHI, M. A.; ANNA NETO, A. S.; SILVA, J. G. M.; SILVA, A. M.; SOUZA, N. D.; PROTÁSIO, T. P.; BRITO, J. O. Blends of charcoal fines and wood improve the combustibility and quality of the solid biofuels. *BioEnergy Research*, 2020.

ELOY, E.; BANDERA, E.; MANGINI, T.; ZANCHETTA, L. S.; TREVISAN, R.; CARON, B. O.; CANDATEN, L. Influence of drying on the physical and mechanical properties of wood from trees grown in a agroforestry system. *Revista Árvore*, 2020. v. 44.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SILVA, D. A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; ELLI, E. F. Influência do espaçamento nas características energéticas de espécies arbóreas em plantios de curta rotação. *Revista Árvore*, 2014. v. 38, n. 3, p. 551-559.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SILVA, D. A.; SOUZA, V. Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; ELLI, E. F. Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação. *Ciência Rural*, 2015. v. 45, n. 8, p. 1424-1431.

ELOY, E.; SILVA, D. A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R.; CARON, B. O.; ELLI, E. F. Effect of planting age and spacing on energy properties of *Eucalyptus grandis* W. Hill EX Maiden. *Revista Árvore*, 2016. v. 40, n. 4, p. 749-758.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

EUFRADE JÚNIOR, H. J.; GUERRA, S. P. S.; SANSÍGOLO, C. A.; BALLARIN, A. W. Management of Eucalyptus short-rotation coppice and its outcome on fuel quality. *Renewable Energy*, 2018. v. 121, p. 309-314.

EUFRADE JÚNIOR, H. J.; LEONELLO, E. C.; SPADIM, E. R.; RODRIGUES, S. A.; AZEVEDO, G. B.; GUERRA, S. P. S. Stump and coarse root biomass from eucalypt forest plantations in a commercial-scale operation for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 2020. v. 142.

EUFRADE JÚNIOR, H. J.; MELO, R. X.; SARTORI, M. M. P.; GUERRA, P. S.; BALLARIN, A. W. Sustainable use of eucalypt biomass grown on short rotation coppice for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 2016. v. 90.

EUFRADE JÚNIOR, H. J.; MELO, R. X.; SARTORI, M. M. P.; GUERRA, S. P. S.; BALLARIN, A. W. Sustainable use of eucalypt biomass grown on short rotation coppice for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 2016. v. 90, p. 15-21.

EVARISTO, A. B.; MARTINO, D. C.; FERRAREZ, A. H.; DONATO, D. B.; CARNEIRO, A. C. O.; GROSSI, J. A. S. Potencial energético dos resíduos do fruto da macaúba e sua utilização na produção de carvão vegetal. *Ciência Florestal*, 2016. v. 26, n. 2, p. 571-577.

FARAGE, R. M. P.; REZENDE, A. A. P.; SILVA, C. M.; NUNES, W. G.; CARNEIRO, A. C. O.; VIEIRA, D. B.; RODRIGUES, C. L. S. Avaliação do potencial de aproveitamento energético dos resíduos de madeira e derivados gerados em fábricas do polo moveleiro de Ubá - MG. *Ciência Florestal*, 2013. v. 23, n. 1, p. 203-212.

FARIAS, R. R. S. de; CASTRO, A. A. J. F. Fitossociologia de trechos do Complexo de Campo Maior, Campo Maior, PI, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 949-963, 2004.

FERNANDEZ, B. O.; GONÇALVES, B. F.; PEREIRA, A. C. C. ; HANSTED, A. L. S.; PÁDUA, F. A.; RÓZ, A. L.; YAMAJI, F. M. Características Mecânicas e Energéticas de Briquetes Produzidos a partir de Diferentes Tipos de Biomassa. *Revista Virtual de Química*, 2016. v. 9, n. 1, p. 29-38.

FERREIRA, E. S.; REZENDE, C. A. Simple preparation of cellulosic lightweight materials from eucalyptus pulp. *ACS Sustainable Chem. Eng*, 2018. v. 6, n. 11, p. 14365–14373.

FERREIRA, J. C.; STÄHELIN, T. S. F.; VALIN, M.; BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. Qualificação da biomassa em povoamentos florestais de *Pinus taeda*. *FLORESTA*, 2016. v. 46, n. 2, p. 269-276.

FERREIRA, M. C.; SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; SILVA, G. G. C.; CASTRO, A. F. N. M.; COSTA, S. E. L.; PIMENTA, A. S. Biomass and energy production at short rotation Eucalyptus clonal plantations deployed in Rio Grande do Norte. *Revista Árvore*, 2017. v. 41, n. 5.

FERREIRA, R. L. C. et al. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serrapilheira em um bosque de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth). *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 7-12, 2007.

- FERREIRA, V. R. S.; CADEMARTORI, P. H. G.; LIMA, E. A.; FERRAZ, F. A.; AGUIAR, O. J. R.; SILVA, D. A. Produção e avaliação de briquetes de *Schizobolium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby. *Scientia Forestalis*, 2020. v. 48, n. 128.
- FISCHER, H. C. V.; LIMA, L. S.; FELSNER, M. L.; QUINÁIA, S. P. Estudo da capacidade de adsorção de carvões ativados comerciais versus tempo de armazenamento. *Ciência Florestal*, 2019. v. 29, n. 3, p. 1090-1099.
- FOELKEL, C. Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade. In: Foelkel, C. (Org.). *Eucalyptus Online Book & Newsletter*. 2016.
- FONSECA, C. M. B.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; PIMENTA, A. S.; SOUZA, P. F.; COSTA JÚNIOR, D. S. C. Potencial energético do carvão do *Ziziphus joazeiro* (Martius) e da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. *Ciência Florestal*, 2020. v. 30, n. 3, p.613-619.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO); El estado de los bosques del mundo. Roma, 2016.
- FORTLEZA, A. P.; NASCIMENTO FILHO, J. J. P.; CERETTA, R. P. S.; BARROS, D. S.; SILVA, S. S. Biomassa de espécies florestais para produção de carvão vegetal. *Ciência Florestal*, 2019. n. 3, p. 1436-1451.
- FREITAS, A. J.; COSTA, A. C. S.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C.; ROCHA, M. F. V.; CARNEIRO, A. C. O. Efeito da pressão e do tempo de compactação nas propriedades de briquetes de resíduos madeireiros de paricá. *Nativa*, 2016. v. 4, n. 6.
- FURTADO, T. S.; FERREIRA, J. C.; BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; QUIRINO, W. F. Mapeamento da frequência de uso e características da biomassa florestal utilizada para geração de energia em Lages, SC. *Ciência Florestal*, 2012. v. 22, n. 4, p. 795-802.
- GADELHA, F. H. L. et al. Produtividade de clones de eucaliptos em diferentes sistemas de manejo para fins energéticos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 35, n. 83, p. 263-270, 2015.
- GADELHA, F. H. L.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; MELO, I. V.; JORGE, D. L.; TAVARES, J. A.; SILVA, S. P. R. Rendimento volumétrico e energético de clones híbridos de *Eucalyptus* sp. no polo gesseiro do Araripe, PE. *Ciência Florestal*, 2012. v. 22, n. 2, p. 331-341.
- GARCIA, E. A.; GUERRA, S. P. S.; EUFRADE JÚNIOR, H. J.; SANSÍGOLO, C. A.; LANÇAS, K. P.; YAMAJI, F. M. Análise química da madeira com casca em sistemas florestais de curta rotação. *Revista Árvore*, 2016. v. 40, n. 1, p. 163-171.

GOMES, A. F.; MARTINS, M. A.; PEREIRA, E. G.; SANTOS, I. S.; CARNEIRO, A. C. O. Qualidade do carvão vegetal submetido a diferentes taxas de resfriamento com trocador de calor. *Ciência Florestal*, 2020. v. 30, n. 3, p. 677-687.

GONÇALVES, C.A. et al. Caracterização físico-química da madeira de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). *Revista Caatinga*, v.23, n.1, p.54-62, 2010.

GONÇALVES, J. E.; SARTORI, M. M. P.; LEÃO, A. L. Energy from briquettes produced from remains of urban solid residues and wood of *Eucalyptus grandis*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2009. v. 13, n. 5.

GONÇALVES, J. E.; SARTORI, M. M. P.; LEÃO, A. L. Energy from briquettes produced from remains of urban solid residues and wood of *Eucalyptus grandis*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2009. v. 13, n. 5.

GRANADO, M. P. P.; SUHOGUSOFF, Y. V. M.; SANTOS, L. R. O.; YAMAJI, F. M.; CONTI, A. C. Effects of Pressure Densification on Strength and Properties of Cassava Waste Briquettes. *Renewable Energy*, 2020. v. 20.

HANSTED, A. L. S.; CACURO, T. A.; NAKASHIMA, G. T.; COSTA, V. E.; YAMAMOTO, H.; YAMAJI, F. M. Use of a lignocellulosic residue as a solid fuel: The effect of ash content in the energy potential. *Industrial Crops & Products*, 2018. v. 116.

HANSTED, A. L. S.; NAKASHIMA, G. T.; MARTINS, M. P.; YAMAJI, F. M. Caracterização Físico-Química da Biomassa de *Leucaena leucocephala* para Produção de Combustível Sólido. *Revista Virtual de Química*, 2016. v. 8, n. 5.

HSING, T. Y.; PAULA, N. F.; PAULA, R. C. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*. *Ciência Florestal*, 2016. v. 26, n. 1, p. 273-283.

IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2016*. França, 2016.

IGNACIO, L. H. S.; SANTOS, P. E. A.; DUARTE, C. A. R. An experimental assessment of *Eucalyptus urophylla* energy potential for biomass production in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019. v. 103, p. 361-369.

IGNACIO, L. H. S.; SANTOS, P. E. A.; DUARTE, C. A. R. An experimental assessment of *Eucalyptus urophylla* energy potential for biomass production in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019. v. 103.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ); Relatório Anual (2019). Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>> Acesso em: 07 de out de 2019.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO (IPA). Polo gesseiro do Araripe: Potencialidades, problemas e soluções. Relatório do Evento. 2014.

JARA, E. R. P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989.

JESUS, M. S.; COSTA, L. J.; FERREIRA, J. C.; FREITAS, F. P.; SANTOS, L. C.; ROCHA, M. F. V. Caracterização energética de diferentes espécies de Eucalyptus. FLORESTA, 2017. v. 47, n. 1, p. 11-16.

KLAUTAU, J. P. Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo co-corrente para secagem de grãos. 2008, 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

KLITZKE, Ricardo Jorge. Curso de secagem da madeira – Módulo 01. p. 1 – 119, 2007.

KLOCK, U. et al. Química da madeira. 4ª edição revisada. Curitiba: UFPR, 2013. 86p.

LEITE, E. R. S.; PROTÁSIO, T. P.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A. Technological study of wood from Coffea arabica L. aiming for its complete combustion and pyrolysis. Coffee Science, 2015. v. 10, n. 2, p. 158 - 168.

LEITE, E. R. S.; PROTÁSIO, T. P.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F.; TONOLI, G. H. D.; BIFALINO, L. Avaliação da qualidade de madeira de Coffea arabica L. como fonte de bioenergia. Cerne, 2014. v. 20, n. 4, p. 541-549.

LIMA JÚNIOR, C. et al. Potencial de aproveitamento energético de fontes de biomassa no Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 7, n. 02, p. 207-221, 2014.

LIMA, M. D. R.; BARROS JÚNIOR, U. O.; ASSIS, M. R.; MELO, I. C. N. A.; FIGUEIREDO, I. C. R.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F. Variabilidade das densidades básica e energética e estoque de carbono na madeira no fuste de clones de Eucalyptus. Scientia Forestalis, 2020. v. 48, n. 128.

LIMA, M. D. R.; PATRÍCIO, E. P. S.; BARROS JÚNIOR, U. O.; ASSIS, M. R.; XAVIER, C. N.; BUFALINO, L.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P. R. G.; PAULA, T. Logging wastes from

sustainable forest management as alternative fuels for thermochemical conversion systems in Brazilian Amazon. *Biomass and Bioenergy*, 2020. v. 140.

LINS, T.R.S. et al. Rendimento e caracterização do carvão vegetal de galhos de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 5, n. 1, p. 39-43, 2019.

LOPES, E. D.; LAIA, M. L.; SANTOS, A. S.; SOARES, G. M.; LEITE, R. W. P.; MARTINS, N. S. Influência do espaçamento do plantio na produção energética de clones de *Corymbia* e *Eucalyptus*. *FLORESTA*, 2017. v. 47, n. 1, p. 95 -104.

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*, 2016. v. 26., n. 2.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 4. ed. Nova Odessa: Plantarum. v. 1, 2000. 368p.

LOUREIRO, B. A.; ASSIS, M. R.; MELO, I. C. N. A.; OLIVEIRA, A. F. F.; TRUGILHO, P. F. Rendimento gravimétrico da carbonização e caracterização qualitativa do carvão vegetal em clones de híbridos de *Corymbia* spp para uso industrial. *Ciência Florestal*, 2021. v. 31, n. 1, p. 214-23.

LOUREIRO, B. A.; VIEIRA, T. A. S.; COSTA, L. J.; SILVA, A. B.; ASSIS, M. R.; TRUGILHO, P. F. Selection of superior clones of *Corymbia* Hybrids based on wood an. v. d charcoal properties. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 2019. v. 21, n. 9.

MAGALHÃES, M. A.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SILVA, C. M. S.; SOUZA, M. M.; FIALHO, L. F. Estimates of mass and energy of different genetic material *Eucalyptus*. *Revista Árvore*, 2017. v. 41, n. 3.

MARQUES, R. D.; CUNHA, T. Q. G.; CHAGAS, M. P.; VENTUROLI, F.; BELINI, G. B.; YAMAJI, F. M.; SETTE JÚNIOR, C. R. Wood quality of five species of the Cerrado for energy purposes. *Scientia Forestalis*, 2020. v. 48, n. 125.

MARTINS, M. P.; BENÍCIO, E. L.; DIAS JÚNIOR, A. F.; ALMEIDA, R. B.; CARVALHO, A. M.; YAMAJI, F. M. Produção e avaliação de briquetes de finos de carvão vegetal compactados com resíduo celulósico proveniente da indústria de papel e celulose. *Revista Árvore*, 2016. v. 40, n. 1, p. 173-180.

MBANZE, A. A.; SILVA, D. A.; TETTO, A. F.; PEREIRA, J. F.; BATISTA, A. C. Potencial energético de combustíveis florestais em cultivo de *Pinus elliottii* no sul do Brasil. *Ciência Florestal*, 2018. v. 28, n. 4, p. 1640-1650.

MEDEIROS NETO, P. N.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; ALMEIDA, A. M. C.; PIMENTA, A. S.; CARNEIRO, A. C. O. Características físico-químicas e energéticas de duas espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. *Ciência Florestal*, 2012. v. 22, n. 3, p. 579-588.

MEDEIROS NETO, P. N.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; ALMEIDA, A. M. C.; PIMENTA, A. S.; CARNEIRO, A. C. O. Características físico-químicas e energéticas de duas espécies de ocorrência no seminário brasileiro. *Ciência Florestal*, 2012. v. 22, n. 3, p. 579-588.

MEDEIROS NETO, P. N.; OLIVEIRA, E.; PAES, J. B. Relações entre as Características da Madeira e do Carvão Vegetal de duas Espécies da Caatinga. *Floresta e Ambiente*, 2014. v. 21, n. 4, p. 484-493.

MENUCELLI, J. R.; AMORIM, E. P.; FREITAS, M. L. M.; ZANATA, M.; CAMBUIM, J.; MORAES, M. L. T.; YAMAJI, F. M.; SILVA JÚNIOR, F. G.; LONGUI, E. L. Potential of *Hevea brasiliensis* Clones, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus tereticornis* wood as raw materials for bioenergy based on Higher Heating Value. *BioEnergy Research*, 2019. v. 12.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro. Secretaria de Energia Elétrica, Brasília. 2020.

MIRANDA, M. A. S.; RIBEIRO, G. B. D.; VALVERDE, S. R.; ISBAEX, C. *Eucalyptus* sp. woodchip potential for industrial thermal energy production. *Revista Árvore*, 2017. v. 41, n. 6.

MONÇÃO, N. B. N., et al. Assessing chemical constituents of *Mimosa caesalpinifolia* stem bark: possible bioactive components accountable for the cytotoxic effect of *M. caesalpinifolia* on human tumour cell lines. *Molecules*, v. 20, n. 3, p. 4204-24, 2015.

MORAES, M. D. A.; SANTOS, J. H.; LIMA, P. A. F.; CONEGLIAN, A.; SOUSA JÚNIOR, A. D.; CANTO, J. L.; SETTE JÚNIOR, C. R. Bioenergia com resíduos do desdobro da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Revista de Ciências Agrárias*, 2019. v. 42, n. 2.

MORAES, M. D. A.; SILVA, M. F.; BARBOSA, P. V. G.; MARQUES, R.; SILVA, R. T.; SETTE JÚNIOR, C. R. Characterization of *Khaya ivorensis* (A. Chev) biomass, charcoal and briquettes. *Scientia Forestalis*, 2019. v. 47, n. 121, p. 34-44."

MORESCHI, J. C. Propriedades Tecnológicas da Madeira. Apostila, 3ª ed. Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2010.

MOULIN, J. C.; NOBRE, J. R. C.; CASTRO, J. P.; TRUGILHO, P. F.; ARANTES, M. D. C. Effect of extractives and carbonization temperature on energy characteristics of wood waste in Amazon rainforest. *Cerne*, 2017. v. 23, n. 2, p. 209-218.

MOUTINHO, V. H. P.; COUTO, A. M.; LIMA, J. T.; AGUIAR, O. J. R.; NOGUEIRA, M. O. G. Energetic characterization of Matá-Matá wood from the brazilian rainforest (*Eschweilera Mart Ex Dc*). *Scientia Forestalis*, 2011. v. 39, n. 92.

MOUTINHO, V. H. P.; COUTO, A. M.; LIMA, J. T.; AGUIAR, O. J. R.; NOGUEIRA, M. O. G. Energetic characterization of Matá-Matá wood from the brazilian rainforest (*Eschweilera Mart Ex Dc*). *Scientia Forestalis*, 2011. v. 39, n. 92.

MOUTINHO, V. H. P.; TOMAZELLO FILHO, M.; BRITO, J. O.; BALLARI, A. W.; ANDRADE, F. W. C. Influence of the wood physical properties on the charcoal physical and mechanical properties. *Scientia Forestalis*, 2016. v. 44, n. 111.

MUÑIZ, G. I. B.; CARNEIRO, M. E.; BATISTA, F. R. R.; SCHARDOSIN, F. Z.; NISGOSKI, S. Wood and charcoal identification of five species from the miscellaneous group known in Brazil as "Angelim" by Near-IR and wood anatomy. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 2016. v. 18, n. 3.

MUÑIZ, G. I. B.; FRANÇA, R. F.; FIORESE, A. E.; NISGOKI, S. Análisis de la estructura anatómica de la madera y del carbón de dos especies de sapotaceae. *Maderas, ciencia y tecnología*, 2013. v. 15., n. 3.

MUÑIZ, G. I. B.; FRANÇA, R. F.; FIORESE, A. E.; NISGOKI, S. Análisis de la estructura anatómica de la madera y del carbón de dos especies de sapotaceae. *Maderas, ciencia y tecnología*, 2013. v. 15., n. 3.

MUÑIZ, G. I. B.; NISGOSKI, S.; SHARDOSIN, F. Z.; FRANÇA, R. F. Anatomia do carvão de espécies florestais. *Cerne*, 2012. v. 18, n. 3, p. 471-477.

MURARO, H. A. Queima de biomassa em caldeiras e aquecedores de água. 2018. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia elétrica). UNOPAR, Ponta Grossa, Paraná, 2018.

NARITA, D. K.; NAKASHIMA, G. T.; RÓZ, A. L.; PIRES, A. A. F.; YAMAJI, F. M. Uso do Guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) para fins energéticos. *Ciência Florestal*, 2018. v. 28, n. 2.

NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W. L. E.; BATISTA, F. R. R.; FRANÇA, R. F.; MUÑIZ, G. I. B. Anatomical and energy characteristics of charcoal made from five species. *Acta Amazonica*, 2014. v. 44, n. 3.

NONES, D. L.; BRAND, M. A.; AMPESSAN, C. G. M.; FRIEDERICHS, G. Quantification of agricultural and forestry waste biomass to production of compacts for power generation. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 2017. v.16, n.2, p.155-164.

NONES, D. L.; BRAND, M. A.; CUNHA, A. B.; CARVALHO, A. F.; WEISE, S. M. K. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. *FLORESTA*, 2015. v. 45, n. 1, p. 57 -64.

NUNES, E. Z.; ANDRADE, A. M.; DIAS JÚNIOR, A. F. Production of briquettes using coconut and eucalyptus wastes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2019. v.23, n.11, p.883-888.

OLIVEIRA, A. C.; ROCHA, M. F. V.; PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; VITAL, B. R. Avaliação de diferentes níveis de desbaste nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. *Floresta*, 2012. v. 42, n. 1.

OLIVEIRA, A. C.; ROCHA, M. F. V.; PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; VITAL, B. R. Avaliação de diferentes níveis de desbaste nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. *Floresta*, 2012. v. 42, n. 1.

OLIVEIRA, A. M. Q.; PINHEIRO, J. G. L.P. ENERGIA RENOVÁVEL COM UTILIZAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA:Tecnologia ambiental e avaliação do crescimento no Âmbito global com interface da Produção brasileira de energia. *Revista Episteme Transversalis*, Volta Redonda-RJ, v.11, n.1, p.242-267, 2020.

ORELLANA, B. B. M. A.; VALE, A. T.; GONÇALEZ, J.; GUEDES, M. C.; ORELLANA, J. B. P.; LIMA, C. M. Produtividade energética da madeira *Tachigali vulgaris* por classe diamétrica em plantio experimentais na Amazônia. *Nativa*, 2018. v. 6.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; OLIVEIRA, E.; MEDEIROS NETO, P. N. Características Físico-Química, Energética e Dimensões das Fibras de Três Espécies Florestais do Semiárido Brasileiro. *Floresta e Ambiente*, 2013. v. 20, n. 4, p. 550-555.

- PARK, S.; ZAIB, Q.; PARK, H. Characterization and optimization of calorific value of low grade coal by statistical experiment and modelling. *Environmental Engineering Research*, 2020. v. 26, n. 2.
- PAULA, J. E.; SILVA JÚNIOR, F. G.; SILVA, A. P. P. Caracterização anatômica de madeiras nativas de matas ciliares do centro-oeste brasileiro. *Scientia Forestalis*, 2000. n. 58, p 73-89.
- PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, A. N.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. *Cerne*, 2011. v. 17, n. 2.
- PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, A. N.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. *Cerne*, 2011. v. 17, n. 2.
- PEREIRA, A. A.; LIMA, M. D. R.; PATRÍCIO, E. P. S.; NUMAZAWA, S.; GOULART, S. L.; PROTÁSIO, T. P. Agrupamento de resíduos madeireiros do manejo florestal sustentável visando à geração de bioenergia. *Scientia Forestalis*, 2020. v. 48, n. 127.
- PEREIRA, B. L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; OLIVEIRA, A. C.; SANTOS, L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; MAGALHÃES, M. A. Efeito da carbonização da madeira na estrutura anatômica e densidade do carvão vegetal de *Eucalyptus*. *Ciência Florestal*, 2016. v. 26, n. 2, p. 545-557.
- PEREIRA, E. G., MARTINS, M. A., SANTOS, L. F. S., & CARNEIRO, A. de C. O. Energy Assessment of Wood Pyrolysis Coproducts for Drying and Power Generation. *Energy & Fuels*, 2017. v. 31, n. 12, p. 13815–13823.
- PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Documento 38, Colombo: Embrapa Florestas, 2000.
- PFAU, S. F.; HANSSEN, S. V.; STRAATSMA, M. W.; KOOPMAN, K. R.; LEUVEN, R. S. E. W.; HUIJBREGTS, M. A. J. Life cycle greenhouse gas benefits or burdens of residual biomass from landscape management. *Journal of Cleaner Production*, 220, 698-706. 2019.
- POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; SANTOS, W. A.; OLIVEIRA, G. L.; ABREU, H. S. Efeito da termorreificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea*. *Cerne*, 2013. v. 19, n. 3, p. 391-398.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. TONOLI, G. H. D.; TRUGILHO, P. F. Técnicas multivariadas aplicadas à avaliação de resíduos lignocelulósicos para a produção de bioenergia. *Ciência Florestal*, 2013. v. 23, n. 4, p. 771-781.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Seleção de Clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. *Scientia Forestalis*, 2013. v. 41, n. 97, p. 015-028.

PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S. L.; NEVES, T. A.; ASSIS, M. R.; TRUGILHO, P. F. Clones comerciais de *Eucalyptus* de diferentes idades para o uso bioenergético da madeira. *Scientia Forestalis*, 2014. v. 42, n. 101.

PROTÁSIO, T. P.; LIMA, M. D. R.; TEIXEIRA, R. A. C.; ROSÁRIO, F. S.; ARAÚJO, A. C. C.; ASSIS, M. R.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F. Influence of Extractives Content and Lignin Quality of *Eucalyptus* Wood in the Mass Balance of Pyrolysis Process. *BioEnergy Research*, 2020.

PROTÁSIO, T. P.; NEVES, T. A.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Efeito da idade e clone na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. visando à produção de bioenergia. *Ciência Florestal*, 2014. v. 24, n. 2, p. 465-477.

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. *Spring Nature*, 2019.

PROTÁSIO, T. P.; LIMA, M. D. R.; SCATOLINO, M. V.; SILVA, A. B.; FIGUEIREDO, I. C. R.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F. Charcoal productivity and quality parameters for reliable classification of *Eucalyptus* clones from Brazilian energy forest. *Renewable Energy*, 2021. v. 164.

QUENÓ, L. R. M. Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e de capim elefante para energia. 2009, 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. *Revista da Madeira*, 2005. n. 85, p. 100-106.

REIS, A. A.; MELO, I. C. N. A.; PROTÁSIO, T.P.; TRUGILHO, P.F.; CARNEIRO, A. C. O. Efeito de Local e Espaçamento na Qualidade do Carvão Vegetal de um Clone de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Floresta e Ambiente*, 2012. v. 19, n. 4, p. 497-505.

RIBASKI, J. Tecnologias silviculturais para produção de florestas energéticas. Documento 310. Embrapa florestas. Colombo, Paraná, 2017.

RIBASKI, J.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, V. R. de; DRUMOND, M. A. . Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*): árvore de múltiplo uso no Brasil. Comunicado Técnico, 104. Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

SACCOL, A. F. O.; WELTER, C. A.; ROSA, R. C.; COLDEBELLA, R.; LONGHI, S. J.; FARIAS, J. A.; PEDRAZZI, C. Aproveitamento da biomassa florestal na fabricação de briquetes. *Revista Matéria*, 2020. v.25, n.2.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização do bioma caatinga – características e potencialidades. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Org.). *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga*. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29-42

SANTOS, C. P. S.; SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; GOMES, I. R. F.; MAIRINCK, K. S. Quality of Briquettes Produced with *Jatropha* and *Eucalyptus*. *Floresta e Ambiente*, 2020. v. 27, n. 2.

SANTOS, C. P. S.; SANTOS, R. C.; CARVALHO, A. J. E.; CASTRO, R. V. O.; COSTA, S. E. L.; LOPES, L. I.; PEREYRN, F. G. C.; DIAS JÚNIOR, A. F.; TRUGILHO, P. F.; CARVALHO, N. F. O.; MAGALHÃES, M. A. Estoque de energia da madeira em áreas sob manejo florestal no Rio Grande do Norte. *Scientia Forestalis*, 2020. v. 48, n. 126.

SANTOS, J. A. LIMA, V. O. B.; OLIVEIRA, J. C.; MATOS, P. S.; TRAZZI, P. A. Avaliação do crescimento de clones de eucalipto no norte de Minas Gerais. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, v.14 n.26. 2017.

SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. *Revista Árvore*, 2012. v. 36, n. 5, p. 971-980.

SANTOS, L.C.; CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. de C. O.; TRUGILHO, P. F. Propriedades da madeira e estimativas de massa,

carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 971-980, 2012.

SANTOS, R. C. et al. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no estado do Rio Grande do Norte. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, n. 2, 2013 p. 491-502.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHE, J. J.; SOUZA, M. M.; CARDOSO, M. T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. *Scientia Forestalis*, 2011. v. 39, n. 90, p. 221-230.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S.; CASTRO, R. V. O.; MARINHO, I. V.; TRUGILHO, P. F.; ALVEZ, I. C. N.; CASTRO, A. F. N. M. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no estado do Rio Grande do Norte. *Ciência Florestal*, 2013. v. 23, n. 2, p. 491-502.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M.; CARVALHO, A. M. M. L. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. *Cerne*, 2011. v. 18, n. 1, p. 143-151.

SANTOS, W. S.; BAKKE, O. A.; SANTOS, W. S.; SILVA, A. A.; JUSTINO, S. T. P. Produção de lenha e forragem de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz submetida à poda anual. *Ciência Floresta*, 2020. v. 30, n. 1, p. 89-103.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos em *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Veraz Cruz, RS. *Ciência Florestal*, 2011. v. 21, n. 1, p. 17-22.

SCHWEZ, F.; DOURADO NETO, D.; CARON, B. O.; NARDINI, C.; SGARBOSSA, J.; ELOY, E.; BEHLING, A.; ELLI, E. F.; REICHARDT, K. Biomass and potential energy yield of perennial woody energy crops under reduced planting spacing. *Renewable Energy*, 2020. v. 153, p. 1238-1250.

SEIXA, F.; BAUCH, S. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. Balanço energético e econômico de duas alternativas de descascamento de madeira de eucalipto. *Scientia Forestalis*, 2005. n. 67, p. 37-43.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SBF); Boletim SNIF 2018. ed.1. 2018.

SETTE JÚNIOR, C. R.; HANSTED, A. L. S.; NOVAES, E.; LIMA, P. A. F.; RODRIGUES, A. C.; SANTOS, D. R. S.; YAMAJI, F. M. Energy enhancement of the eucalyptus bark by briquette production. *Industrial Crops & Products*, 2018. v. 122, p. 209-213.

SETTE JÚNIOR, C. R.; MORAES, M. D. A.; CONEGLIAN, A.; RIBEIRO, R. M.; HANSTED, A. L. S.; YAMAJI, F. M. Forest harvest byproducts: Use of waste as energy. *Waste Management*, 2020. v. 114.

SILVA, A. C.; ARANTES, M. D. C.; GONÇALVES, F. G.; ALMEIDAS, M. N. F.; SANTOS, L. M. H.; ANDRADE, J. K. B.; MININI, B. Qualidade do carvão vegetal produzido com resíduos de eucalipto. *Scientia Forestalis*, 2019. v. 47, n. 123, p. 536-544.

SILVA, A. M. N.; ALBUQUERQUE, J. L.; SILVA, E. S.; SANTOS FILHO, D.; BARBOSA, W. B. The forest biomass (wood) as an energy input for artisans from Tracunhaém/PE. *Custos e @gronegocio online*, 2008. v. 4, n. 3.

SILVA, A. M. N.; ALBUQUERQUE, J. L.; SILVA, E. S.; SANTOS FILHO, D.; BARBOSA, W. B. The forest biomass (wood) as an energy input for artisans from Tracunhaém/PE. *Custos e @gronegocio online*, 2008. v. 4, n. 3.

SILVA, C. J.; VALE, A. T. Energy density model for forest species from cerrado. *Revista Caatinga*, 2018. v. 31, n. 2, p. 396-404.

SILVA, C. M. S.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; OLIVEIRA, A. C.; ARAÚJO, S. O.; MAGALHÃES, M. A. Energy properties of wood particles torrefies at different temperatures. *Revista Árvore*, 2017. v. 41, n. 4.

SILVA, D. A. et al. Caracterização energética do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. São Jorge: Universidade Federal do Paraná, 2011.

SILVA, D. A.; ELOY, E.; CARON, B. O.; TRUGILHO, P. F. Elemental Chemical Composition of Forest Biomass at Different Ages for Energy Purposes. *Floresta e Ambiente*, 2019. v. 26, n. 4.

SILVA, D. A.; YAMAJI, F. M.; BARROS, J. L.; RÓZ, A. L.; NAKASHIMA, G. T. Caracterização de biomassa para a briquetagem. *FLORESTA*, 2015. v. 45, n. 4, p. 713 - 722.

SILVA, J. C. G.; ANDERSEN, S. L. F.; COSTA, R. L.; MOREIRA, R. F. P. M.; JOSÉ, H. J. Bioenergetic potential of Ponkan peel waste (*Citrus reticulata*) pyrolysis by kinetic modelling and product characterization. *Biomass and Bioenergy*, 2019. v. 131.

SILVA, J. F. et al. Economia, agricultura e clima através de modelo digital do terreno na microrregião de Vitória de Santo Antão. *Revista Geama*, v. 1, n. 1, p. 43-58, 2016.

SILVA, L. C. R. MACHADÃO, S. A.; GALVÃO, F.; FIGUEIREDO FILHO, A. Evolução estrutural de bracatingais da região metropolitana de Curitiba, Paraná, Brasil. *Ciência Florestal*, v. 26, n. 1, p. 171-179, 2016.

SILVA, L. L. H.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; PIMENTA, M. A. C.; PIMENTA, A. S.; DANTAS, M. K. L. Características energéticas do carvão vegetal de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit). *Ciência Florestal*, 2018. v. 28, n. 1, p. 412-419.

SILVA, M. F.; FORTES, M. M.; SETTE JÚNIOR, C. R. Characteristics of Wood and Charcoal from Eucalyptus clones. *Floresta Ambiental*, 2018. v. 25, n. 8.

SILVA, M. O. S.; SILVA, M. G.; BUFALINO, L.; ASSIS, M. R.; GONÇALVES, D. A.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. P. Variations in productivity and wood properties of Amazonian tachi-branco trees planted at different spacings for bioenergy purposes. *Journal of Forestry Research*, 2021. v. 32, p. 211–224.

SILVA, M. R. S.; RIBEIRO, E. A. S.; BARBOSA, J. P.; ALVES JÚNIOR, F. T.; GUEDES, M. C.; PINHEIRO, P. G.; BUFALINO, L. Quality attributes of commercial charcoals produced in Amapá, a Brazilian state located in the Amazonia. *Environment, Development and Sustainability*, 2018.

SILVA, M.G.; NUMAZAWA, S.; ARAUJO, M. M.; NAGAIASHI, T. Y. R.; GALVÃO, G. R. Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. *Acta Amazonica*, 2007, v. 37, n. 1.

SILVA, M.G.; NUMAZAWA, S.; ARAUJO, M. M.; NAGAIASHI, T. Y. R.; GALVÃO, G. R. Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. *Acta Amazonica*, 2007, v. 37, n. 1.

SILVA, R. T.; SETTE JÚNIOR, C. R.; FERREIRA, A.; CHAGAS, M. P.; FILHO, M. T. Wood and Briquette Density Under the Effect of Fertilizers and Water Regimes. *Floresta e Ambiente*, 2019. v. 26, n. 1.

SILVA, R. T.; SETTE JÚNIOR, C. R.; FRANCO, M. P.; TOMAZELLO FILHO, M.; LACLAU, J. P.; CHAIX, G. Disponibilidade hídrica e fertilização mineral nas características

da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Ciência Florestal*, 2019. v. 29, n. 3, p. 1168-1179.

SIMETTI, R.; BONDUELLE, G. M.; SILVA, D. A. Wood quality of five *Eucalyptus* species planted in Rio Grande do Sul, Brazil for charcoal production. *Journal of Tropical Forest Science*, 2019. v. 30, n. 2.

SIMIONI, F. J.; HOEFLICH, V. A. Cadeia produtiva de energia de biomassa na região do planalto sul de Santa Catarina: uma abordagem prospectiva. *Revista Árvore*, . v. 34, n. 6, p. 1091-1099.

SOARES, T. S.; GOUVEIRA JUNIOR, W. V.; MATIAS, R. A. M.; CRUZ, E. S. Effect of stocking density on energetic productivity of an eucalyptus stands managed under a short rotation system. *Nativa*, 2018. v. 6, n. 2.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; HÖFLER, J.; PEREIRA, A. J. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. *Cerne*, 2015. v. 21, n. 2, p. 191-197.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J.; HÖFLER, J. Correlações entre a propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. *Revista Árvore*, 2014. v. 38, n. 3, p. 543-549.

SOUZA, C. O.; SILVA, J. G. M.; ARANTES, M. D. C.; VIDAURRE, G. B.; DIAS JÚNIOR, A. F.; OLIVEIRA, M. P. Pyrolysis of *Anadenanthera peregrina* wood grown in different spacings from a forest plantation in Brazil aiming at the energy production. *Spring Nature*, 2019.

SOUZA, H. J. P. L.; ARANTES, M. D. C.; VIADURRE, G. B.; ANDRADE, C. R.; CARNEIRO, A. C. O.; SOUZA, D. P. L.; PROTÁSIO, T. P. Pelletization of eucalyptus wood and coffee growing wastes: strategies for biomass valorization and sustainable bioenergy production. *Renewable Energy*, 2019.

SOUZA, M. M.; SILVA, D. A.; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R. C. FLORESTA, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 325 - 334, abr./jun. 2012. Moura, L. F. de. et al. 325 ESTIMATIVA DE PODER CALORÍFICO E CARACTERIZAÇÃO PARA USO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DA COLHEITA E DO PROCESSAMENTO DE *Pinus taeda*. *Floresta*, 2012. v. 42, n. 2, p. 325 - 334.

SOUZA, N. D.; AMODEI, J. B.; XAVIER, C. N.; DIAS JÚNIOR, A. F.; CARVALHO, A. M. Estudo de Caso de uma Planta de Carbonização: Avaliação de Características e Qualidade do Carvão Vegetal Visando Uso Siderúrgico. *Floresta e Ambiente*, 2016. v. 23, n. 2, p. 270-277.

SPANHOL, A.; NONES, D. L.; KUMABE, F. J. B.; BRAND, M. A. Qualidade dos pellets de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina para a geração de energia. *FLORESTA*, 2015. v. 45, n. 4, p. 833-844.

TAMBURINI, D.; CARTWRIGHT, C. R.; GASSON, P.; ŁUCEJKO, J. J.; LEME, C. L. D. Using analytical pyrolysis and scanning electron microscopy to evaluate charcoal formation of four wood taxa from the caatinga of north-east Brazil. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2020. v. 151.

TEIXEIRA, C. M.; MARTINS, M. P.; YAMAMOTO, H.; CHRISOSTOMO, W.; YAMAJI, F. M. Caracterização Química de Resíduos de Eucalyptus sp. de Floresta de Curta Rotação para a Produção de Bioenergia. *Revista Virtual de Química*, 2016. v. 8, n. 5, p. 1693-1701.

TONINI, H.; SCHWENGBER, D. R.; MORALES, M. M.; MAGALHÃES, C. A. S.; OLIVEIRA, J. M. F. Growth, biomass, and energy quality of Acacia mangium timber grown at different spacings. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, 2018. v.53, n.7, p.791-799.

TRUGILHO, P. F. Energia da biomassa florestal. Universidade Federal de Lavras. S.d.Disponível em: <<http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-05.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2020

TRUGILHO, P. F.; GOULART, S. L.; ASSIS, C. O.; COUTO, F. B. S.; ALVES, I. C. N.; PROTÁSIO, T. P.; NAPOLI, A. Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de Eucalyptus jovens. *Ciência Rural*, 2015. v.45, n.4.

VALE, A.T. Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília para uso energético. Tese de doutorado. Botucatu: Universidade do Estado de São Paulo, 2000. 111p.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. *Ciência Florestal*, 2002. v. 12, n. 1, p. 71-80.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de Cerrado. *Ciência Florestal*, 2010. v. 20, n. 1, p. 137-145.

VALE, A. T.; FIEDLER, N. C.; SILVA, G. F. Avaliação energética da biomassa do cerrado em função do diâmetro das árvores. *Ciência Florestal*, 2002. v. 12, n. 2, p. 115-126.

VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). *Cerne*, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2011.

VASCONCELOS, I.; ALMEIDA, R. T.; NESS, R. L. L. Behavior of 19 strains of *Rhizobium* sp. in symbiosis with *sabia*, *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. *Revista Ciência Agronômica*. Fortaleza, 17 (1):pág. 99-103. 1986.

VEIGA, T. R. L. A.; LIMA, J. T.; DESSIMONI, A. L. A.; PEGO, M. F. F.; SOARES, J. R.; TRUGILHO, P. F. Different plant biomass characterizations for biochar production. *Cerne*, 2017. v. 23, n. 4.

VIADURRE, G. B.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, R. C.; VALLE, M. L. A. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). *Revista Árvore*, 2012. v.36, n.2, p.365-371.

VIEIRA, A. T. O.; NASCIMENTO, A. M.; ANDRADE, A. M.; DIAS JÚNIOR, A. F. Physical-mechanical properties of briquettes produced from charcoal fines and waste of *Pinus* spp. *FLORESTA*, 2018. v. 48, n. 4, p. 513-522.

VIEIRA, A. T. O.; NASCIMENTO, A. M.; ANDRADE, A. M.; DIAS JÚNIOR, A. F. Propriedades termoquímicas de briquetes produzidos com finos de carvão vegetal e resíduos de *Pinus* spp. *Scientia Forestalis*, 2018. v. 46, n. 199.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. S.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T. Caracterização do material combustível superficial no parque nacional serra de Itabaiana - Sergipe, Brasil. *Ciência Florestal*, 2014. v. 24, n. 3, p. 699-706.

ZANUNCIO, A. J. V.; CARVALHO, A. G.; CARNEIRO, A. C. O.; COLODETTE, J. L.; ROCHA, M. F. V. Chemical and energetic characterization of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* clones subject to wind damage. *Revista Árvore*, 2019. v. 43, n. 4."

ZANUNCIO, A. J. V.; CARVALHO, A. G.; TRUGILHO, P. F.; MONTEIRO, T. C.
Extractives and energetic properties of wood and charcoal. Revista Árvore, 2014. v. 38, n. 2.