

Resíduos de biomassa florestal para produção de combustíveis sólidos compactados: uma revisão contextual

Autores:

Glaucileide Ferreira

*Doutoranda em Ciências Florestais.
Universidade Federal do Espírito Santo
- UFES*

Flávia Maria Silva Brito

*Doutora em Recursos Florestais.
Escola Superior de Agricultura Luiz de
Queiroz -ESALQ*

Nédia Pereira Correia Mendes Correia

*Doutoranda em Ciências Florestais.
Universidade Federal do Espírito Santo
- UFES*

Juarez Benigno Paes

*Professor Titular do Departamento de
Ciências Florestais e da Madeira.
Universidade Federal do Espírito Santo
- UFES*

DOI: 10.58203/Licuri.21893

Como citar este capítulo:

FERREIRA, Glaucileide *et al.* Resíduos de biomassa florestal para produção de combustíveis sólidos compactados: uma revisão contextual. In: Andrade, Jaily Kerller Batista (Org.). **Estudos e tendências atuais em Ciências Ambientais e Agrárias.** Campina Grande: Licuri, 2023, p. 142-152.

ISBN: 978-65-85562-18-8

Resumo

A procura por fontes alternativas de energia em substituição aos combustíveis fósseis tornou-se uma questão importante para o futuro do desenvolvimento econômico mundial, e o uso de biomassa florestal na forma de pellets para fins energéticos, além de ser uma alternativa para produção de energias limpas é uma opção de destinação de resíduos lignocelulósicos. O objetivo do trabalho foi apresentar uma revisão da literatura sobre a utilização de resíduos florestais como combustíveis sólidos compactados, que inclui aspectos do processo de fabricação e parâmetros de qualidade dos pellets. O presente trabalho recorreu à pesquisa bibliográfica cuja estrutura foi por meio de análise de artigos acadêmicos, além de relatórios nacionais e internacionais e livros utilizados no levantamento de dados. Foi concluída a importância do aprofundamento dos estudos envolvendo a densificação de diferentes resíduos florestais, uma vez que as características benéficas ao setor energético são encontradas neste estudo.

Palavras-chave: Peletização. Energia renovável. Matriz energética. Densificação.

INTRODUÇÃO

No cenário atual de mudanças climáticas, a procura por fontes alternativas de energia é importante para reduzir o uso de combustíveis fósseis. O único recurso natural e renovável com base em carbono que é vasto o suficiente para ser usado como substituto para os combustíveis fósseis é a biomassa (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2013; ROBERTS et al., 2015).

O Brasil se destaca por apresentar 46,1% de fontes renováveis em sua matriz energética, como biomassa, biocombustíveis e energia hidráulica (SARKODIE; STREZOV; WELDEKIDAN, 2019). Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2020) o País é promissor na produção de energia proveniente de biomassa, pois apresenta localização geográfica e condições climáticas favoráveis, alta produtividade nacional, indústria de serviços para projetos de bioenergia estruturada e políticas nacionais que obrigam o tratamento e destinação adequada dos resíduos.

A cobertura florestal brasileira, segundo o Sistema Nacional de Informações Florestais - SNIF (2022), é constituída por florestas naturais e plantadas e ocupa uma área total de 497,93 milhões de ha, em que as florestas naturais são predominantes (488 milhões de ha), representadas principalmente pela Floresta Amazônica, e 9,93 milhões de hectares, conforme a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2022), formada de florestas plantadas.

De acordo com a IBÁ (2019) o setor florestal gerou cerca de 52,0 milhões de toneladas de resíduos sólidos em 2018, dos quais 36,9 milhões de toneladas (70,9%) foram gerados pelas atividades florestais e 15,1 milhões de toneladas (29,1%) pelas atividades industriais. As pequenas indústrias florestais brasileiras que processam madeira sólida ainda têm baixo rendimento na conversão e geram quantidade significativa de resíduos na usinagem e no beneficiamento do produto, principalmente as indústrias de transformação primária (CHICHORRO; BATISTA, 2017). No desdobro, a porcentagem de resíduos varia comumente entre 40% a 60% do volume da tora (LIMA; SILVA, 2005; FEITOSA, 2008; BRAND, 2010; OLIVEIRA, 2016).

Embora os resíduos madeireiros de maior tamanho sejam aproveitados para diversos fins específicos, os de menores dimensões, como a serragem, podem representar um problema de gestão ambiental para as empresas (HILLIG et al., 2009). Porém, pela falta

de um destino adequado, boa parte desses resíduos são simplesmente empilhados e, em diversos estágios de decomposição, causam problemas de poluição do solo e do lençol freático. Muitas vezes, são queimados a céu aberto ou entram em combustão espontânea, causando também a poluição da atmosfera (DIAS et al., 2012).

Uma das alternativas para agregar valor e reduzir os impactos causados pelos resíduos madeireiros, principalmente a serragem, é sua utilização na produção de energia, na forma de briquetes ou pellets (LIMA; SILVA, 2005). O uso energético desses resíduos tem grandes vantagens, como mudança na matriz energética, ampliação na geração de renda, diminuição dos gases de efeito estufa, diminuição dos volumes de resíduos depositados no ambiente e, conseqüentemente, redução de custos (QUIRINO, 2003).

Combustíveis sólidos compactados produzidos a partir de misturas de biomassas podem contribuir para a redução do gasto energético (RÍOS-BADRÁN et al., 2020). Além disso, a mistura apresenta uma oportunidade de expandir a diversidade de materiais de biomassa que podem ser utilizados para a produção de pellets, contribuindo para otimização do uso dos recursos energéticos e aumento da eficiência energética desses combustíveis. O presente trabalho teve como objetivo apresentar uma revisão da literatura sobre a utilização de resíduos florestais como combustíveis sólidos compactados, desde a geração até o produto final.

PELETIZAÇÃO DA BIOMASSA

A biomassa é considerada fonte de energia renovável quando a oferta da matéria-prima é realizada por meio de manejo florestal adequado ou de resíduos florestais, industriais ou urbanos. A biomassa pode ser oriunda de resíduos sólidos urbanos, florestais, agrícolas, industriais, também podendo ser de origem animal ou vegetal.

A tecnologia de peletização consiste na densificação da biomassa e pode ser realizado a partir de prensas peletizadoras. Esses equipamentos permitem a formação de pellets por meio da compactação da matéria prima e elevação da temperatura (70-100°C) que ocorre como resultado do atrito gerado durante o processo (SANTANA et al., 2020) produzindo pellets com dimensões entre 6 a 12 mm de diâmetro e comprimentos variados (STAHL; BERGHEL, 2011).

Para que os pellets obtenham qualidade, alguns critérios devem ser seguidos durante o processo de peletização como a temperatura da matriz, pressão exercida sobre a biomassa e geometria. Quanto aos fatores intrínsecos da matéria-prima pode-se destacar o teor de umidade, composição química e dimensões das partículas (SHAW, 2008).

Para obtenção de pellets uniformes e padronizados e, conseqüentemente, de fácil manipulação, transporte, armazenamento e utilização, algumas variáveis devem ser consideradas. Com relação ao material e processo de produção, as principais variáveis são umidade, a presença de água na biomassa pode promover a redução da temperatura de transição vítrea de alguns constituintes permitindo a formação de pontes sólidas e aumentando a interação entre partículas por meio de forças de van der Waals. Entretanto, elevados teores de umidade no material podem resultar em pellets com menor densidade e maior geração de finos (TUMULURU, 2018; CASTRO et al., 2021).

Outra variável, são os tamanhos das partículas da biomassa que devem ser uniformizadas antes do processo de compactação, reduzindo as suas dimensões em moinho industrial e classificação em peneiras, de forma que as partículas obtidas apresentem aproximadamente 3 milímetros. A redução de tamanho do material promove o aumento da área superficial e da densidade aparente resultando na maior fluidez e ligações durante o processo de peletização (WARAJANONT; SOPONPONGPIPA; 2013; PRADHAN; MAHAJANI; ARORA, 2018).

A lignina é um componente da biomassa que tem grande importância no processo de peletização, além de possuir o maior poder calorífico, ela também tem o papel de promover a maior adesão das partículas durante o processo pela sua plasticização em temperaturas superiores a 70 °C (KALIYAN e MOREY, 2009). Conforme Nielsen et al. (2009), o processo de peletização é realizado conforme as seguintes etapas:

- Obtenção da matéria-prima: biomassa vegetal disponível, com potencial para energia.
- Uniformização das partículas: preferencialmente com diâmetro máximo inferior a 5,0 mm, para obtenção de um produto de qualidade.
- Secagem da matéria-prima: remoção da umidade do material, a teores entre 8 a 12 %.
- Peletização: compactação por extrusão por meio de uma peletizadora, utilizando pressão em torno de 300 MPa e temperatura aproximada de 120 °C.

- Resfriamento do produto: promove a estabilização da lignina após a peletização em altas temperatura, realizada antes do produto ser direcionado para o empacotamento.
- Empacotamento e armazenamento: utilizam-se sacos plásticos de 5 até 50 kg; fardos industriais de 500 a 1000 kg; ou até em caminhões tanques (a granel).

PARÂMETROS DE QUALIDADE DE PELLETS DE RESÍDUOS FLORESTAIS

O mercado mundial de pellets vem passando por uma expansão. Em 2017 houve um aumento de 13% na sua produção e em 2018 o aumento foi maior, de 26%, o que resultou na produção de 23,8 milhões de toneladas de pellets (XIE et al., 2020). Esse crescimento proporcionou o aumento nas buscas por matérias-primas complementares (BRAND et al., 2021).

Nos últimos anos diversos estudos foram realizados objetivando o aproveitamento dos resíduos. A produção de pellets foi uma alternativa avaliada por muitos pesquisadores, visto que o processo permite a obtenção de um combustível densificado, homogêneo e com baixo teor de humidade (BRAND et al., 2021; GARCIA et al., 2019; SANTANA et al., 2020). Na Tabela 1 pode-se verificar variações em algumas dessas características em pellets produzidos em diferentes pesquisas.

Com relação à composição química, as principais variáveis a serem observadas são os teores de materiais voláteis, enxofre, magnésio, cálcio, fósforo e cinzas (HANH, 2004). Destaca-se o teor de cinzas, que corresponde à fração máxima dos resíduos restantes após a combustão, formados por minerais presentes na biomassa, como cobre, cálcio, ferro, magnésio, potássio e sódio. Elevados teores de cinzas são indesejáveis para a carbonização de biomassas (BRAND, 2014).

Em relação as propriedades físicas, destacam-se o teor de umidade, a densidade e as dimensões do produto (HAHN, 2004). A umidade é um dos fatores mais estudados em processo de peletização, visto que em casos de umidade elevada ocorrerão alguns impactos negativos, como diminuição da durabilidade e da resistência (influenciando no tempo de estocagem), aumento da geração de finos e redução do poder calorífico, o que vai tornar o processo de combustão mais difícil (CARASCHI; PINHEIRO; VENTORIM, 2012).

Tabela 1. Variações de algumas características utilizadas como parâmetros de qualidade de pellets

Matérias-primas	Referências	Características			
		U (%)	CZ (%)	PCI (MJ kg ⁻¹)	DG (kg m ⁻³)
Biomassa florestal residual de Pinus spp. de diferentes procedências	Spanhol et al. (2015)	5,91 a 8,91	0,16 a 0,52	16,93 a 17,41	637,45 a 701,55
Cinco procedências de pellets de madeira de três estados brasileiros	Garcia, Caraschi e Ventorim (2013)	6,20 a 10,25	0,33 a 2,59	16,43 a 18,13	630,10 a 647,40
<i>Dinizia excelsa</i>	Ferreira et al. (2022)	7,22	0,35	18,97	639,35
<i>Manilkara elata</i>	Ferreira et al. (2022)	9,30	0,65	18,97	637,28
Resíduos do café e madeira de <i>Eucalyptus</i> spp.	Faria et al. (2016)	9,80 a 11,53	3,39 a 9,90	17,81 a 18,31	702,70 a 755,60
Pó de cortiça em diferentes granulometrias	Monteiro et al. (2014)	7,37 a 9,04	3,84 a 4,81	17,66 a 21,03	686,57 a 705,10
Polpa de café	Cubero-Abarca et al. (2014)	11,40	6,74	11, 59*	600,00

U: umidade; CZ: cinzas; PCI: poder calorífico inferior; DG: densidade a granel; *Valor referente ao poder calorífico líquido.

A durabilidade é outra propriedade física importante na análise de pellets de biomassa. Pellets mais duráveis não se desagregam facilmente, minimizando a fração de finos, que é indesejável, visto que é prejudicial à saúde humana em casos de inalação, além de também afetar a qualidade dos pellets após o transporte (TEMMERMAN et al., 2006).

O poder calorífico é uma propriedade energética importante na seleção de combustíveis para geração de energia térmica, pois, mede a energia ou o calor liberado

pela combustão completa de uma unidade de massa de combustível (PEREA-MORENO; SAMERÓN-MANZANO; PEREA-MORENO, 2019)

A seguir encontram-se as principais vantagens da utilização de pellets de biomassa (WOLF; VIDLUND; ANDERSON, 2006; CARONE; PANTALEO; PELLERANO, 2011):

- A peletização aumenta a densidade e o poder calorífico, e diminui o teor de umidade, resultando em um material com maior densidade energética que a biomassa original.
- Redução dos custos de transporte, sendo um dos fatores mais importantes na viabilização da peletização, pois com a densificação da biomassa transporta-se mais energia por unidade de massa. Além disso, a geometria dos pellets favorece o seu condicionamento em embalagens, o que facilita o transporte.
- Menor área e custo de estocagem, pois o aumento da densidade possibilita que o produto seja armazenado em áreas menores quando comparado com a biomassa original.
- Produto de fácil manuseio, por ser uniforme e ter pequenas dimensões.
- Agregação de valor aos resíduos, pois a peletização transforma em combustível os resíduos de biomassa que, na maioria dos casos, seriam descartados no meio ambiente.
- Controle da chama e homogeneidade da combustão, principalmente por causa da homogeneidade do material e elevada densidade energética, minimizando as variações do processo nas caldeiras e fornalhas.
- Conservação das características e propriedades do produto por longos períodos após armazenamento. A susceptibilidade às variações ambientais é minimizada, pela sua alta compactação, mantendo-se principalmente a forma, a densidade e a umidade dos pellets.

Nos países em que a produção e o comércio de pellets estão melhores estruturados, há normas que visam a padronização e a obtenção de um produto de qualidade. Entretanto, no Brasil ainda não há uma definição de normas e padrões para biocombustíveis sólidos como os pellets, estando ainda em fase de implantação. Normas europeias e americana, já foram consolidadas e são utilizadas como parâmetros internacionais na avaliação da qualidade de pellets (SPANHOL et al., 2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a pesquisa e análise dos artigos, observa-se que os pellets são uma alternativa viável para substituição de recursos não renováveis como petróleo e carvão mineral que já estão com suas reservas a caminho da exaustão e apresentam maior teor de emissões de gases de efeito estufa.

Assim, surge a oportunidade de desenvolvimento de novos produtos para a fabricação de pellets. Como sugestão para futuras pesquisas, pode ser investigado o desenvolvimento de novos produtos e novos conceitos de bioenergia na forma de material compactado, novas composições e novos processos de produção.

REFERÊNCIAS

- BRAND, Martha Andreia. *Energia de Biomassa Florestal*, Interciência, Rio de Janeiro, 2010.
- BRAND, Martha Andreia; MUÑIZ, Graciela Inês Bolzon de; BRITO, José Otávio; QUIRINO, Waldir Ferreira. Influência das dimensões da biomassa estocada de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden na qualidade do combustível para geração de energia. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 38, n.1, p. 175-183, 2014.
- BRAND, Martha Andreia; RODRIGUES, Taíse Mariano; SILVA, Julio Peretti da; OLIVEIRA, Juliana de. Recovery of agricultural and wood wastes: The effect of biomass blends on the quality of pellets. *Fuel*, v. 284, p. 118881, 2021.
- CARONE, Maria Teresa; PANTALEO, Antonio; PELLERANO, Achille. Influence of process parameters and biomass characteristics on the durability of pellets from the pruning residues of *Olea europaea* L. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, n.1, p. 402-410, 2011.
- CASTRO, Paula Gabriella Surdi de. et al. Quality of *Pinus* sp. pellets with kraft lignin and starch addition. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 900, 2021. Castro
- CHICHORRO, José Franklim; BATISTA, Tharcia Ribeiro. Aproveitamento de resíduos de pequenos empreendimentos madeireiros em Jerônimo Monteiro - ES. *Nativa*, v. 5, n. 1, p. 66 -72, 2017.
- CUBERO-ABARCA, Robert; MOYA, Roger; VALARET, Jorre; TOMAZELLO FILHO, Mario. Use of coffee (*Coffea arabica*) pulp for the production of briquettes and pellets for heat generation. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 38, n. 5, p. 461-470, 2014.

DIAS, José Manuel Cabral de Sousa. et al. *Produção de briquetes e pellets a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais*. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012. 132 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Balço energético nacional, 2020 - Ano base 2019: Relatório final*. Rio de Janeiro 264. Disponível em: https://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf. Acesso em: 02 nov. 2023.

FARIA, Wigor. Souza. et al. Transformação dos resíduos lignocelulósicos da cafeicultura em pellets para geração de energia térmica. *Coffee Science*, v. 11, n. 1, p. 137-147, 2016.

FEITOSA, Bruno da Costa. *Aproveitamento dos resíduos de madeira no Pará*. Curitiba, 2008.

FERREIRA, Glauceide. et al. Wood waste pellets as an alternative for energy generation in the Amazon Region. *BioEnergy Research*, v. 15. p. 1-12, 2022.

GARCIA, Dorival. Pinheiro. et al. Assessment of plant biomass for pellet production using multivariate statistics (PCA and HCA). *Renewable Energy*, v. 139, p. 796-805, 2019.

GARCIA, Dorival Pinheiro; CARASCHI, José Cláudio; VENTORIM, Gustavo. Caracterização energética de pellets de madeira. *Revista da Madeira*, n. 135, p. 14-18, 2013.

HANH, B. *Pellets for Europe: existing guidelines and quality assurance for fuel pellets*, 2004. 20 p.

HILLIG, Éverton; SCHNEIDER, ELISABETE, Vania; PAVONI, Eloide Teresa. Geração de resíduos de madeira e derivados da indústria moveleira em função das variáveis de produção. *Produção*, v. 19, n. 2, p. 292-303, 2009.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. *Relatório IBÁ*. 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2023.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. *Relatório IBÁ*. 2022. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2023.

KALIYAN, Nalladurai; MOREY, R Vance. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, v. 33, n. 3, p. 337-359, 2009.

LIMA, Elaine Garcia de; SILVA, Dimas Agostinho da. Resíduos gerados em indústrias de móveis de madeira situados no polo moveleiro de Arapongas - PR. *Floresta*, v. 35, n. 1, p. 105-116, 2005.

MANZANO-AGUGLIARO, F. et al. Scientific production of renewable energies worldwide: an overview. *Renew Sustain Energy Reviews*, v. 18, p. 134-143, 2013.

- MONTEIRO, Irene. et al. Analysis of pelletizing of granulometric separation powder from cork industries. *Materials, Basel*, v. 7, p. 6686-6700, 2014.
- NIELSEN, Niels Peter K; GARDNER, Douglas J; FELBY, Claus. Effect of extractives and storage on the pelletizing process of sawdust. *Fuel*, v. 89, n. 1, p. 94-98, 2009.
- OLIVEIRA, Celso Marcelo de. *Executivo sumário industrial wood pellets Brasil*. Curitiba, 2016.
- PEREA-MORENO, Miguel-Angel; SAMERÓN-MANZANO, Ester; PEREA-MORENO, Alberto-Jesus. Biomass as renewable energy: worldwide research trends. *Sustainability*, v. 11, n. 3, p. 863, 2019.
- PRADHAN, Priyabrata; MAHAJANI, Sanjay M; ARORA, Amit. Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review. *Fuel Processing Technology*, v. 181, p. 215-232, 1 dez. 2018.
- QUIRINO, Waldir Ferreira. *Utilização energética de resíduos vegetais*. Brasília: LPF/IBAMA, 2003. 14 p.
- RÍOS-BADRÁN, Inés M. et al. Production and characterization of fuel pellets from rice husk and wheat straw. *Renewable Energy*, v. 145, p. 500-507, 2020.
- ROBERTS, Justo José. et al. Assessment of dry residual biomass potential for use as alternative energy source in the party of General Pueyrredón, Argentina. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 41, p. 568-583, 2015.
- SANTANA, Diego Abner Rodrigues. et al. Pelletizing of lignocellulosic wastes as an environmentally friendly solution for the energy supply: insights on the properties of pellets from Brazilian biomasses. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 11598-11617, 2020.
- SARKODIE, Samuel Asumadu. et al. Environmental sustainability assessment using dynamic autoregressive distributed lag simulations-nexus between greenhouse gas emissions, biomass energy, food and economic growth. *Science of The Total Environment*, v. 668, p. 318-332, 2019.
- SHAW, Mark. Feedstock and process variables influencing biomass densification. *PhD dissertation submitted to Department of Agricultural and Bioresource Engineering*. University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada; 2008.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS - SNIF. *As florestas plantadas*. 2022. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/>. Acesso em: 02 nov. 2023.
- SPANHOL, Alana; NONES, Daniela Letícia; KUMABE, Fabricio Junki Blanco; BRAND, Martha Andreia. Qualidade dos pellets de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina para a geração de energia. *Floresta*, v. 45, n. 4, p. 834-844, 2015.

STAHL, Magnus.; BERGHEL, Jonas. Energy efficient pilot-scale production of wood fuel pellets made from a raw material mix including sawdust and rapeseed cake. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, p. 4849-4854, 2011.

TEMMERMAN, Michael; RABIER, Fabienne; JENSEN, Peter Daugbjerg; HARTMANN, Hans; BÖHMM, Thorsten. Comparative study of durability test methods for pellets. *Biomass and Bioenergy*, v. 30, p. 964 - 972, 2006.

TUMULURU, Jaya Shankar. Effect of pellet die diameter on density and durability of pellets made from high moisture woody and herbaceous biomass. *Carbon Resources Conversion*, v. 1, n. 1, p. 44-54, 1 abr. 2018.

WARAJANONT, Sonthi; SOPONPONGPIPAT, Nitipong. Effect of particle size and moisture content on cassava root pellet fuel's qualities follow the acceptance of pellet fuel standard. *International Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 2, n. 2, p. 74-79, 2013.

WOLF, Anna; VIDLUND, Anna; ANDERSON, Eva. Energy efficient pellet production in the forest industry: a study of obstacles and success factors. *Biomass and Bioenergy*, v. 30, p. 38-45, 2006.

XIE, Tian.; WEI, Ruichao.; WANG, Zhi.; WANG, Jian. Comparative analysis of thermal oxidative decomposition and fire characteristics for different straw powders via thermogravimetry and cone calorimetry. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 134, p. 121-130, 2020.

.