



WOOD PROCESSING FOR ENERGY USE

Luiz Antonio Marafon Bacca¹ , Eduardo Gelinski Junior² , Matheus de Paula Gonçalves¹  & Adriana Ferla de Oliveira³ 

1 - Federal University of Paraná, Energy Engineering, Palotina, Paraná, Brasil

2 - University of the Midwest of Paraná, Economics Department Guarapuava, Paraná, Brasil

3 - Federal University of Paraná, Department of Engineering and Exact, Palotina, Paraná, Brasil

Keywords:

Biomass
Bioenergy
Review

ABSTRACT

Forest biomass has been used as an energy source since ancient times. Since then, several ways of using them have emerged, along with technologies to improve their energy quality. One can cite genetic improvement, thermal transformation through pyrolysis for charcoal and torrefied biomass production, and mechanical transformation through compaction, to produce pellets and briquettes and chipping for the production of chips. However, it is somehow difficult to find articles on these topics that are clearly and objectively presented, making it difficult to read them. The objective of this work was to search data on the ways of processing forest biomass and solutions for the better use of this biomass and its energy use. Therefore, Google Scholar was used as a database from which articles already recognized and others with less impact were obtained. The following search words were used: Eucalyptus, Pinus, wood chips, pellets, briquettes, charcoal, and torrefied wood. To filter the results obtained, the articles that appeared as the most relevant were selected first, then filtered for articles with less than five years from publication, and those at less than two years of publication. Next, the selected articles went through a verification of the data contained in them, and the necessary information was removed from each, which were the species, immediate analysis, extractives, HCV, etc. These data were organized in tables according to the type of processing, prioritizing the values of greatest interest in each analysis, along with the appropriate references. It was observed from the data obtained that the results are compatible among different researchers in their analyses. For samples processed without thermal treatment, the initial characteristics of the wood are maintained, and when going through pyrolysis or torrefaction, these characteristics are changed.

Palavras-chave:

Biomassa
Bioenergia
Revisão

BUSCA DE DADOS PUBLICADOS SOBRE O BENEFICIAMENTO DA MADEIRA VISANDO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

RESUMO

A utilização da biomassa florestal como fonte de energia tem início na antiguidade. Desde então, diversas formas de utilizá-las surgiram, juntamente com tecnologias para melhorar sua qualidade energética. Pode-se citar o melhoramento genético, a transformação térmica por meio da pirólise, para produção de carvão e biomassa torreficada e a transformação mecânica por compactação, para produção de pellets e briquetes e a picagem para produção de cavacos. Contudo, nota-se uma dificuldade em encontrar artigos sobre estes temas que estejam apresentados de maneira clara e objetiva, dificultando assim a leitura. O objetivo deste trabalho foi a busca de dados sobre formas de beneficiamento da biomassa florestal e soluções para melhor aproveitamento dessa biomassa e seu uso energético. Para isso utilizou-se o Google Acadêmico como banco de dados de onde foram obtidos artigos já reconhecidos e outros com um menor impacto. Utilizou-se como palavras de busca: Eucalipto, Pinus, cavaco, pellets, briquetes, carvão vegetal e madeira torreficada. Para realizar a filtragem dos resultados obtidos, foram selecionados primeiramente os artigos que apareciam como mais relevantes, em seguida filtrou-se para artigos com menos de 5 anos, e para menos de 2 anos de publicação. Após isto, os artigos selecionados passaram por uma verificação de dados contidos nos mesmos, e retirou-se as informações necessárias de cada, sendo a espécie, análise imediata, extrativos, PCS, etc. Estes dados foram organizados em tabelas de acordo com a forma de beneficiamento, priorizando os valores de maior interesse em cada análise, juntamente com as devidas referências. Verificou-se a partir dos dados obtidos que os resultados são compatíveis entre diferentes pesquisadores em suas análises. Para amostras de beneficiamento sem tratamento térmico, as características iniciais da madeira são mantidas, e ao se passar pela pirólise ou torrefação estas características se alteram.

INTRODUCTION

Energy demand is constantly on the rise in the world, where most energy consumption is based on non-renewable sources, such as oil, coal, and natural gas, which generates several environmental and economic issues. Many countries have been searching for reducing energy based on these fuels, especially in the industrial sector because of the great environmental and social pressures (MACIEL, 2020).

It is in this scenario that renewable sources, such as wood, by-products, and biomass residues represent important systems for energy supply (DIAS JUNIOR *et al.*, 2017; MACIEL, 2020). Biomass is any organic, non-fossil material that has chemical energy contained in its interior, which includes all aquatic or terrestrial vegetation, organic waste, agricultural waste, animal manure, and other types of industrial waste (VIDAL; HORA, 2011; AREIAS *et al.*, 2020; BERNARDO *et al.*, 2021).

In general, dendroenergy is lignocellulosic energy biomass and its by-products, especially on a renewable basis. (NOGUEIRA; LORA, 2003; DIAS JUNIOR *et al.*, 2017) Brazil has the advantage of having a great potential for biomass production as it is one of the countries with the greatest abundance of renewable energy in the world (BORGES *et al.*, 2016).

The current forest sector is the result of investments by companies that developed technologies and pioneered cultivation systems for various forest species. This sector has been generating an increase in the Brazilian economy in the last century, and Brazil has large and vast forests of native species and planted forests, where the Eucalyptus and Pinus genera stand out (MACIEL *et al.*, 2020; LERAYER, 2008).

As exotic trees in Brazil, Eucalyptus and Pinus adapted well to the climate and soil where they were introduced, where Pinus is most planted in the southern region, while eucalyptus is planted in almost the entire Brazilian territory (VECHI; JUNIOR, 2018; STUPP *et al.*, 2017).

Although eucalyptus and Pinus are the species most used for forestry, other species such as rubber, *acacia*, teak, and *paricá* are also cultivated, (IBÁ, 2019).

Because of the rise in the use of biomass, new ways of its processing are being studied. The energy transformation of wood biomass is based on

physical, chemical, thermochemical, and biological processes. The suitability of each process depends more on the existing infrastructure and market conditions than on the conditions of each process (VIDAL; HORA, 2011; BERNARDO *et al.*, 2021).

The vast majority of transformations search at increasing HCV. The Higher Calorific Value is defined as the amount of heat that is given off by the complete combustion of the fuel considering the water of the products in the liquid phase, with the combustion products at room temperature (NEIVA *et al.*, 2018).

Given the need to contribute to a large number of academics, researchers, and laypeople engaged in solutions for better use of forest biomass, the objective of this work was to search for data on ways to benefit from forest biomass and solutions for better use of this biomass and its energy use.

MATERIAL AND METHODS

In bibliographical research, the database chosen for the study is of great importance. In this work, we chose to use the Google Scholar database, which is a free-access database and with a wide variety of articles, theses, and dissertations in its portfolio. As search keywords, the following were used: eucalyptus, pinus, wood chips, pellets, briquettes, charcoal, and torrefied wood. To filter the results obtained, the articles that appeared as the most relevant were the first to be selected, then the articles at less than 5.5 years of publication (from 2021 to 2016) were filtered and then to less than 2 years of publication (2019-2021). Then, the selected articles were checked for the data contained in them, obtaining the necessary information such as the species, immediate analysis, extractives, HCV, and others.

The data were organized in tables according to the processing, prioritizing the values of greatest interest in each analysis, and the respective references.

RESULTS AND DISCUSSION

Wood chips

Wood chips are a renewable resource made up of sheared chips obtained from wood logs, which are mostly used to produce energy in ovens and boilers. They have good energy characteristics and better performance regarding their flow in silos (DINIZ, 2014).

The wood logs are transformed into chips

through mechanical work, where they are cut through the blades of a chipper, starting the formation of wood chips (BUSQUIM, 2019; SOARES, 2016).

In order to classify only the chips with the recommended sizes, they go through a selection process, where chips larger than the ideal particle sizes are separated, while the finer chips are sent to the stockyard or directly to the energy generating source (BUSQUIM, 2019; SOARES, 2016, DINIZ, 2014).

The greater specific surface and greater reactivity of wood chopped in chips, compared to firewood logs, may increase the efficiency of different biomass utilization systems (COSTA *et al.*, 2010; DINIZ, 2014).

Few results were obtained in the search for “chip”. Table 1 gathers those that, when compared, demonstrate that the analyzed variables vary greatly regardless of the species.

Pellets

The evolution of policies concerning energy in developed countries, associated with the demand for renewable sources such as forest biomass, has been driving the growth in the production of wood pellets in the world since the beginning of the 2000s (QUÉNO *et al.*, 2019). Once the pellets have become commodities traded around the world, Brazil has been naturally appointed as one of the main countries in this segment due to its favorable climatic characteristics for the production of forest biomass (GARCIA *et al.*, 2017a).

Pellets result from the biomass densification process, that is, the physical transformation of the particulate lignocellulosic material into a solid biofuel (PROTASIO *et al.*, 2015).

They can be produced using wood-industry

residues, chips, and branches in the form of small particles. This raw material is processed in stationary industrial plants at high pressure and temperature, where they are compressed into small cylinders from 6.0 to 10.0 mm in diameter and up to 30 mm in length (GARCIA *et al.*, 2013; QUÉNO *et al.*, 2019; DIAS *et al.*, 2012).

Unlike wood and chips, where the amount of holocellulose, lignin, and extractives are of great importance, for the processed wood for energy use, other parameters are also considered, namely: fixed carbon content, volatile content, and ash content.

The compaction temperature plays a very important role in the final properties of the product and energy consumption during compaction. The application of pressure by biomass particle compaction equipment favors different binding mechanisms (DIAS *et al.*, 2012).

The greater the amount of fixed carbon, the greater the combustion rate of the particle (FROEHLICH; MOURA, 2014).

Ash content is the percentage in the mass of ash after the complete burning of the briquette or pellet. Most biomass residues have low ash content (DIAS *et al.*, 2012).

Density is an important parameter in compaction: the higher the density, the higher the energy/volume ratio. In addition, high-density products are desirable regarding transport, storage, and handling (DIAS *et al.*, 2012).

They must be produced with low moisture content (less than 10%), allowing high combustion efficiency (GARCIA *et al.*, 2013).

The global demand for these products grows exponentially because they are low-carbon energy resources and used in countries that need to reduce their greenhouse gas emissions (GARCIA *et al.*, 2018a).

Table 1. Search results on wood chips

Species	Holocellulose %	Lignin %	Moisture %	HCV (kcal kg ⁻¹)	Density (g cm ⁻³)	Author
<i>Eucalyptus grandis</i>	71.70	36.60	-	-	-	Mesquita (2019) ¹
<i>Pinus spp</i>	-	-	54.46	-	0.29	Schroeder (2017) ²
<i>Eucalyptus sp</i>	-	-	30.00-50.00	-	-	Bello (2018) ³
<i>Pinus spp</i>	-	-	39.00	-	-	Hornung (2018) ³
<i>Eucalyptus grandis</i>	-	-	9.40	4295	-	Wesler <i>et al.</i> (2017) ³
<i>Eucalyptus sp</i>	-	-	35.00	4817	0.33	Miranda <i>et al.</i> (2017) ³
<i>Eucalyptus sp</i>	-	-	20.00	-	0.40	Nascimento (2007) ²
<i>Eucalyptus sp</i>	-	-	22.90	5701	-	Neiva <i>et al.</i> (2018) ¹

¹ Dry base; ² wet basis; ³ base not specified

Table 2. Search results for pellets

Species	Fixed Carbon %	Volatile %	Ash %	Moisture %	HCV (kcal kg ⁻¹)	Density (g cm ⁻³)	Author
<i>Eucalyptus sp</i>	-	-	0.93	10.25	4492.00	0.65	Garcia <i>et al.</i> (2013) ¹
<i>Pinus spp</i>	-	-	0.33	6.76	4652.00	0.64	Garcia <i>et al.</i> (2013) ¹
<i>Pinus spp</i>	-	-	0.59	7.78	4569.00	0.64	Garcia <i>et al.</i> (2013) ¹
<i>Pinus spp</i>	-	-	0.54	8.55	4468.00	0.64	Garcia <i>et al.</i> (2013) ¹
<i>Pinus spp</i>	15.20	84.50	0.30	8.00	4815.00	0.64	Protásio <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Eucalyptus Grandis</i>	10.72	82.31	6.96	5.50	-	-	Teleken <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Pinus spp</i>	22.28	78.98	0.87	9.94	4704.00	0.65	Brand <i>et al.</i> (2018) ¹
<i>Eucalyptus spp</i>	-	-	-	4.70	-	0.63	Pinto <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Eucalyptus spp</i>	-	-	-	9.23	-	0.64	Pinto <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Pinus sp</i>	-	-	-	6.10	-	0.71	Garcia <i>et al.</i> (2018b) ¹
<i>Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla</i>	-	-	1.41	7.05	4719.00	0.60	Pereira <i>et al.</i> (2016) ²
-	15.63	83.40	0.93	10.17	4492.00	0.65	Garcia <i>et al.</i> (2017b) ¹
-	14.70	84.90	0.33	6.76	4652.00	0.64	Garcia <i>et al.</i> (2017b) ¹
-	15.42	84.00	0.58	7.78	4569.00	0.64	Garcia <i>et al.</i> (2017b) ¹
-	14.56	84.90	0.54	8.55	4468.00	0.64	Garcia <i>et al.</i> (2017b) ¹
<i>Pinus radiata</i>	-	-	-	-	4098.00	1.00	Soto <i>et al.</i> (2008) ¹
<i>Pinus pinaster</i>	-	-	-	5.90	-	1.19	Ferreira <i>et al.</i> (2014) ²
<i>Acacia dealbata</i>	-	-	-	7.56	-	0.92	Ferreira <i>et al.</i> (2014) ²
<i>Eucalyptus grandis x E. urophylla</i>	-	87.63	1.28	7.98	4707.00	0.61	Souza (2016)a ²
<i>Acacia wrightii</i>	13.44	77.00	3.22	6.74	4299.00	-	Artemio <i>et al.</i> (2018) ²
<i>Eucalyptus spp</i>	-	-	1.12	12.00	4366.00	0.67	Pereira (2014) ¹
<i>Pinus spp</i>	-	-	0.23	12.23	4745.00	0.59	Pereira (2014) ¹
<i>Pinus bungeana</i>	2.73	85.89	4.84	6.54	-	-	Shan <i>et al.</i> (2017) ²
<i>Acacia longifolia</i>	18.00	79.90	2.09	10.40	-	-	Vicente <i>et al.</i> (2019) ¹
<i>Pinus sylvestris L.)</i>	-	-	0.47	6.60	4609.00	-	Filbakk <i>et al.</i> (2011) ¹

¹ Dry base; ² wet basis

The production of pellets has been consolidating in the last ten years particularly as fuel for burning in ovens that feed the aviaries. This modernization can be seen in Table 2 where the works have been published for almost a decade. Similar behavior can also be seen in the results of the performed analyses.

Briquettes

Briquetting is a very efficient way to concentrate the available energy into biomass. This fact is exemplified in the consideration that 1 m³ of briquettes contains at least five times more energy than 1 m³ of wood (QUIRINO; BRITO, 1991; YAMAJI *et al.*, 2013).

The advantages of compacting agricultural

and forestry residues are operational, logistical, energetic, and environmental (DIAS *et al.*, 2012).

Initially, any plant biomass can be used in the production of briquettes. Currently, the agricultural, forestry and industrial process residues are the most used materials (YAMAJI *et al.*, 2013).

Briquettes are direct alternatives for firewood and wood chips in many applications, including residential, industrial, and commercial use (DIAS *et al.*, 2012). So far, briquetting is the least known and little mentioned form. Despite the existence of studies since the 1980s, very little knowledge was passed on, and because of that, this technology has not evolved. It can be seen in Table 3 that the analyses performed over time resulted in varied values.

Table 3. Search results for briquettes

Species	Fixed carbon %	Volatile %	Ash %	Moisture %	HCV (kcal kg ⁻¹)	Density (g cm ⁻³)	Author
<i>Pinus sp</i>	10.50	89.47	0.44	-	-	-	Costa <i>et al.</i> (2019) ¹
<i>Eucalyptus spp</i>	-	-	-	-	4412.00	0.224	Protásio <i>et al.</i> (2011) ¹
<i>Pinus spp</i>	14.89	84.92	0.28	-	4542.00	-	Souza <i>et al.</i> (2016) ^{b1}
<i>Eucalyptus pellita</i>	16.66	83.33	0.95	14.00	8033.00	0.58	Nunes <i>et al.</i> (2019) ¹
<i>Pinus caribaea var, hondurensis</i>	12.20	87.50	0.21	-	-	-	Moraes <i>et al.</i> (2019) ¹
<i>Vitis vinifera L</i>	17.00	69.50	3.20	10.97	4545.00	-	Morgado (2019) ¹
<i>Bambusa vulgaris</i>	15.26	82.25	2.49	8.06	4571.00	-	Brand <i>et al.</i> (2019) ¹
<i>Phyllostachys bambusoides</i>	17.28	81.88	0.90	7.51	4694.00	-	Brand <i>et al.</i> (2019) ¹
<i>Phyllostachys edulis</i>	19.01	80.62	0.38	3.92	4670.00	-	Brand <i>et al.</i> (2019) ¹
<i>Phyllostachys nigra</i>	20.18	79.01	0.81	5.23	4716.00	-	Brand <i>et al.</i> (2019) ¹
-	54.40	43.47	2.13	5.26	-	1.10	Fontes <i>et al.</i> (1984) ¹
-	57.10	40.22	2.57	5.76	-	1.08	Fontes <i>et al.</i> (1984) ¹
<i>Eucalyptus spp + Musa spp</i>	21.02	76.91	2.07	13.54	4733.00	-	Vale <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Eucalyptus spp + Dipterix alata</i>	27.28	70.60	2.12	13.17	4623.00	-	Vale <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Eucalyptus spp + Caryocar brasiliense</i>	20.47	77.41	2.03	12.72	4432.00	-	Vale <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Eucalyptus spp + Bambuseae</i>	52.00	21.00	27.00	13.27	6427.00	0.60	Dias Junior (2013) ¹
<i>Eucalyptus spp + Bambuseae</i>	46.00	32.00	22.00	14.97	6620.00	0.41	Dias Junior (2013) ¹
<i>Eucalyptus spp + Bambuseae</i>	39.00	41.00	20.00	14.31	6470.00	0.32	Dias Junior (2013) ¹
<i>Eucalyptus spp + Bambuseae</i>	33.00	51.00	16.00	14.88	6786.00	0.24	Dias Junior (2013) ¹
<i>Eucalyptus spp + Bambuseae</i>	29.00	63.00	8.00	15.97	7418.00	0.27	Dias Junior (2013) ¹
<i>Eucalyptus spp + Bambuseae</i>	21.00	73.00	6.00	15.81	7562.00	0.24	Dias Junior (2013) ¹
<i>Bambuseae</i>	16.40	81.00	2.60	17.56	7824.00	0.21	Dias Junior (2013) ¹
<i>Eucalyptus sp,</i>	17.90	80.54	1.57	12.00	4581.00	0.92	Silva <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Pinus sp</i>	18.61	81.16	0.23	12.00	4850.00	1.00	Silva <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Acácia mangium</i>	14.70	84.89	0.41	12.00	-	-	Souza <i>et al.</i> (2021) ¹
<i>Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis</i>	14.16	85.49	0.34	12.00	-	-	Souza <i>et al.</i> (2021) ¹
<i>Pinus sp</i>	-	-	1.00	-	4366.00	0.86	Fernandez <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	-	-	0.30	-	4749.00	0.98	Fernandez <i>et al.</i> (2017)
<i>Eucalyptus pellita</i>	21.82	78.33	0.85	12.84	7974.00	0.65	Silva (2016) ¹
<i>Leucaena leucocephala</i>	20.68	75.33	4.98	-	4442.00	-	Hansted <i>et al.</i> (2016) ¹
<i>G, piptadenia</i>	20.29	77.27	1.83	-	4528.00	-	Hansted <i>et al.</i> (2016) ¹

¹ Dry base

Charcoal

One use of the wood, the production of charcoal, has always occupied and still occupies, a prominent position in the main reforestation companies in Brazil (BOTREL *et al.*, 2007).

Charcoal is an important wood by-product

obtained through a process known as pyrolysis, where in the complete or partial absence of oxygen, the molecules are broken resulting in a new material with different characteristics from the original ones (FROEHLICH; MOURA, 2014).

Charcoal represents an excellent raw material

for the Brazilian steel industry due to its behavior as fuel and reducer, high purity, low production cost, and for being an environmentally correct product when coming from planted forests (CARNEIRO *et al.*, 2016; BRITO, 2007).

The physical-chemical properties of charcoal

are affected by the intrinsic characteristics of the raw material and the carbonization parameters (ARAÚJO *et al.*, 2018). In determining the quality of charcoal, one of the fundamental properties to be analyzed is the fixed carbon content. The higher this content, the better the quality of the

Table 4. Search results for charcoal

Species	Fixed carbon %	Volatile %	Ash %	Moisture %	HCV (kcal kg ⁻¹)	Author
<i>E. tereticornis x E. pellita</i>	71.74	27.98	0.27	-	-	Botrel <i>et al.</i> (2007) ¹
<i>E. tereticornis x E. pellita</i>	73.62	26.22	0.16	-	-	Botrel <i>et al.</i> (2007) ¹
<i>E. tereticornis x E. pellita</i>	74.09	25.57	0.34	-	-	Botrel <i>et al.</i> (2007) ¹
<i>E. tereticornis x E. pellita</i>	74.07	25.76	0.16	-	-	Botrel <i>et al.</i> (2007) ¹
<i>E. tereticornis x E. pellita</i>	73.20	26.48	0.32	-	-	Botrel <i>et al.</i> (2007) ¹
<i>E. camaldulensis x E. grandis</i>	73.42	26.34	0.23	-	-	Botrel <i>et al.</i> (2007) ¹
<i>E. camaldulensis x E. grandis</i>	76.26	23.43	0.31	-	-	Botrel <i>et al.</i> (2007) ¹
<i>E. camaldulensis x E. grandis</i>	76.93	22.86	0.22	-	-	Botrel <i>et al.</i> (2007) ¹
<i>E. camaldulensis x E. grandis</i>	74.93	24.87	0.20	-	-	Botrel <i>et al.</i> (2007) ¹
<i>Eucalyptus</i> sp,	66.85	29.26	3.89	8.21	-	Brand <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Acacia decurrens</i>	63.43	35.76	0.81	7.00	7448.00	Brand <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Acacia decurrens</i>	59.86	39.46	0.68	6.94	6688.00	Brand <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Eucalyptus</i> sp,	67.06	31.10	1.85	8.19	4458.00	Brand <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Acacia decurrens</i>	69.90	28.53	1.57	6.96	7578.00	Brand <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Acacia decurrens</i>	54.24	44.69	0.89	5.59	7029.00	Brand <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Eucalyptus</i> I144	80.17	19.10	0.73	-	7626.00	Neves <i>et al.</i> (2011) ¹
<i>Eucalyptus</i> I220	80.95	18.28	0.78	-	7649.00	Neves <i>et al.</i> (2011) ¹
<i>Eucalyptus</i> 3334	79.74	19.38	0.88	-	7655.00	Neves <i>et al.</i> (2011) ¹
<i>Eucalyptus</i> I144	79.19	20.26	0.55	-	7673.00	Neves <i>et al.</i> (2011) ¹
<i>Eucalyptus</i> I220	81.32	18.00	0.69	-	7625.00	Neves <i>et al.</i> (2011) ¹
<i>Eucalyptus</i> 3334	79.26	20.03	0.72	-	7898.00	Neves <i>et al.</i> (2011) ¹
<i>Cenostigma macrophyllum</i>	67.64	30.13	2.22	-	7183.00	Araujo <i>et al.</i> (2018) ¹
<i>Cenostigma macrophyllum</i>	78.17	20.24	1.58	-	7771.00	Araujo <i>et al.</i> (2018) ¹
<i>Cenostigma macrophyllum</i>	87.50	10.90	1.60	-	8111.00	Araujo <i>et al.</i> (2018) ¹
<i>Cordia geoldiana</i>	75.80	22.90	1.40	-	7398.00	Silva <i>et al.</i> (2018) ¹
<i>Hymenobium petraeum</i>	73.70	24.50	4.90	-	7385.00	Silva <i>et al.</i> (2018) ¹
<i>Hymenaea courbaril</i>	74.40	22.50	3.00	-	7447.00	Silva <i>et al.</i> (2018) ¹
<i>Tabebuia</i> spp	76.30	22.50	1.40	-	7502.00	Silva <i>et al.</i> (2018) ¹
<i>Astronium lecointei</i>	60.40	38.30	1.40	-	7062.00	Silva <i>et al.</i> (2018) ¹
<i>Pterogyne nitens</i>	67.15	31.45	1.35	-	7383.00	Figueiredo <i>et al.</i> (2018) ¹
<i>Pterogyne nitens</i>	77.64	20.78	1.58	-	7967.00	Figueiredo <i>et al.</i> (2018) ¹
<i>Pterogyne nitens</i>	85.80	12.28	1.92	-	8150.00	Figueiredo <i>et al.</i> (2018) ¹
<i>Ceiba pentandra</i>	65.27	33.77	0.97	6.91	-	Fortaleza <i>et al.</i> (2019) ¹
<i>Guatteria</i> sp,	67.32	31.65	1.03	6.87	-	Fortaleza <i>et al.</i> (2019) ¹
<i>Brosimum</i> sp	67.12	32.28	0.60	7.40	-	Fortaleza <i>et al.</i> (2019) ¹
<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>	73.29	25.21	1.5	-	-	Figueiró <i>et al.</i> (2019) ¹

<i>Eucalyptus grandis x eucalyptus urophylla</i>	71.10	27.67	1.23	-	-	Figueiró <i>et al.</i> (2019) ¹
<i>Eucalyptus sp</i>	84.25	14.90	0.85	-	7307.00	Donato <i>et al.</i> (2020) ¹
<i>Eucalyptus sp</i>	78.66	20.69	0.65	-	7446.00	Donato <i>et al.</i> (2020) ¹
<i>Eucalyptus sp</i>	74.82	23.38	0.58	-	6946.00	Donato <i>et al.</i> (2020) ¹
<i>Acacia mangium</i>	74.75	24.50	0.75	-	-	Arruda <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Acacia mangium</i>	86.50	12.00	1.50	-	-	Arruda <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Acacia mangium</i>	89.50	8.75	1.75	-	-	Arruda <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Pseudosamaneae guachapelle</i>	74.50	21.00	4.50	-	-	Arruda <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Pseudosamaneae guachapelle</i>	83.00	13.00	4.00	-	-	Arruda <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Pseudosamaneae guachapelle</i>	89.00	7.00	4.00	-	-	Arruda <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Eucalyptus grandis</i>	74.25	23.75	2.00	-	-	Arruda <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Eucalyptus grandis</i>	84.75	11.25	4.00	-	-	Arruda <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Eucalyptus grandis</i>	90.75	6.75	2.50	-	-	Arruda <i>et al.</i> (2017) ¹
<i>Eucalyptus grandis</i>	79.60	19.96	0.44	-	-	Trugilho <i>et al.</i> (2001) ¹
<i>Eucalyptus saligna</i>	78.10	21.62	0.28	-	-	Trugilho <i>et al.</i> (2001) ¹
<i>E, urophylla x E, grandis</i>	87.52	11.74	0.50	-	8390.00	Dos Santos <i>et al.</i> (2012) ¹
<i>E, urophylla x E, grandis</i>	86.50	13.00	0.76	-	8210.00	Dos Santos <i>et al.</i> (2012) ¹
<i>E, urophylla x E, grandis</i>	87.20	12.00	0.65	-	8390.00	Dos Santos <i>et al.</i> (2012) ¹
<i>E, camaldulensis x E, grandis</i>	85.33	14.27	0.39	-	8515.00	Dos Santos <i>et al.</i> (2012) ¹
<i>Eucalyptus urophylla</i>	90.80	-	0.50	-	8487.00	Brito <i>et al.</i> (1987) ¹
<i>Bambusa vulgaris var vittata,</i>	84.20	-	5.10	-	8460.00	Brito <i>et al.</i> (1987) ¹
<i>B, tuldoidea</i>	90.40	-	3.00	-	7922.00	Brito <i>et al.</i> (1987) ¹
<i>B, vulgaris var, vulgaris</i>	86.30	-	3.50	-	7785.00	Brito <i>et al.</i> (1987) ¹
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	87.70	-	5.00	-	8685.00	Brito <i>et al.</i> (1987) ¹
<i>Guadua angustifolia</i>	79.30	-	12.3	-	6490.00	Brito <i>et al.</i> (1987) ¹
<i>Pinus</i>	74.63	25.03	0.33	5.40	7447.00	Brito <i>et al.</i> (1984) ¹
<i>Eucalyptus</i>	71.60	21.70	2.30	5.80	7200.00	Brito <i>et al.</i> (1984) ¹
<i>Eucalyptus pellita</i>	90.75	7.50	1.75	11.27	-	Silva (2007) ¹
<i>Eucalyptus pellita</i>	85.00	10.50	4.50	-	-	Silva (2007) ¹
<i>Eucalyptus pellita</i>	92.00	6.75	1.25	-	-	Silva (2007) ¹
<i>Eucalyptus pellita</i>	91.25	7.50	1.25	-	-	Silva (2007) ¹
<i>Pinus caribaea var, hondurensis</i>	74.70	24.90	0.30	5.90	-	Brito; Barrichelo (1982) ¹
<i>Pinus caribaea var, bahamensis</i>	74.80	24.90	0.10	6.00	-	Brito; Barrichelo (1982) ¹
<i>Pinus oocarpa</i>	74.40	25.30	0.30	5.40	-	Brito; Barrichelo (1982) ¹

¹ Dry base

charcoal, the greater the calorific value (BRITO; BARRICHELO, 1982), as shown in Table 4.

Torrified wood

Torrefaction emerges as a way of diversifying the supply of biofuels. This process consists of a thermal treatment of the biomass at lower temperatures, ranging from 200°C to 300°C, generating an intermediate material between wood and charcoal (OLIVEIRA, 2011; KLAFKE;

TRIERWEILER, 2018).

The fundamental objective of torrefaction is to concentrate biomass energy in a product formed in a short time, allowing the retention of higher calorific value volatiles in the product itself (SILVA, 2013).

This process also results in a more efficient logistics of transporting and storing biomass, as these costs are related based on the volume of material, and torrefaction reduces this volume as it

can be seen in Table 5, resulting in an economically favorable treatment (MALAGUTTI; ASCENÇÃO, 2019).

The most common types of small-scale reactors used in torrefaction are convection, fluidized bed, rotating drum, and microwave reactors (JUNIOR; ALVES; TORRES, 2017).

It could have been observed that at chip-processing, all initial characteristics remain unchanged at the end of the process, as it is just a process of cutting the raw material. Pelletizing and briquetting promote agglutination of the raw material, which increases its density, but it does not change its chemical properties. On the other

Table 5. Search results for torrefied wood

Species	Fixed carbon %	Volatile %	Ash %	Moisture %	PCS (kcal kg ⁻¹)	Density (g cm ⁻³)	Author
<i>Eucalyptus</i>	14.39	83.10	2.34	0.17	4550.00	-	Junior <i>et al.</i> (2017) ²
<i>Eucalyptus</i>	36.02	61.40	2.55	0.03	6085.00	-	Junior <i>et al.</i> (2017) ²
<i>Prosopis juliflora</i>	13.00	83.86	3.13	0.01	4475.00	-	Junior <i>et al.</i> (2017) ²
<i>Prosopis juliflora</i>	32.65	62.94	4.41	-	6413.00	-	Junior <i>et al.</i> (2017) ²
<i>Pinus spp,</i>	16.60	83.10	0.30	1.60	5200.00	503.00	Protásio <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Pinus spp,</i>	20.10	79.50	0.40	1.10	5234.00	484.00	Protásio <i>et al.</i> (2015) ¹
<i>Eucalyptus spp</i>	19.30	-	-	-	4633.00	-	Romão <i>et al.</i> (2016) ¹
<i>Eucalyptus spp</i>	27.20	-	-	-	5350.00	-	Romão <i>et al.</i> (2016) ¹
<i>Eucalyptus spp</i>	34.90	-	-	-	5517.00	-	Romão <i>et al.</i> (2016) ¹
<i>Eucalyptus Grandis</i>	20.53	79.32	0.15	-	4858.00	-	Rodrigues (2009) ¹
<i>Eucalyptus Grandis</i>	24.65	75.19	0.16	-	5120.00	-	Rodrigues (2009) ¹
<i>Eucalyptus Grandis</i>	30.06	69.77	0.17	-	5409.00	-	Rodrigues (2009) ¹
<i>Eucalyptus sp</i>	-	-	-	-	4585.00	-	Oliveira (2011) ¹
<i>Eucalyptus sp</i>	-	-	-	-	4753.00	-	Oliveira (2011) ¹
<i>Eucalyptus sp</i>	-	-	-	-	5137.00	-	Oliveira (2011) ¹
<i>Eucalyptus Grandis</i>	22.77	77.17	0.05	-	5094.00	-	Galvão (2018) ¹
<i>Eucalyptus Grandis</i>	23.35	76.59	0.06	-	5154.00	-	Galvão (2018) ¹
<i>Eucalyptus Grandis</i>	23.56	76.37	0.07	-	5142.00	-	Galvão (2018) ¹
<i>Eucalyptus Grandis</i>	22.64	77.29	0.06	-	-	-	Fortes (2018) ¹
<i>Eucalyptus Grandis</i>	24.09	75.86	0.05	12.00	-	-	Fortes (2018) ¹
<i>Pinus elliottii</i>	25.94	73.90	0.15	-	-	-	Fortes (2018) ¹
<i>Pinus elliottii</i>	30.57	69.24	0.19	12.00	-	-	Fortes (2018) ¹
<i>Dinizia excelsa</i>	30.28	69.54	0.29	-	-	-	Fortes (2018) ¹
<i>Dinizia excelsa</i>	29.36	70.44	0.30	12.00	-	-	Fortes (2018) ¹
<i>Pinus sp</i>	-	-	-	-	4848.00	-	Magalhaes (2018) ¹
<i>Pinus sp</i>	-	-	-	-	4896.00	-	Magalhaes (2018) ¹
<i>Pinus sp</i>	-	-	-	-	4991.00	-	Magalhaes (2018) ¹
<i>Pinus elliottii</i>	-	-	-	12.68	5075.00	-	Batista (2015) ¹
<i>Pinus elliottii</i>	-	-	-	9.46	5560.00	-	Batista (2015) ¹
<i>Eucalyptus sp</i>	16.33	83.60	0.45	7.59	5003.00	-	Costa <i>et al.</i> (2019) ¹
<i>Eucalyptus Grandis</i>	46.30	52.70	0.99	-	6425.00	0.15	Pincelli (2011) ¹
<i>Pinus caribaea var, hondurensis</i>	45.70	23.40	0.84	-	6295.00	0.14	Pincelli (2011) ¹
<i>Eucalyptus urophylla</i>	12.47	87.31	0.22	-	4648.00	-	Pereira (2017) ¹
<i>Eucalyptus urophylla</i>	17.63	82.09	0.28	-	4799.00	-	Pereira (2017) ¹
<i>Eucalyptus urophylla</i>	24.51	75.14	0.35	-	5128.00	-	Pereira (2017) ¹
<i>Acacia dealbata</i>	41.50	53.20	2.14	-	-	-	Loureiro <i>et al.</i> (2017) ¹

¹ Dry base; ² wet basis

hand, torrefaction and pyrolysis after the physical and chemical characteristics of biomass in order to reduce the amount of volatile materials present and increase the fixed carbon content. These changes lead to an increase in the HCV of the charcoal and the torrefied wood generated. As an example, one can mention the species *Eucalyptus Grandis*. This species has HCV values of 4295 kcal kg⁻¹ (Table 1). Once they go through pelletization processes, the contents of carbon, volatiles, and ash are 10.72, 82.31, and 6.95, respectively (Table 2). After the torrefaction process, mean values of 26.43, 73.36, and 0.2 were found, with a HCV of 5314 kcal kg⁻¹ (Table 5). Also, after a pyrolysis process, these values varied with means of 82.34, 15.43, and 2.24, shown in Table 6.

CONCLUSIONS

- It was observed that despite the immense number of tree species on our planet, the vast majority of the studies focus on the once established species of *Pinus* and *Eucalyptus*. This is explained by its great adaptability to the most varied regions, its use in planted forests, its rapid development, and good physicochemical characteristics, which are essential for use in heat or energy generation systems. However, in the last years, new studies have been carried out concerning native species such as ipe, *angico*, cinnamon, and fruit trees in energy forest systems, where these species are planted instead of foreign species, enriching the local fauna and flora. In parallel to this, non-woody species are studied for energy use, with emphasis on grass, oleaginous and saccharific species. These may contemplate a new study highlighting its history, importance, and characteristics.
- It was observed that, as the temperature increases in thermochemical processes, the fixed carbon content also increases, and a reduction occurs in values of the volatiles, which are burned during the process. It was also observed a rise in the HCV values, where charcoal has values with an increase of up to 100% compared to other forms of processing. Because the briquetting and pelletizing process does not alter the chemical structures of the wood, these have very similar values in all performed analyses. The keywords used in

this work were adequate as expected, and several results on ways to improve wood were found in the literature. Charcoal has a greater number of works about it compared to other processing methods such as briquetting and pelleting. However, these are the best choice for energy use, economy, and sustainability, for many situations due to their less waste, ease of transport, and cost-effectiveness. A pattern was observed as different authors studied the same species, and it is possible to state that the methods used, although not always the same, reached very similar results, demonstrating high reproducibility and reliability.

AUTHORSHIP CONTRIBUTION STATEMENT

BACCA, L.A.M.: Conceptualization, Data curation, Formal Analysis, Methodology, Writing – original draft; **GELINSKI JUNIOR, E.:** Conceptualization, Methodology, Supervision, Validation, Writing – review & editing; **GONÇALVES, M.P.:** Conceptualization, Data curation, Investigation, Methodology, Writing – original draft; **OLIVEIRA, A.F.:** Conceptualization, Methodology, Supervision, Visualization, Writing – review & editing.

DECLARATION OF INTERESTS

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

REFERENCES

- ARAÚJO, A. C. C.; COSTA, L. J.; DE CARVALHO BRAGA, P. P.; NETO, R. M. G.; ROCHA, M. F. V.; TRUGILHO, P. F. Propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal de *Cenostigma macrophyllum*: subsídios ao uso sustentável. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p. 1-9, 2018.
- AREIAS, A. A.; CRUZ JÚNIOR, J. C.; YAMAJI, F. M. Market study on the use of biomass for burning in the State of São Paulo, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, 2020.

- ARRUDA, E. L.; ANDRADE, A. M.; DIAS JÚNIOR, A. F. Produção e ativação do carvão vegetal de três espécies florestais. **Floresta**, v. 47, n. 3, p.323-332, 2017.
- ARTEMIO, C. P.; MAGINOT, N. H.; SERAFÍN, C. U.; RAHIM, F. P.; GUADALUPE, R. Q. J.; FERMÍN, C. M. Physical, mechanical and energy characterization of wood pellets obtained from three common tropical species. **PeerJ**, v. 6, 2018.
- BATISTA, J. A. N. **Torrefação do *Pinus elliottii* para fins energéticos**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva, 2015.
- BELLO, L. F. R. **Introdução de caldeira de biomassa em uma fábrica do ramo de nutrição animal utilizando cavaco de eucalipto como combustível**. 2018. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário do Sul de Minas - Unis, Varginha, 2018.
- BERNARDO, J. V. da S.; ARAÚJO, A. M. de M.; BRAGA, T. P. **Métodos termoquímicos de conversão de biomassa**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 4, 2021.
- BORGES, A. C. P.; SILVA, M. S.; ALVES, C. T.; TORRES, E. A. Renewable energy: a contextualization of the biomass as power supply. **REDE: Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 02, p. 23-36, 2016.
- BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. DA S.; SILVA, J. R. M. DA. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 391–398, 2007.
- BRAND, M. A.; BALDUINO JUNIOR, A. L.; NONES, D. L.; GAA, A. Z. N. Potential of bamboo species for the production of briquettes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. 1-7, 2019.
- BRAND, M. A.; RODRIGUES, A. A.; OLIVEIRA, A. DE.; MACHADO, M. S.; ZEN, L. R. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na região serrana sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1165–1173, 2015.
- BRAND, M. A.; JACINTO, R. C.; DA CUNHA, A. B. Qualidade de pellets de galhos secos de araucária e partículas de *Pinus*. **Energia na Agricultura**, v. 33, n. 4, p. 303-312, 2018.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Carvão vegetal de madeira de debaste de *Pinus*. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, 1982.
- BRITO, J. O.; NUCCI, O. DE. Estudo tecnológico da madeira de *Pinus spp* para a produção de carvão vegetal e briquetagem. **IPEF, Piracicaba**, n. 26, p. 25–30, 1984.
- BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A. L. B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **IPEF, Piracicaba**, v. 36, p. 13–17, 1987.
- BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos avançados**, v. 21, n. 59, p. 185-193, 2007.
- BUSQUIM, J. L. **Estudo da variabilidade no teor de umidade do cavaco de *eucalyptus spp* utilizado como fonte energética em diferentes condições de armazenagem**. 2019. 18 f. Trabalho de Conclusão de curso, Unicesumar - Centro Universitário de Maringá, Cornélio Procópio, 2019.
- CARNEIRO, A. D. C. O.; VITAL, B. R.; FREDERICO, P. G. U., DE FREITAS FIALHO, L.; FIGUEIRÓ, C. G.; DA SILVA, C. M. S. Efeito do material genético e do sítio na qualidade do carvão vegetal de madeira de curta rotação. **Floresta**, 46(4), p.473-480, 2016.
- COSTA, D. R.; OLIVEIRA FILHO, D.; COSTA, J. M.; LACERDA FILHO, A. F.; TEIXEIRA, C. A. Consumo específico de energia no processamento de madeira em cavacos de um picador (estudo de caso). **Revista engenharia na agricultura**, v.18 n.2, p.171 - 177, 2010.

- 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**, v. 43, n. 1, p. 2–9, 2019.
- COUTO, L. C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; CÂMARA, D. Vias de valorização energética da biomassa. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 1, p. 71–92, 2004.
- DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, A. M.; COSTA JÚNIOR, D. S. DA. Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 79, p. 225 - 234, 2013.
- DIAS JÚNIOR, A. F.; JUNIOR, LANA, A.; BERNARDES, F.; BRITO, J. Madeira, Energia e Geração de Termoeletricidade. **Energia na Agricultura**, v. 32, n. 2, p. 157 - 163, 2017.
- DIAS, J. D. S.; SANTOS, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H.; BARBOSA, P. F.; ROCHA, J. D. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. **Embrapa Agroenergia - Documentos (INFOTECA-E)**, 2012.
- DINIZ, I. S. **Estudo da influência da umidade no consumo específico do cavaco de madeira para geração de vapor saturado em caldeira de biomassa**. 2014. 38 f. Monografia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.
- DONATO, D. B.; CARNEIRO, A. DE C. O.; CARVALHO, A. M. L. M.; VITAL, B. R.; MILAGRES, E. G.; CANAL, W. D. 2020. Influência do diâmetro da madeira de eucalipto na produtividade e propriedades do carvão vegetal. **Revista Ciência da Madeira**, v. 11, n. 2, p. 63-73, 2020.
- DOS SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. DE C. O.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M.; CARVALHO, A. M. L. M. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 143-151, 2012.
- FERREIRA, T.; PAIVA, J.M.; PINHO, C. Performance assessment of invasive *Acacia dealbata* as a fuel for a domestic pellet boiler. **Chemical Engineering Transactions**, v. 42, p. 73-78, 2014.
- FERNANDEZ, B. O.; GONÇALVES, B. F.; PEREIRA, A. C. C.; HANSTED, A. L. S.; PÁDUA, F. A.; DA RÓZ, A. L.; YAMAJI, F. M. Mechanical and Energetic Characteristics of Briquettes Produced from Different Types of Biomass. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 29–38, 2017.
- FIGUEIREDO, M. E. O.; JÚNIOR, D. L.; PEREIRA, A. K. S.; CARNEIRO, A. D. C. O.; SILVA, C. M. S. DA. Potencial da madeira *Pterogyne nitens* Tul. (Madeira-Nova) para produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 420-431, 2018.
- FIGUEIRÓ, C.G.; CARNEIRO, A.C.O.; SANTOS, G.R.; CARNEIRO, A.P.S.; FIALHO, L.F.; MAGALHÃES, M.A.; SILVA, C.M.S.; CASTRO, V.R.. Caracterização do carvão vegetal produzido em fornos retangulares industriais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 3, p. 1-8, 2019.
- FILBAKK, T.; JIRJIS, R.; NURMI, J.; HOIBO, O. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 8, p. 3342-3349, 2011.
- FONTES, P. D.; QUIRINO, W. F.; PASTORE, J.; FILGUEIRAS, S. Aglutinante para briquetagem de carvão vegetal. **Brasília-DF: Laboratório de produtos florestais**, p. 1-14, 1984
- FORTALEZA, A. P.; NASCIMENTO FILHO, J. J. P.; CERETTA, R. P. S.; BARROS, D. D. S.; DA SILVA, S. S. Biomassa de espécies florestais para produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1436–1451, 2019.
- FORTES, M. M. **Efeito da umidade e da acústica na torrefação de madeiras de *eucalyptus grandis*, *pinus elliottii* e *dinizia excelsa***. 2018. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

- FROEHLICH, P. L.; MOURA, A. Carvão vegetal: propriedades físico-químicas e principais aplicações. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 9, n. 1, p. 13-32, 2014.
- GALVÃO, L. G. O. **Efeitos da acústica e da temperatura no processo de torrefação e nas propriedades energéticas da madeira de *eucalyptus grandis***. 2018. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. Caracterização energética de pellets de madeira. **Revista da Madeira**, v. 24, n. 135, p. 14-16, 2013.
- GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. O setor de pellets de madeira no Brasil. **Revista Ciência da Madeira**, v. 8, n. 1, p. 21-28, 2017a.
- GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. Emissões de gases do efeito estufa da queima de pellets de madeira. **Floresta**, v. 47, n. 3, p. 297-306, 2017b.
- GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; DAL BEM, E. A.; FERREIRA, J. P.; SOUZA, F. M. L.; VIEIRA, F. H. A.; DIAS, R. R. Mapa dos produtores brasileiros de biocombustíveis pellets/map of brazilian biofuels producers pellets. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 4, p. 333-339, 2018a.
- GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G.; PRATES, G. A.; PROTÁSIO, T. D. P. Qualidade dos pellets de biomassa brasileiras para aquecimento residencial: padrões da norma ISO 17225. **Revista Ciência da Madeira**, v. 9, n. 1, p. 45-53, 2018b.
- HANSTED, A. L. S.; NAKASHIMA, G. T.; MARTINS, M. P.; YAMAMOTO, H.; YAMAJI, F. M. Comparative analyses of fast growing species in different moisture content for high quality solid fuel production. **Fuel**, v. 184, p. 180-184, 2016.
- HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S.; RADIN, B.; BRAGA, H.; CAVIGLIONE, J. H.; BOGNOLA, I.; DE OLIVEIRA, Y. M. M. Zoneamento Climático: *Pinus taeda* no Sul do Brasil. **Embrapa Florestas**, p. 17, 2008.
- HORNUNG, A. D. **Utilização do método PDCA para desenvolvimento de um plano de ação visando a redução do consumo de combustível de uma caldeira a cavaco**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, p. 71, 2018.
- IBÁ. Anuário estatístico do IBÁ. Ano base 2019. Indústria brasileira de árvores. **Associação Brasileira de Árvores**, p. 160, 2020.
- JUNIOR, J. A. DE M. C.; ALVES, C. T.; TORRES, E. A. Biomassa torrefeita: um novo combustível para a indústria. **Bahia Análise & Dados**, v. 27, n. 1, p. 204-228, 2017.
- LERAYER, A. Guia do eucalipto: oportunidades para um desenvolvimento sustentável. **Council for Biotechnology information**, 2008.
- LOUREIRO, L. M. E. F.; NUNES, L. J. R.; RODRIGUES, A. M. Woody biomass torrefaction: fundamentals and potential for Portugal. **Silva Lusitana**, v. 25, n. 2, p. 35-63, 2017.
- MACIEL, L. L. C. Biomassa: uma fonte renovável para geração de energia elétrica no Brasil. **Revista de trabalhos acadêmicos-universo campos dos goytacazes**, v. 1, n. 13, 2020.
- MACIEL, G. O. P.; FERREIRA, B. S.; SOUZA, G. C. **Propriedades físicas da madeira juvenil e adulta do *Pinus elliottii* e *Pinus taeda***. In: SEMINÁRIO ONLINE: TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 1. 2020.
- MAGALHÃES, M. A.; CARNEIRO, A. DE C. O.; DA SILVA, C. M. S.; VITAL, B. R.; MARTINS, M. A.; CÂNDIDO, W. L. Avaliação da torrefação da madeira em curtos tempos de residência em um reator tipo rosca sem fim. **Revista Ciência da Madeira**, v. 9, n. 3, p. 160-196, 11 out. 2018.
- MESQUITA, R. M. F. **Influência de biossurfactantes ramnolipídicos na hidrólise enzimática do cavaco de eucalipto**. 2019. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2019.

- MIRANDA, M. A. D. S.; RIBEIRO, G. B. D. D.; VALVERDE, S. R.; ISBAEX, C. *Eucalyptus sp.* Woodchip potential for industrial thermal energy production. **Revista Árvore**, v. 41, n. 6, p. 1-8, 2017.
- MORAES, M. D. A. D.; SANTOS, J. H. D.; LIMA, P. A. F. E.; CONEGLIAN, A.; SOUZA JÚNIOR, A. D. D.; CANTO, J. L. D.; SETTE JÚNIOR, C. R. Bioenergia com resíduos do desdobro da madeira de *Pinus caribaea var. hondurensis*. **Revista de Ciências Agrárias**, p. 520- 527, 2019.
- MORGADO, G. A. G. **Estudo da queima de briquetes de biomassa numa caldeira**. 2019. Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial - INEGI, 2019.
- MUNIZ, R. N. **Educação e Biomassa**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 10 p. 2002.
- MÚZEL, S. D.; DE OLIVEIRA, K. A.; HANSTED, F. A. S.; PRATES, G. A.; GOVEIA, D. Poder calorífico de *Eucalyptus grandis* e da *Hevea brasiliensis*. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 8, n. 2, p. 166-172, 2014.
- NASCIMENTO, M. D. **Otimização do Uso de Lenha e Cavaco de Madeira para Produção de Energia em Agroindústria Seropédica**. 2007. 90f. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2007.
- NEIVA, P. S.; FURTADO, D. B.; FINZER, J. R. D. **Capacidade térmica e poder calorífico de biomassa eucalipto**. In: Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais, 2, 2018.
- NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. DE P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.
- NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. *Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações*. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 199 p. 2003.
- 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**, v. 23, n. 11, p. 883-888, 2019.
- OLIVEIRA, K. F. **Impacto da torrefação sobre a friabilidade da biomassa durante o processo de fluidização**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- PEREIRA, B. L. C. **Propriedades de pellets: biomassas, aditivos e tratamento térmico**. 2014. 74f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A.; CARVALHO, A. M. M. L.; VITAL, B. R.; OLIVEIRA, A. C.; CANAL, W. D. Influence of adding kraft lignin in eucalyptus pellets properties. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 235-242, 2016.
- PEREIRA, J. C. **Avaliação do uso do resíduo de semente do fruto do guaraná como biomassa para geração de biocombustível mediante torrefação e pirólise**. 2017. Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.
- PINCELLI, A. L. P. S. M. **Características dos resíduos da colheita de madeira de eucalipto e pinus, submetidos ao tratamento térmico, com foco na aplicação energética**. 2011. Doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- PINTO, A. A.; PEREIRA, B. L.; CÂNDIDO, W. L.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C.; CARVALHO, A. M. Caracterização de pellets de ponteira de eucalipto. **Revista Ciência da Madeira**, v. 6, n. 3, p. 232-236, 2015.
- PROTÁSIO, T.; TRUGILHO, P. F.; DE SIQUEIRA, H. F.; DE MELO, I. C. N. A.; ANDRADE, C. R.; JUNIOR, J. B. G. Caracterização energética de pellets in natura e torreficados produzidos com madeira residual de *Pinus*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 435-442, 2015.

- PROTÁSIO, T. DE P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011.
- QUÉNO, L. R. M.; SOUZA, Á. N. D.; COSTA, A. F. D.; VALE, A. T. D.; JOAQUIM, M. S. Aspectos técnicos da produção de pellets de madeira. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1478-1489, 2019.
- QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1991.
- RODRIGUES, T. O. **Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos**. Mestrado, 2009, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- ROMÃO, E. L.; DIAS, I. A.; CONTE, R. A. **Avaliação do efeito da torrefação de biomassa lenhosa visando à produção de biocombustível para fins energéticos**. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. 2016.
- SCHROEDER, F. **Determinação do teor de umidade e densidade aparente do cavaco de Pinus spp. sob diferentes condições de armazenamentos**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- SHAN, F.; LIN, Q.; ZHOU, K.; WU, Y.; FU, W.; ZHANG, P.; YI, B. An experimental study of ignition and combustion of single biomass pellets in air and oxy-fuel. **Fuel**, v. 188, p. 277-284, 2017.
- SILVA, A. DE P. **Produção de briquetes dos carvões de casca, maravalha e serragem de eucalipto (*Eucalyptus pellita*), pirolisados às temperaturas máximas de 400 °C e 600 °C**. 2007. Monografia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007.
- SILVA, A, G. **Condicionamento de resíduo de Eucalyptus grandis para produção de biocombustível sólido**. 2013. 130f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal da Bahia Instituto de Química, Salvador, 2013.
- SILVA, D. A.; NAKASHIMA, G. T.; BARROS, J. L.; DA RÓZ, A. L.; YAMAJI, F. M. Caracterização de biomassas para a briquetagem. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 713-722, 2015.
- SILVA, R. C.; MARCHESAN, R.; FONSECA, M. R.; DIAS, A. C. C.; VIANA, L. C. Influência da temperatura final de carbonização nas características do carvão vegetal de espécies tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p. 1-10, 29 dez. 2018.
- SILVA, T. P. E. **Produção de briquetes de resíduos agroflorestais**. 2016. Monografia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.
- SOARES, J. M. **Avaliação da qualidade de três diferentes tipos de cavacos de madeira do híbrido *Eucalyptus Urophila x Grandis***. 2016. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- SOTO, G.; NÚÑEZ, M. Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de *Pinus radiata* (D. Don), como material aglomerante. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 10, n. 2, p. 129-137, 2008.
- SOUZA, H. J. P. L. **Caracterização de pellets de eucalipto e resíduos da despolpa do café**. 2016. 61f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, 2016a.
- SOUZA, F. D.; VALE, A. T. DO. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 405-413, 2016b.
- SOUZA, R.R.; MORAES, M, D, A.; BRABOZA, F, S.; CONEGLIAN, A.; SETTE, C, R. The presence of bark in *acacia mangium* wood improves its energetic potential. **Floresta**, v. 51, n. 1, p. 54-60, 2021.

STÜPP, D. R.; JÚNIOR, O. L. H.; EYERKAUFER, M. L. **Análise da viabilidade econômico-financeira do cultivo de *Pinus taeda* em propriedades rurais do Alto Vale do Itajaí-SC.** In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2017.

TELEKEN, J. G.; BONASSA, G.; SCHNEIDER, L. T.; PARISOTTO, E. I. B.; DE OLIVEIRA, A. F. potencial dendroenergético de combustíveis sólidos de *eucalyptus grandis*. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, p. 523-531, 2015.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **CERNE**, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

VALE, A.; BUSTAMANTE, K.; FORTES, M.; LIMA, M.; JOSINO, M. Análise energética de briquetes de resíduos de *Eucalyptus spp*, *Dipterix alata*, *Caryocar brasiliense* e *Musa spp*. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 102-113, 2017.

VASQUEZ, A. G.; NOGUEIRA, A. S.; KIRCHNER, F. F.; BERGER, R. Uma síntese da contribuição do gênero pinus para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 445-450, 2007.

VECHI, A.; JÚNIOR, C. A. D. O. M. Aspectos positivos e negativos da cultura do eucalipto e os efeitos ambientais do seu cultivo. **Revista Valore**, v.3 n.1, 495-507, 2018.

VICENTE, E. D.; VICENTE, A. M.; EVTYUGINA, M.; CARVALHO, R.; TARELHO, L. A. C.; PANIAGUA, S.; ALVES, C. Emissions from residential pellet combustion of an invasive acacia species. **Renewable energy**, v. 140, p. 319-329, 2019.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. DA. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. **Papel e Celulose**, p. 261-314, 2011.

WESLER, S.; DA SILVA, B. S.; VIRMOND, E. **Sistema de combustão alimentado com cavaco de eucalipto.** In: 6º SICT-Sul-Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense. 2017.