

Parâmetros físico-químicos de diferentes resíduos agroindustriais para fins energéticos

PINCELLI, Ana Lúcia Piedade Sodero Martins
QUEIROZ, Ivan Souto de

Resumo

Esse estudo apresenta uma avaliação do potencial energético dos resíduos oriundos do processamento mecânico de madeira de reflorestamento e do processo de beneficiamento dos frutos. Os resíduos lignocelulósicos são classificados como materiais orgânicos, e estes são a principal fonte de geração de energia a partir da biomassa. O objetivo foi avaliar o potencial desses resíduos, como matérias-primas limpas e renováveis, susceptíveis de ser transformados em energia (bioenergia). Analisaram-se os resíduos provenientes de serrarias (serragens de eucalipto e de pinus) e cascas de banana e de laranja, tendo sido determinadas as seguintes propriedades: teor de umidade, densidade a granel, teor de cinzas e poder calorífico superior, inferior e útil. Os resultados indicam que todos os resíduos, com exceção da casca de banana, cujo teor de cinzas foi de 14,27%, possuem potencial como fonte bioenergética. Entretanto, os melhores resíduos foram o eucalipto e o pinus, devido aos menores teores de umidade e de cinzas, que apresentaram, conseqüentemente, maior poder calorífico.

Palavras-chave: eucalipto, pinus, casca de laranja, casca de banana.

Abstract

This study presents an evaluation of the energy potential of residues from the mechanical processing of reforestation wood and the fruit processing process. Lignocellulosic residues are classified as organic materials, and these are the main source of energy generation from biomass. The objective was to evaluate the potential of these residues, as clean and renewable raw materials, that can be transformed into energy (bioenergy). Residues from sawmills (eucalyptus and pine sawdust) and banana and orange peels were analyzed, with the following properties being determined: moisture content, bulk density, ash content and superior, inferior and useful calorific value. The results indicate that all residues, with the exception of banana peel, whose ash content was 14.27%, have potential as a bioenergetic source. However, the best residues were eucalyptus and pine, due to the lower moisture and ash contents, which consequently presented a greater calorific value.

Keywords: eucalyptus, pinus, orange peel, banana peel.

Resumen

Este estudio presenta una evaluación del potencial energético de los residuos del procesamiento mecánico de la madera de reforestación y el proceso de procesamiento de frutas. Los residuos lignocelulósicos se clasifican como materiales orgánicos, y estos son la principal fuente de generación de energía a partir de la biomasa. El objetivo era evaluar el potencial de estos residuos, como materias primas limpias y renovables, que pueden transformarse en energía (bioenergía). Se analizaron los residuos de los aserraderos (aserrín de eucalipto y pino) y las cáscaras de plátano y naranja, y se determinaron las siguientes propiedades: contenido

de humedad, densidad aparente, contenido de cenizas y valor calorífico superior, inferior y útil. Los resultados indican que todos los residuos, con la excepción de la cáscara de plátano, cuyo contenido de cenizas fue del 14,27%, tienen potencial como fuente bioenergética. Sin embargo, los mejores residuos fueron el eucalipto y el pino, debido a los menores contenidos de humedad y cenizas, que, en consecuencia, presentaron un mayor valor calorífico.

Palabras clave: eucalipto, pino, cáscara de naranja, cáscara de plátano.

INTRODUÇÃO

Analisando o atual cenário energético observa-se uma crescente preocupação por fontes de energias, sobretudo com a busca de alternativas renováveis em substituição aos combustíveis fósseis. O Brasil, atualmente, tem 45,3% de sua matriz energética originada de fontes renováveis, de acordo com a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE, 2019), somando à participação da lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis.

Nas últimas décadas, a biomassa entrou no cenário energético como uma alternativa para a diversificação da matriz mundial e com isso a diminuição da dependência dos combustíveis fósseis. Mesmo sendo pouco expressiva nesta matriz, com apenas 13,7%, em 2016, do consumo mundial de energia primária (EPE, 2019), a biomassa é uma das fontes renováveis que apresenta o maior potencial de crescimento nos próximos anos. Atualmente, existem muitos países que utilizam a biomassa como fonte de energia elétrica e térmica, onde a madeira (carvão e lenha) e resíduos agrícolas são as principais fontes utilizadas.

Com uma área de 7,84 milhões de hectares de reflorestamento, o setor florestal brasileiro é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB Industrial no País e, também, é um dos segmentos com maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde (CNI, 2017).

A geração de resíduos provenientes da biomassa agroflorestal no Brasil é grande e estes podem causar problemas ambientais, como o assoreamento e a contaminação dos cursos d'água, a ocupação de amplos espaços nas indústrias e a poluição do ar durante a sua queima a céu aberto (PROTÁSSIO et al., 2011). No Brasil, segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2019) em 2018, o setor de árvores plantadas gerou 52,0 milhões de toneladas de resíduos sólidos, sendo que, desse total, 36,9 milhões (70,9%) foram gerados pelas atividades florestais e 15,1 milhões (29,1%) pelas operações industriais.

Devido ao enorme desperdício dos recursos florestais oriundos de todas as etapas da cadeia produtiva, desde a exploração florestal até o processamento industrial em serrarias, tem-se um maior impacto sobre a floresta. Assim, tornando o aproveitamento da matéria-prima um importante objeto de estudo visando a sua otimização (LATORRACA, 2004).

Os processos de industrialização da madeira costumam ser fontes importantes de geração de resíduos de biomassa florestal. Dentre as estratégias para produção de madeira serrada, destaca-se o rendimento que a serraria tem no desdobro, ou seja, no processamento da tora na conversão em madeira serrada. A tora é um material que, ao ser processado para a produção de madeira serrada, gera perdas em formas de costaneiras, pó de serra e pontas de peças. Isso gera uma perda

de matéria-prima na forma de subproduto que passa a ser estimado como um resíduo cujas tentativas de aproveitamento não têm agregado o devido valor a um material considerado tão nobre (GARCIA et al., 2012).

A energia proveniente de biomassa agrícola possui uma vasta quantidade de produtos e subprodutos gerados pelo processamento de matérias-primas. Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo e é responsável por 4,6% do volume colhido, com uma produção de 39,9 milhões de toneladas. Com colheitas significativas de laranja, banana, melancia, abacaxi e uva (SEAB, 2020).

Em relação às principais frutas produzidas em 2017, destacam-se a banana, melancia, maçã, uva e a laranja. Juntas estas espécies responderam por 58,1% do volume total da fruticultura mundial, que foi de 865,2 milhões de toneladas. A banana - bananas e plátanos (bananas para cozer) - foi a fruta mais produzida no mundo, com 153,2 milhões de toneladas; a laranja, com 73,3 milhões de toneladas produzidas, é a quinta fruta em destaque (SEAB, 2020).

A Laranja é a principal fruta produzida no Brasil em volume, com 16,7 milhões de toneladas saídas dos pomares em 2018, e responde por 40,9% das colheitas totais da Fruticultura. O Estado de São Paulo é o principal produtor, com 12,9 milhões de toneladas, cuja participação representa 77,1% do volume (SEAB, 2020).

A Banana é a segunda fruta em volume produzido com 6,7 milhões de toneladas colhidas, correspondentes a 16,5% do volume das frutas. No Estado de São Paulo colheu-se 1,1 milhão de toneladas figurando como líder nas colheitas nacionais (SEAB, 2020).

Porém, os resíduos na cadeia produtiva agrícola são uma realidade e o Brasil é responsável pela geração de 26 milhões de toneladas (CEDES, 2018), das quais estimam-se perdas no plantio e na colheita (10%), nas etapas de manuseio e transporte (50%), e desperdício pelo consumidor (10%). Este último ocorre devido ao desconhecimento dos princípios nutritivos dos alimentos, bem como o seu aproveitamento inadequado, armazenamento e refrigeração inapropriados, e também, pela falta de planejamento de compras (SESC, 2003; INSTITUTO AKATU, 2004).

Os estabelecimentos responsáveis pela comercialização de alimentos, como supermercados, feiras, restaurantes e lanchonetes e as Centrais de Abastecimento de Alimentos (CEASA) de todo o país apontam que o desperdício pode variar entre 15% a 50% todos os dias, a maioria relacionado às hortaliças e frutas (AIOLFI; BASSO, 2013).

Nesse sentido, o aumento do volume de resíduos agrícolas e agroindustriais gerados, acompanhados do descarte inadequado dos mesmos é um problema mundial crescente. O aproveitamento desses resíduos é de extrema importância, já que resulta na redução de impactos ambientais, preservação da saúde da população, e permite agregar valor à esses materiais. Uma das

formas de aproveitamento está relacionada à capacidade de alguns resíduos serem utilizados no aproveitamento energético, dentre eles: cascas, serragem e maravalha que podem ser convertidos em material com maior valor comercial e com maior conteúdo energético por unidade de volume, ocasionando nova fonte de renda e menores impactos ambientais.

Porém, esses resíduos possuem grande variedade de formas, densidades, granulometrias e umidades, ou seja, considerável heterogeneidade. Em função da heterogeneidade desses resíduos, o rendimento térmico é baixo (LOMBARDI et al., 2015).

Para ampliar o uso da biomassa na geração de energia é necessário conhecer as suas propriedades físicas, químicas e energéticas. Segundo Brand (2010), a biomassa é um exemplo no qual as propriedades físicas e químicas têm influência direta sobre a viabilidade de uso do material como combustível. Além disso, a melhoria destas propriedades, sujeitas a manejo e tratamento, pode tornar a biomassa mais atrativa para sistemas de geração de energia, tornando-se competitiva com outros combustíveis, que a princípio teriam maior qualidade energética.

De acordo com Brand (2010), o poder calorífico é a propriedade mais importante para avaliar a viabilidade de uso de uma fonte na geração de energia, e para alguns combustíveis, esta é a principal propriedade levada em consideração. Isso porque o poder calorífico é a quantidade de calor total (energia térmica) que é liberado durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de combustível (kcal/kg ou kJ/kg; kcal/m³ ou kJ/m³).

O teor de umidade pode ser considerado uma das características mais relevantes ao se utilizar materiais lignocelulósicos para a geração de energia, tanto em processos termoquímicos, como a combustão e a pirólise, quanto em processos físicos, como a compactação/densificação para produção de peletes e briquetes, e biológicos, como a fermentação. Além desse fato, é necessário considerar que o poder calorífico dos materiais lignocelulósicos segue tendências inversamente proporcionais ao conteúdo de água presente nos mesmos (SOUZA et al., 2012).

Além do teor de umidade, a composição química do material e o teor de cinzas também influenciam o poder calorífico da biomassa. Em relação ao teor de cinzas, a presença de altos teores contribui para a redução do poder calorífico por unidade de massa, visto que os materiais minerais (cinzas) não participam do processo de combustão, mas são contabilizados na massa do combustível submetido ao processo de queima (BRAND, 2010).

A massa específica básica (ou densidade básica) expressa a quantidade de massa contida no material. Brand (2010) destaca que, em termos de uso da biomassa para a geração de energia, a densidade é importante principalmente quando se utiliza o conceito de poder calorífico volumétrico, para determinar o potencial energético por unidade de volume. A relação entre estes

dois parâmetros é linear, sendo que, de forma geral, quanto maior a massa específica básica, maior é o poder calorífico volumétrico.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades físicas e químicas (como o teor de umidade, a densidade a granel, teor de cinzas e poder calorífico) dos resíduos agroindustriais - serragens de eucalipto e de pinus e cascas de banana e de laranja - como fonte alternativa para geração de energia.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção dos resíduos agroindustriais

Para o presente estudo foram avaliados quatro diferentes resíduos, adquiridos no comércio local no Município de Capão Bonito - SP: resíduos de eucalipto e de pinus, da indústria madeireira (Figura 1); resíduos domésticos como as cascas de banana e de laranja, provenientes do descarte para a produção de purê e doce, e para a produção de suco, respectivamente (Figura 2).

Figura 1. Resíduos domésticos de cascas de banana (A) e de laranja (B) do comércio no Município de Capão Bonito - SP.

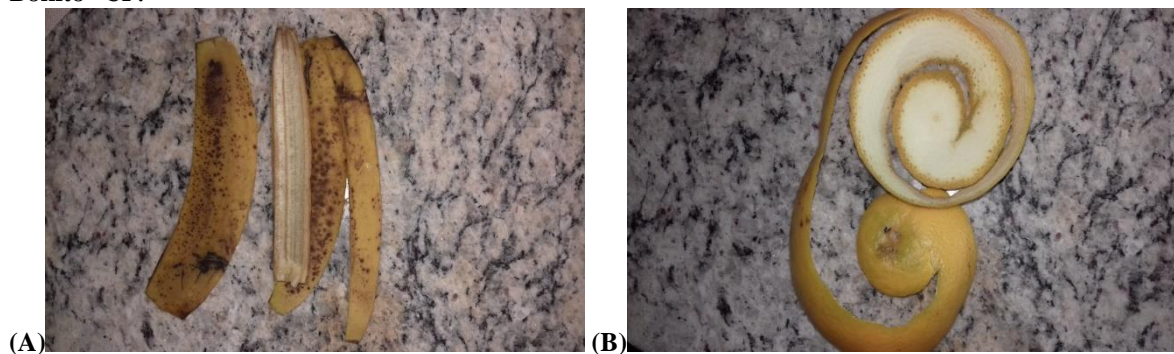
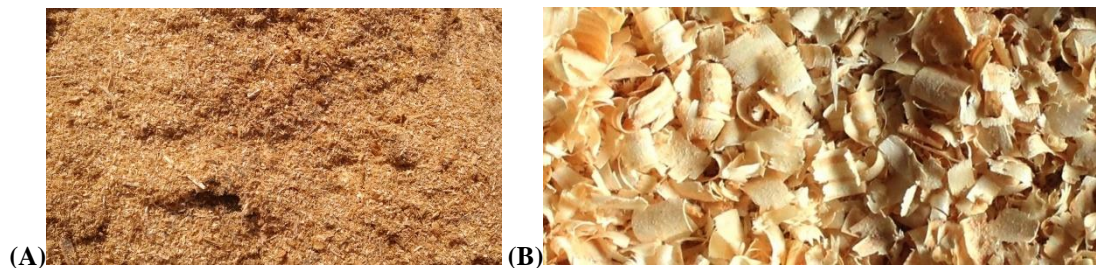


Figura 2. Resíduos de eucalipto (A) e de pinus (B) da indústria madeireira no Município de Capão Bonito - SP.



Determinação do teor de umidade

O teor de umidade dos resíduos foi aferido no Laboratório de Biotecnologia da Fatec de Capão Bonito, utilizando-se os seguintes materiais e equipamentos: estufa com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, balança com capacidade de 2 kg e precisão de 0,1 mg, cadinhos, bandeja de alumínio e dessecador.

Os cadinhos de alumínio foram colocados numa bandeja previamente limpa. Em seguida, a bandeja com os cadinhos foi colocada na estufa por 30 minutos e submetida à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, para eliminar a água e os resíduos contaminantes presentes nos mesmos.

Após este período, a bandeja com os cadinhos foi retirada e colocada no dessecador por 5 minutos. Após medir a massa dos cadinhos e anotar a tara, foi colocado 1g de cada resíduo em 5 repetições, totalizando 20 cadinhos.

Posteriormente os cadinhos foram levados à estufa, na mesma temperatura anterior, sendo aferidas suas massas a cada 2 horas onde permaneceram até adquirirem massa constante.

O teor de umidade foi determinado segundo a Equação 1 (ABNT NBR 8112/86).

$$TU = [(m_0 - m_1)/m_0] \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

TU = teor de umidade em %;

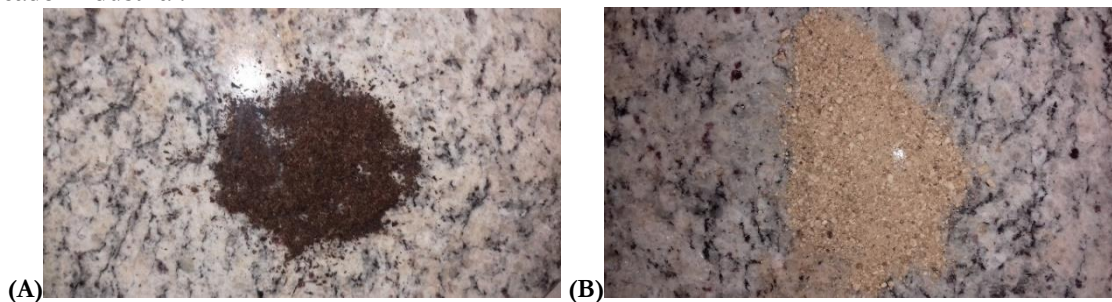
m_0 = massa inicial da amostra em g;

m_1 = massa final da amostra em g.

Moagem dos resíduos agrícolas

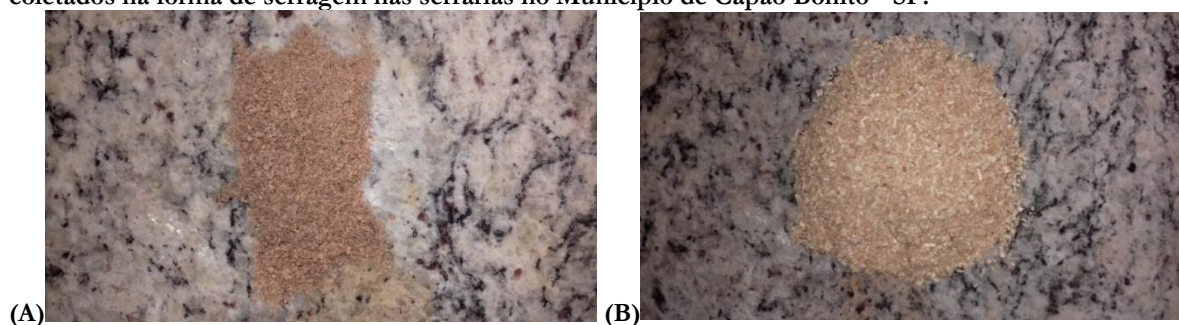
Os resíduos domésticos constituídos de cascas de banana e de laranja, após coletados, foram limpos retirando-se resquícios de polpa das frutas e, em seguida, expostos ao sol. Após alguns dias expostos à secagem ao ar livre, para diminuição da sua umidade, os mesmos foram cortados com o auxílio de uma tesoura, transformando-os em pedaços pequenos para serem posteriormente triturados por um liquidificador industrial, para diminuição dos seus tamanhos granulométricos (Figura 3).

Figura 3. Resíduos moídos de cascas de banana (A) e de laranja (B) após secagem ao ar livre e triturados em liquidificador industrial.



No caso dos resíduos do processamento mecânico de madeira de eucalipto e pinus, coletados na forma de serragem nas serrarias locais, ambos foram apenas peneirados, pois estes já apresentavam grânulos pequenos (Figura 4).

Figura 4. Resíduos peneirados do processamento mecânico de madeira de eucalipto (A) e de pinus (B), coletados na forma de serragem nas serrarias no Município de Capão Bonito - SP.



Determinação da massa específica (densidade a granel)

Para a determinação da densidade a granel dos resíduos, que foi realizada no Laboratório de Bioquímica da Fatec de Capão Bonito, baseou-se na norma ABNT NBR 6922 (ABNT, 1981), sendo utilizados para essa análise uma caixa de paredes rígidas com (9,85 x 9,85 x 9,85) mm de dimensões internas e balança com capacidade de 2kg e precisão de 0,1mg. Foram realizadas, neste caso, 5 repetições.

A massa específica por unidade de volume é dada pela Equação 2.

$$D = (M2 - M1)/V \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

D = massa específica em kg/m³;

M1 = massa da caixa vazia em kg;

M2 = massa da caixa cheia em kg

Determinação do teor de cinzas

A determinação do teor de cinzas foi realizada no Laboratório Integrado de Química, Celulose e Energia - LCF/Esalq/USP, segundo a norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986). As amostras de resíduos em cadinhos de porcelana, em triplicata, foram posicionadas dentro da mufla previamente aquecida a $750 \pm 10^\circ\text{C}$, durante 6 horas. Após esse período, os cadinhos foram esfriados em dessecador com sílica gel durante 1 hora. Por fim, os materiais foram pesados. O cálculo para se obter o teor de cinzas foi obtido empregando-se a Equação 3.

$$TC = (P_c/P_i) \times 100$$

Equação 3

Onde:

TC = teor de cinzas em %;

P_c = massa da amostra que ficou retida no cadinho após o processo em g;

P_i = massa inicial da amostra em g.

Determinação do poder calorífico superior (PCS)

O PCS, realizado em triplicata, foi obtido com o auxílio do Calorímetro IKAWERKE C5003, de acordo com a metodologia descrita pela norma ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984), no Laboratório Integrado de Química, Celulose e Energia - LCF/Esalq/USP. Inicialmente, um fio de algodão foi fixado à base da bomba calorimétrica de modo a ficar em contato com a amostra de resíduo (60 mesh) contida no cadinho de quartzo. A bomba calorimétrica, já montada, foi imersa em uma solução de água com um produto (1 mL/L) que facilita a condutividade térmica no calorímetro. O ar ambiente (com 21% de O₂) contido na bomba calorimétrica é retirado e o O₂ é então adicionado (a 30 bar de pressão).

Por fim, a temperatura da água é homogeneizada e ocorre a liberação de energia (ignição) para dar partida na combustão. A elevação da temperatura da água é calculada para obtermos o PCS.

Delineamento e análise estatística

Para a caracterização energética dos quatro resíduos agroindustriais, foi adotado o delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos (resíduos) e 5 repetições para a densidade a granel e o teor de umidade e 3 repetições para o teor de cinzas e o poder calorífico. Atendidos os pressupostos da ANOVA, os tratamentos foram comparados entre si por meio do teste de Tukey no nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão apresentados os valores médios de densidade a granel e teores de umidade e de cinzas dos quatro resíduos agroindustriais estudados. Observa-se que houve diferença significativa entre todos os valores médios das análises realizadas.

Tabela 1. Valores médios de densidade a granel, teor de umidade base úmida e teor de cinzas dos resíduos agroindustriais

Resíduos Agroindustriais	Densidade a Granel Kg/m ³	Teor de Umidade %	Teor de Cinzas %
Casca de banana	371,3 b	30,1 c	14,27 A
Casca de laranja	425,9 a	31,8 d	4,18 B
Serragem de eucalipto	215,0 c	13,3 b	0,65 D
Serragem de pinus	188,2 d	12,8 a	3,67 C
F trat	16396,6**	51517,7**	3315,9**
d.m.s.	3,5	0,184	0,466
CV	0,98	0,46	3,13

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$);

** - valor significativo pelo teste "F" ($p \leq 0,01$).

CV: coeficiente de variação

Ao analisar os valores encontrados para a densidade a granel da biomassa estudada, ou seja, cascas de banana e de laranja e serragens de madeira de eucalipto e de pinus, verifica-se que houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre todas as médias de resíduos.

Os maiores valores de densidade encontrados foram para os resíduos domésticos, em relação às serragens de madeira, com valores variando de 188,2 a 425,9 Kg.m⁻³, respectivamente, para serragem de pinus e casca de laranja. Segundo Dias et al. (2012) a densidade é um parâmetro importante pois quanto maior ela for, maior será a relação entre energia e volume do combustível.

Para Dias et al. (2012) a biomassa utilizada no processo de briquetagem possui densidades variando de 50 a 180 kg.m⁻³. Comparando-se os valores médios encontrados com os relatados pelos autores, nota-se que todos os resíduos analisados apresentaram valores acima de 188,2 Kg.m⁻³.

O efeito do tamanho da partícula na densidade aparente foi significativamente favorável quando se utilizou partículas mais finas da biomassa de cascas de banana e de laranja, elevando-se a densidade aparente. No estudo de Kaliyan e Morey (2009), de biomassa submetida à densificação, concluiu-se que, quanto menor o tamanho da partícula melhor foi a compactação, aumentando-se a densidade aparente. Ainda de acordo com estes autores, as partículas com dimensões pequenas são interessantes pelo fato de abrangerem área maior de superfície e promoverem melhor interação.

Dias et al. (2012) indicam que quanto menor a partícula, menor a porosidade, gerando em consequência um combustível com maior densidade. Tecnicamente, densidade aparente maior é desejável quando se trabalha com combustíveis sólidos para geração de energia na forma de calor.

Outro parâmetro que influencia a geração de energia a partir da biomassa, e que deve ser controlado, é o teor de umidade no produto final. Quanto menor a umidade maior será a produção de calor por unidade de massa, pois parte da energia liberada na combustão é gasta na vaporização da água. Se o teor de umidade for muito variável, poderá dificultar o processo de combustão, havendo necessidade de constantes ajustes no sistema.

A literatura sugere um teor de umidade de 15-20% para a queima, visto que os valores superiores reduzem o valor do calor de combustão, a temperatura da câmara de queima e a temperatura dos gases de escape (GONÇALVES et al., 2009). Valores de umidade acima de 15% podem levar à quebra do briquete ou à degradação biológica durante o transporte e armazenamento. Por outro lado, baixo teor de água (<5%) pode resultar em perda de material, bem como a sua quebra, geração de finos durante o transporte e armazenamento.

Os resultados encontrados, tanto para os resíduos de cascas de banana e de laranja quanto para as serragens de eucalipto e pinus, confirmam que houve diferença significativa do teor de umidade ao nível de 5% de probabilidade. O teste de Tukey mostrou que o teor de umidade dos resíduos domésticos (30,1% para laranja e 31,85% para banana) é significativamente maior do que dos resíduos de madeira (12,8% para pinus e 13,3% para eucalipto).

O teor de umidade é uma variável importante no processo de compactação. Se, por um lado, a água facilita a gelatinização do amido, fragmentação de proteína, solubilização de fibras durante a densificação, o excesso da mesma pode levar à compactação e entupimento na alimentação do maquinário. Estudos mostram que o teor de água ideal, para a maioria das biomassas, está entre 5-10%, pois resulta em um produto mais denso, estável e durável do que briquetes compactados com teores de água acima dos 15%. No entanto, outros estudos sugerem teores de umidade entre 15 e 23% para produtos como serragem e palha de trigo (DEMIRBAS et al., 2004).

No que se refere aos teores de cinzas encontrados, os resultados foram considerados apenas satisfatórios, de acordo com a literatura, para os resíduos de serragem de eucalipto (0,65%) e de casca de laranja (4,18%).

De acordo com TSOUMIS (1991) o conteúdo de cinzas raramente é menor que 0,2% ou maior que 1% do peso seco das madeiras. Portanto, o valor encontrado para os resíduos de serragem de pinus é considerado alto (3,67%), sendo essa característica provavelmente decorrente da presença de impurezas como: casacas, terra, areia, pedras óleos e resinas.

Para Shutz, Anami e Travessini (2010) o expressivo valor de cinzas em resíduos provenientes de cultivos agrícolas é esperado, como constatado nesse trabalho, visto que estes podem apresentar altos teores de sílica nos substratos. Valve et al. (2012) encontraram para casca de laranja, de mandioca, de maracujá, de coco e sabugo de milho valores de 4,53%, 7,51%, 9,06%, 4,71% e 8,78%, respectivamente. O teor de cinzas encontrado na casca de banana (14,27%) está fora do intervalo (6,4 à 12,8%) obtido por Happi Emaga et al. (2007) em seu estudo sobre as variações sofridas na composição química de bananas durante o amadurecimento.

Esses elevados teores de cinzas estão relacionados com determinados elementos químicos inorgânicos presente no vegetal que permanecem após a combustão da matéria orgânica. Os mesmos ficam na forma sólida e são indesejáveis para fins energéticos (CHAVES et al., 2013).

Este índice, em grande quantidade após a queima de combustíveis ou biomassa, podem causar problemas de acumulação, bloqueio e entupimento de grelhas, diminuir a produção energética bem como emitir poluentes (RENDEIRO e NOGUEIRA, 2008; CAPOTE, 2012).

Altos teores de cinzas podem levar também à corrosão do queimador e a desgastes de todos os equipamentos por abrasão, o que se torna mais crítico quando o teor de cinzas for superior a 4% (MANDE, 2009).

Na Tabela 2, estão apresentados os valores médios de PCS, poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico útil (PCU) dos quatro resíduos agroindustriais estudados. Observa-se que houve diferença significativa entre todos os valores médios das análises realizadas.

Tabela 2. Valores médios de poder calorífico superior (PCS), inferior (PCI) e útil (PCU) dos resíduos agroindustriais

Resíduos Agroindustriais	PCS		PCI		PCU	
	Kcal/kg		Kcal/kg		Kcal/kg	
Casca de banana	4416,3	d	4112,3	d	2695,7	c
Casca de laranja	4475,3	c	4171,3	c	2654,3	c
Serragem de eucalipto	4727,7	b	4400,2	b	3755,0	B
Serragem de pinus	4809,7	a	4505,7	a	3851,0	A
F trat	229,6**		229,6**		4400**	
d.m.s.	57,1		57,1		44,6	
CV (%)	0,47		0,51		0,53	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$);

** - valor significativo pelo teste "F" ($p \leq 0,01$).

CV: coeficiente de variação

Quando se trata de avaliar o potencial energético de resíduos agroflorestais, o poder calorífico é uma variável que merece atenção. Sabe-se que o poder calorífico mede a quantidade de energia liberada de um determinado combustível sólido por unidade de massa.

Diante disso, os resultados obtidos neste estudo para PCS variaram de 4416,3 kcal/kg a 4809,7 kcal/kg, e PCI variaram de 4112,3 kcal/kg a 4505,7 kcal/kg. Os resíduos que apresentaram melhores resultados em relação a esses parâmetros foram as serragens de eucalipto e pinus, constatando-se que os mesmos estão próximos da literatura.

Além disso, observa-se uma diminuição do poder calorífico dos resíduos de madeira para os resíduos de cascas de fruta, que pode ser devido aos maiores valores de teores de umidade e de cinzas encontrados nos resultados. De acordo com Paula (2012) altos teores de cinzas promovem uma diminuição no PCS.

Considera-se que existe uma correlação negativa entre o poder calorífico e o teor de umidade presente em determinada biomassa; logo é importante para fins energéticos que a biomassa apresente teor de umidade que não afete negativamente o seu potencial para geração de energia (FURTADO et al., 2012).

Além da queima direta para geração de energia na própria beneficiadora, a briquetagem das cascas seria uma forma eficiente do aproveitamento dessa energia, por ganhos de densidade do produto final, que causa aumento de até 2,5 vezes o poder calorífico (Mayer et al., 2006).

Para materiais com baixos teores de cinzas e teor de umidade entre 10% e 15%, isto é, a maioria dos briquetes de madeira e resíduos agroindustriais, os valores resultantes caloríficos são encontrados na faixa de 17-18 MJ/kg (PCI: 15,4-16,5 MJ/kg) (FAO, 2012).

CONCLUSÃO

Os resíduos (serragens) de eucalipto e de pinus apresentaram melhores resultados do potencial energético que os resíduos domésticos de cascas de banana e de laranja, devido aos menores teores de umidade e de cinzas e melhores qualidades em poder calorífico.

Os resíduos domésticos apresentaram maiores densidades a granel, devido à fração granulométrica mais fina. Deste modo, para que as serragens de eucalipto e pinus apresentem também uma maior densidade, faz-se necessário transformá-las em partículas menores.

A casca de banana apresentou-se com alto teor de cinzas, o que a torna inviável como potencial para geração de energia.

A confecção de briquetes a partir dos resíduos agrofloretais, com exceção da casca de banana, é uma alternativa energética extremamente viável.

REFERÊNCIAS

AIOLFI, A. H.; BASSO, C. Preparações elaboradas com aproveitamento integral dos alimentos. *Disciplinarum Scientia. Série: Ciências da Saúde*, Santa Maria, v. 14, n. 1, pág. 109-114, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6922: carvão vegetal - ensaios físicos - *determinação da massa específica (densidade a granel)*. Rio de Janeiro, 1981. 2 p.

_____. NBR 8633: carvão vegetal - *determinação do poder calorífico*. Rio de Janeiro, 1984. 2 p.

_____. NBR 8112: carvão vegetal - *análise imediata*. Rio de Janeiro, 1986. 5 p.

BRAND, M. A. *Energia de biomassa florestal*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010.

CAPOTE, F. G. *Caracterização e classificação de co-produtos compactados da biomassa para fins energéticos*. 2012. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Interinstitucional em Bioenergia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/29703/R+-+D++FRANCIELE+GESLEINE+CAPOTE.pdf;jsessionid=E4391B6A3171BC53EDCFA533AD0477EA?sequence=1>>. Acesso em: 24 out. 2016.

CEDES – Centro de Estudos e Debates Estratégicos. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. *Perdas e desperdício de alimentos – estratégias para redução*. Série de cadernos de trabalhos e debates 3. Brasília, DF, pág. 260, 2018;

CHAVES, A. M. B.; VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus spp.* *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, Goiânia, v. 9, n. 17; p. 533. 2013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. *Florestas plantadas: oportunidades e desafios da indústria de base florestal no caminho da sustentabilidade* / Confederação Nacional da Indústria, Indústria Brasileira de Árvores - Brasília: CNI, 2017. 79 p.

DEMIRBAS, A.; SAHIN-DERMIBAS, A.; DERMIBAS, A. H. Briquetting properties of biomass waste materials. *Energy Sources*, Philadelphia, v. 26, n. 1, p. 83-91, 2004.

DIAS, J. M. C. de S. et al. *Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais*. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/952626/1/DOC13.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Relatório Síntese / Ano Base 2018. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>. Acesso em: 09 de abril de 2020.

GARCIA, F. M.; MANFIO, D. R.; SANSÍGOLO, C. A. MAGALHÃES, P. A. D. 2012. Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. *Floresta e Ambiente*. 19(4): p. 468-474.

GONÇALVES, J. E.; SARTORI, M. M. P.; LEÃO, A. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 657-661, 2009.

HAPPI EMAGA, T. et al. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food Chemistry*, v. 103, p. 590–600, 2007.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - Ibá. *Relatório Anual 2019*. Brasília, DF: Relatório Anual 2019. 80 p. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 23 de março de 2020.

INSTITUTO AKATU. Um panorama brasileiro da alimentação. *Caderno Temático: a nutrição e o consumo consciente*. São Paulo, 2004;

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

LATORRACA, J. V. F. 2004. *Processamento mecânico da madeira*. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 116 p.

LOMBARDI, L.; CARNEVALE, E.; CORTI, A. A review of Technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. *Waste Management*, v. 37, p. 26-44, 2015. Disponível em: http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/noticias_eventos/WSP%20Waste%20to%20Energy%20Technical%20Report%20Stage%20Two.pdfdoi: j.wasman.2014.11.010. Acesso em: 07 de maio de 2017.

MANDE, S. P. Thermo chemical conversion of biomass. In: KISHORE, V. V. N. (Ed.). *Renewable energy engineering and technology*. New Delhi: The Energy and Resources Institute, 2009. p. 705-728.

PAULA, Luana Elis de Ramos e. *Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos*. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2447/1/DISSERTAÇÃO_Produção_e_avaliação_de_briquetes_de_resíduos_lignocelulósicos.pdf. Acesso em: 24 out. 2015.

PROTÁSSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. Compactação da biomassa vegetal visando a produção de biocombustíveis sólidos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-283, out/dez, 2011. DOI: 10.4336/2011.pfb.31.68.273

SANTOS, C. M.; MORAIS, L. C. DE. Parâmetros termodinâmicos da casca de laranja desidratada. *Química Nova*, v. 38, n. 4, p. 488-492, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/128413/S0100-40422015000400488.pdf?sequence=1&isAllowed=y> doi: 0100-4042.20150026

SCHUTZ, F. C. A.; ANAMI, M. H.; TRAVESSINI, R. Desenvolvimento e ensaio de briquetes fabricados a partir de resíduos lignocelulósicos da agroindústria. *Inovação e Tecnologia*, Medianeira, v. 1, n. 1, p.3-8, 2010. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/recit/article/viewFile/21/2642>. Acesso em: 25 out. 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO - SEAB Paraná. Departamento de Economia Rural - DERAL. *Fruticultura Análise da Conjuntura*, Prognóstico 2020. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-01/fruticultura_2020.pdf. Acesso em: 14 de março de 2020.

SESC - MESA BRASIL (Segurança Alimentar e Nutricional). Programa Alimentos Seguros. Convênio CNC/CNI/SEBRAE/ANVISA. *Banco de Alimentos e Colheita Urbana: Aproveitamento Integral dos Alimentos*. Rio de Janeiro: SESC/DN, 45 p., 2003.

SOUZA, M. M. de; SILVA, D. A. da; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R. C. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 42, n. 02, p. 325-334, 2012.

TSOUMIS, G. *Science and technology of wood: structure, properties, utilization*. New York, Van Nostrand Reinold, 404 p. 1991.

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. *Revista Árvore*, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

PINCELLI, Ana Lucia Piedade Sodero Martins. Possui graduação em Engenharia Florestal pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP (1995), Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras - ESALQ/USP (1999) e Doutorado em Ciências (Programa: Recursos Florestais) - ESALQ/USP (2011). Tem experiência na área de Recursos Florestais, com ênfase em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, atuando principalmente nos seguintes temas: caracterização química, física e energética da madeira, torrefação, termorretificação, energia da biomassa, resíduos florestais, eucalipto e pinus. Foi Professora Substituta dos Cursos de Engenharia Florestal e Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar (2011). Atualmente é Professora Associada dos Cursos Superiores de Tecnologia em Silvicultura e em Agroindústria, da Faculdade de Tecnologia de Capão Bonito - FATEC CB, e de Tecnologia em Biocombustíveis, da FATEC Piracicaba - Dep. Roque Trevisan. Participou como Membro Suplente Eleito do Colegiado dos Cursos Superiores de Tecnologia em Silvicultura e em Agroindústria, da FATEC CB (2015 a 2016). Pesquisadora nos grupos de pesquisa Bioenergia e Bioprodutos de Base Florestal no CNPq, vinculados aos Laboratórios Integrados de Química, Celulose e Energia (LQCE) do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, e ao Laboratório de Energia da Biomassa (LEB) do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM/CCAIE/UFES). Integra as Comissões de Iniciação Científica e de Gestão de Resíduos (Professora Responsável) da Fatec Piracicaba. Atual Coordenadora dos Laboratórios de Química e Física da Fatec Piracicaba. Atuou como Professora Responsável (Coordenadora) pelos Cursos de Qualificação Profissional do Novotec Expresso na FATEC Piracicaba (2º Sem de 2019 a 2020) e na FATEC Capão Bonito (1º Sem de 2021), programa da Secretaria Estadual de Desenvolvimento Econômico (SDE) e do Centro Paula Souza (CPS). Atuou, em Julho/2021, como Monitora do Programa Minha Chance do CPS, em parceria com a Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Governo do Estado de São Paulo, na tecnologia K2 University&Salesforce no curso ADMINISTRADOR (ADMIN).

QUEIROZ, Ivan Souto de. E-MAIL fuste.ivansouto@gmail.com