

ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESÍDUOS AGROFLORESTAIS DA REGIÃO AMAZÔNICA

Luiz Felipe da Silva Ferreira¹

Gabriel Willian Moreira Bezerra²

João Vítor Ribeiro Moreira³

Alan Nogueira Carneiro⁴

Ana Paula Mattos⁵

Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa 01, Guamá, 66075-110, Belém, Pará.

luiz.silva.ferreira@itec.ufpa.br¹; gabriel.bezerra@itec.ufpa.br²; joao.moreira@itec.ufpa.br³; alancarneiro90@hotmail.com⁴
anapmattos@ufpa.br⁵

Resumo: Conciliar o desenvolvimento com práticas sustentáveis e renováveis é um desafio enfrentado por toda a sociedade desde o final do século XX. No mundo que entra no pós-covid-19 essa pauta ganha mais importância para o Brasil, visto que um maior investimento nessa área pode contribuir para o crescimento econômico do país, principalmente na área de geração de energia advinda de resíduos sólidos que atualmente tem 8,4% de participação na matriz energética do Brasil, valor esse que provém do potencial que o país possui com o bioma amazônico (área que ocupa mais de 40% do território nacional e que possui um baixo investimento em soluções energéticas que não provem de hidrelétricas). Estima-se que o bioma abriga mais de 30 mil espécies de plantas, sendo que 74% dessas plantas encontram-se em território brasileiro, muitas dessas espécies não foram propriamente caracterizadas e seus potenciais energéticos ainda são desconhecidos, assim é de extrema importância os estudos de caracterização dessas espécies para ampliar o cenário de soluções sustentáveis, ao mesmo tempo em que se reinventa o cenário energético do Brasil. Esse artigo tem como base de estudo a caracterização de resíduos agroflorestais provindos da região amazônica, a exemplo do caroço do açaí, casca de coco, casca de arroz entre outros, os quais estão sendo estudados e utilizados como combustíveis em caldeiras. Será realizado uma comparação entre a análise elementar, imediata e PCS destes resíduos no intuito de averiguar o desvio encontrados em seus valores e discutir a viabilidade de utilização destes como combustíveis para geração de energia térmica e/ou elétrica. Também será realizado uma comparação entre pellets e briquets destes resíduos e a influência nos valores de PCS. Os estudos que apresentam a importância de gestão e tratamento de resíduos para a geração de energia é uma tendência mundial, pela quantidade gerada e por serem passivos ambientais, e ao mesmo tempo contribui para uma redução parcial da utilização de combustíveis fósseis em caldeiras. Muitos dos resíduos utilizados possuem um grande potencial de serem utilizados em caldeiras, por conter um valor de voláteis e um PCI próximo ou maior a outros combustíveis já utilizados, por exemplo o caroço de açaí que possui um PCI maior que o bagaço de cana.

Palavras-chave: Biomassa, Resíduos Agroflorestais, Caracterização, Amazônia, PCS.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os 4 países que mais emitiram gases poluentes no mundo desde 1850, sendo o país responsável pela emissão de aproximadamente 112,9 bilhões de toneladas de dióxido de carbono (Evans, 2021).

O Balanço Energético Nacional registrou uma queda de 2,2% da oferta interna de energia disponibilizada no Brasil quando comparada ao ano anterior. Tal fato pode estar relacionado à pandemia do Covid-19, que afetou o consumo de muitos setores, principalmente o de transportes (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2021).

Segundo Evans (2021), apesar dos avanços do uso de energias renováveis no país, as emissões de material particulado, ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono derivados da queima de combustíveis fósseis ainda são alarmantes.

A utilização dos resíduos agroflorestais tem o objetivo de reduzir os poluentes gerados pela queima de combustíveis, provenientes do processo de milhões de anos de decomposição orgânica e agravadores do efeito estufa. Além disso, visa o desenvolvimento econômico do Brasil, tendo em vista a grandeza da formação de resíduos derivados da biomassa no país (SOUZA *et al.*, 2021).

Em 2020, no Brasil, houve um avanço na geração de energias renováveis, representando 84,8% da oferta interna de eletricidade no país, contribuindo para o aumento da participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, em contrapartida aos 83% registrados em 2019 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2021).

O uso de energias renováveis estabeleceu um recorde na nova capacidade de energia em 2020 e foi a única fonte de eletricidade a registrar um aumento líquido na capacidade total. O investimento na capacidade de energia renovável aumentou, embora ligeiramente, pelo terceiro ano consecutivo, e as empresas continuaram a quebrar recordes de fornecimento de eletricidade renovável (RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK - REN, 2021).

O território brasileiro, em especial a Amazônia, tem um potencial considerável para produzir bioenergia devido à vasta extensão territorial, à abundância de plantas e oleaginosas, resíduos animais e urbanos, além da longa experiência na utilização de resíduos de biomassa para a produção de etanol, energia elétrica e aquecimento em unidades de cogeração (Souza *et al.*, 2021).

Dentre as diversas biomassas disponíveis na floresta amazônica, a casca de cacau, semente de inajá, casca de cupuaçu, caroço de tucumã, semente de guaraná, casca de coco, caroço de açaí, caroço de buriti e a casca da castanha-do-pará são exemplos de geradores de grande quantidade de resíduos, sendo que a grande maioria tem pouco aproveitamento e muito desperdício (Araújo *et al.*, 2021).

Os resíduos orgânicos podem ser utilizados como fonte bioenergética de diversas formas, desde combustão direta, processos termoquímicos ou de processos biológicos. Além de que, essa matéria orgânica pode ser responsável por complicações ambientais como o assoreamento, contaminação dos cursos das águas e a poluição do ar, quando este é queimado a céu aberto, justificando ainda mais a importância do seu uso como fonte renovável (Júnior, 2013; David; Lopes, 2021).

Os resíduos agroflorestais podem ser utilizados como biocombustíveis, porém deve-se realizar a caracterização destes materiais orgânicos. Análises por meio de processos para encontrar o teor de umidade, teor de voláteis, teor de cinzas e o teor de carbono fixo devem ser efetuados, tais teores caracterizam a análise imediata. Assim como a análise elementar, que tem como finalidade calcular o percentual dos principais elementos que constituem a biomassa, como o carbono, hidrogênio, enxofre, oxigênio, nitrogênio e cinzas. Por meio de equipamentos como a bomba calorimétrica, é importante ter conhecimento do poder calorífico superior (PCS) para a caracterização da biomassa (Cossu *et al.*, 2020). O poder calorífico inferior (PCI) pode ser calculado mediante o valor do PCS e da análise elementar.

Outro fator importante para adequar a biomassa para utilizá-la como combustível seria um pré-tratamento, com o intuito de padronizar o material, como a redução de tamanho, secagem, carbonização e densificação. No intuito de elevar a densidade energética da biomassa, podem ser realizados processos como a peletização e briquetagem. Estas são técnicas de compactação da matéria, onde uma pressão é exercida em um material para aglomeração de uma quantidade superior do material em um volume inferior, com uniformidade e homogeneidade de propriedades, como a umidade (Gadelha *et al.*, 2021; Galvani *et al.*, 2021).

O processo de briquetagem e peletização no estudo de biomassas, são técnicas capazes de não só transformar os resíduos em pequenos blocos (*pellets e briquetes*) alterando apenas a composição física da matéria, mas também aumentar a uniformidade e a concentração energética do combustível a ser queimado. Além disso, a logística de manuseio do resíduo estudado após a briquetagem e peletização é melhorada, pois os pequenos blocos são fáceis de ser armazenados, protegem a manutenção dos queimadores e aumenta o fator de segurança contra incêndios, devido a uniformidade dos blocos. (EMBRAPA, 2012)

Visto a importância na utilização dos resíduos agroflorestais como fontes de energia e buscando conhecer e caracterizar esses materiais orgânicos, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura quanto a análise elementar, imediata, PCS e PCI do caroço do açaí, bagaço de cana, coco e casca de arroz. Assim como apresentar as variações dos valores para briquetes e pellets. Será realizada uma comparação destes resíduos com combustíveis fósseis, principalmente o carvão mineral, pois ainda é muito utilizado e altamente poluente. Desta maneira o artigo visa contribuir nas pesquisas de combustão de resíduos agroflorestais.

2. METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma revisão de literatura para obtenção de dados, e consistiu em uma análise qualitativa e detalhada sobre o potencial da utilização de resíduos agroflorestais, com o objetivo de substituir os combustíveis fósseis, os quais a queima produz mais poluentes, e ao mesmo tempo agregar valor aos resíduos, se tornando uma alternativa de gestão e tratamento destes passivos ambientais. A fim da concretização deste trabalho, realizou-se pesquisas nas bases de dados *Scielo*, *Science Direct*, *Google Scholar* e *Research Gate* em busca de artigos e dissertações que versam sobre o tema, utilizando os descritores Biomassa, Resíduos Agroflorestais, Caracterização, PCI, PCS, Caroço do açaí, Casca de coco, Casca de arroz, bagaço de cana e Carvão mineral.

De porte dos resultados encontrados por meio das pesquisas, o PCS do caroço do açaí, casca de coco, casca de arroz, bagaço de cana e do carvão mineral foram registrados e comparados, realizando-se uma análise da uniformidade dessas fontes de energia estudadas através de desvio padrão.

Os artigos selecionados realizam a discussão sobre técnicas de briquetagem e peletização. Comparou-se o ganho de PCI do produto e se avaliou a viabilidade do processo, qualificando e quantificando o potencial energético das amostras estudadas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

O bagaço de cana é responsável por 82,24% da geração de bioeletricidade no país (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2021), esse percentual existe devido ao fato do Brasil produzir cerca de 654.527,8 mil toneladas de cana de açúcar anualmente, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (COSTA, 2020). O bagaço tem grande relevância para a produção de energia no país, entretanto a sua produção concentra-se primariamente na região sudeste, ao levar em conta a região norte do Brasil é mais vantajoso utilizar o caroço de Açaí, pois o resíduo é bastante abundante na região devido à grande produção da espécie. Além disso, a utilização do Açaí tem um fator interessante que é o grande número de resíduos não utilizados, como visto na figura 1.



Figura 1. Situação de coleta dos batedores cadastrados (Menezes, 2018) (a), despejo inadequado do açaí (b).

A figura 2 apresenta que o estado do Pará produziu 1.389.941 toneladas de açaí em 2020, cerca de 94% da produção total do País (IBGE, 2021), porém mesmo com a produção em uma crescente nos últimos anos, ainda se está longe da produção de cana de açúcar que segundo o IBGE no ano de 2020 alcançou a marca de 677,9 milhões de toneladas colhidas, apesar da discrepância de produção, a utilização dessas fontes de energia tem um papel de transformar rejeitos em energia, dessa forma mesmo que em quantidade menor ainda há uma justificativa forte para o maior aproveitamento dessas espécies na matriz energética do Brasil, visto o seu alto poder calorífico superior (PCS) com média igual a 18,62 MJ/kg.



Figura 2. Comparativo da produção de Açaí no Brasil e no estado do Pará no ano de 2020 (IBGE, 2020).

A produção mundial de coco, em 2019, foi de 62,9 milhões de toneladas. O Brasil é o quinto maior produtor mundial, mas participa com apenas 3,7% do total (SIMONE *et al.*, 2021). Em 2020, mesmo com a situação agravada pela crise sanitária, o consumo nacional cresceu 4,6% em relação a 2019, passando a 2,47 milhões (SIMONE *et al.*, 2021). Devido ao grande consumo, o aumento da produção e descarte dos resíduos do coco verde passou a ser uma tendência natural, trazendo problemas para as áreas urbanas, e causando uma consequente elevação na geração de resíduos sólidos (cascas). O acúmulo das cascas de coco verde causa transtornos, principalmente nas cidades litorâneas, mesmo quando transportado para locais apropriados, devido ao seu longo tempo de decomposição (cerca de 12 anos), pois diminuem o tempo de vida útil dos aterros sanitários (Silva, 2014), pela necessidade de maior espaço de armazenamento por conta de seu formato e sua difícil compactação (Dias *et al.*, 2019). Alternativas de aproveitamento da casca do coco verde possibilita a redução da disposição de seus resíduos de forma inadequada, além de proporcionar uma nova opção de renda junto ao local de produção e descarte do produto. O aproveitamento das fibras do resíduo de coco verde em paisagismo e jardinagem ou na fabricação de tecido TNT na indústria têxtil, além da aplicação do resíduo em telhas com alto suporte de cargas na construção civil são fontes extras de renda para os agentes das cadeias produtivas se manterem no mercado, assim como constatado por Lacerda e Leitão (2021). As cascas de coco também têm sido transformadas em carvão e em briquetes de

material cru, que podem substituir a lenha para a queima industrial. O carvão a partir da casca de coco tem sido produzido no Camboja, através do programa Futurando (EBEL, 2013). Os briquetes de material cru são ideais para serem utilizadas em pizzarias, restaurantes, churrascarias, padarias, assim como indústria em geral, por possuírem uma menor geração de fumaça, com baixo teor de cinzas e maior temperatura da chama, podendo serem utilizados em caldeiras de todos os tipos, fornalhas, fornos, secadores, forjas, lareiras, churrasqueiras e outros (MF RURAL, 2020).

A produção de arroz no Brasil representa 2,5% na distribuição das principais culturas agrícolas do País (cerca de 1 679 940 de hectares), ocupando a sexta colocação nacional (IBGE, 2020), representando uma produção em larga escala de um alimento base da mesa dos brasileiros. Porém, o arroz apresenta, em média, 20% de casca na sua composição original, a qual pode acarretar grandes quantidades de resíduo, mas também pode ser aproveitada em diversos segmentos (Muraro *et al.*, 2018). Devido a casca representar o maior volume (20-22%) entre os subgrupos obtidos durante o beneficiamento do arroz, sua utilização é bastante variada, sendo a principal na produção de energia, como propicia temperaturas de até 1000°C, é usada na alimentação de fornalhas e secadores e das autoclaves da própria indústria arrozeira. Durante sua queima, a casca produz muita cinza, mas sua fumaça é pouco poluente. A casca do arroz, normalmente, é composta de proteína (2,0-2,8%), gordura (0,3-0,8%), fibras (34,5-45,9%), cinzas (13,2-21,0%) e carboidratos (22,0- 34,0%) (Lorenzetti *et al.*, 2012). O farelo representa cerca de 8% do beneficiamento do arroz, sendo uma das partes mais nutritivas do grão. O farelo, de forma como é conhecido comercialmente, é formado pelo farelo propriamente dito, pelo germe e pela camada de aleurona, o que explica o seu alto valor nutritivo. O farelo é basicamente composto de proteína (11,3-14,9%), gordura (15,0-19,7%), fibras (7,0-11,4%), cinzas (6,6-9,9%) e carboidratos (34,0-62,0%) (Lorenzetti *et al.*, 2012).

O aproveitamento energético pode ser facilitado pelo processo de briquetagem e peletização dos resíduos agroflorestais estudados, tendo como base que o processo ajuda no transporte e armazenamento, devido a compactação, segundo estudos de Silva *et al.* (2020), em espécies amazônicas a densidade energética pode ter uma melhora de 25%, o que tornaria mais viável a sua utilização para usinas de médio porte da região.

Sendo assim a utilização dos resíduos agroflorestais apontados, em especial do caroço de Açaí, para produção de energia é viável economicamente para pequenas comunidades e usinas de pequeno e médio porte da região, tendo em vista que o processo é sustentável pois ele dá uma finalidade para rejeitos que seriam descartados incorretamente e durante sua decomposição liberariam metano na atmosfera.

As Tabelas 1 a 4 apresentam a coletânea dos valores da análise imediata, elemental e PCS da casca de arroz, casca de coco, bagaço de cana e caroço de açaí, respectivamente. Calculou-se a média dos valores e o desvio padrão, para que se pudesse entender a variação dos resultados. Legenda: CF – teor de carbono fixo, MV – teor de materiais voláteis.

3.1. Casca de arroz

A tabela 1 apresenta a análise imediata, elemental e o poder calorífico da casca de arroz de diversos autores, assim como a média e o desvio padrão desses valores.

Tabela 1. Análise imediata, elemental e o poder calorífico da casca de arroz.

Elemento	Fleig (2020) (Base seca)	Vieira (2018) (Base seca)	Rodrigues <i>et al.</i> (2011) (Base seca)	Schröpfer (2018) (Base seca)	Média calculada	Desvio padrão
Carbono (%)	37,8	31,39	38,30	27 – 46	35,83	3,14
Oxigênio (%)	39,3	43,39	38,60	32 – 45	40,43	2,11
Hidrogênio (%)	5,5	3,39	4,00	2 – 6	4,29	0,88
Nitrogênio (%)	0,3	0,35	0,50	0,2 – 4,6	0,38	0,08
Enxofre (%)	0	0	0	0 - 0,2	0	0
Teor de cinzas (%)	17,1	12,99	18,60	21,14	17,45	2,95
MV (%)	73,9	63,78	67,80	67,98	68,36	3,60
CF (%)	9,0	14,73	13,60	10,88	12,05	2,25
PCS (MJ/kg)	-	15,77	15,49	14,05	15,10	0,75

3.2. Casca de coco

A tabela 2 apresenta a análise imediata, elemental e o poder calorífico da casca de coco de diversos autores, assim como a média e o desvio padrão desses valores.

Tabela 2. Análise imediata, elemental e o poder calorífico da casca de coco.

Elemento	Marafon <i>et al.</i> (2019) (Base seca)	Cortez <i>et al.</i> (2010) (Base seca)	Marcelino (2017) (Base seca)	Média calculada	Desvio padrão
Carbono (%)	43,30	45,48	44,03	44,27	0,90
Oxigênio (%)	43,19	37,72	37,37	39,43	2,66
Hidrogênio (%)	5,35	5,65	4,85	5,28	0,32
Nitrogênio (%)	0,46	0,44	0,51	0,47	0,02
Enxofre (%)	0	0	0	0	0
Teor de cinzas (%)	7,70	10,71	13,24	10,55	2,26
MV (%)	23,80	17,69	8,78	16,75	6,16
CF (%)	67,95	71,60	68,49	69,35	1,60
PCS (MJ/kg)	18,24	16,74	15,11	16,69	1,27
PCI (MJ/kg)	16,99	-	13,90	15,44	1,54

3.3. Bagaço de cana

A tabela 3 apresenta a análise imediata, elemental e o poder calorífico do bagaço de cana de diversos autores, assim como a média e o desvio padrão desses valores.

Tabela 3. Análise imediata, elemental e o poder calorífico do bagaço de cana.

Elemento	Arantes (2014) (Base seca)	Santos (2018) (Base seca)	Grotto <i>et al.</i> (2021) (base seca)	Média calculada	Desvio padrão
Carbono (%)	42,09	44,49	44,25	43,61	1,07
Oxigênio (%)	46,74	39,06	47,43	44,41	3,79
Hidrogênio (%)	5,31	6,06	7,01	6,12	0,69
Nitrogênio (%)	0,64	0,36	0,36	0,45	0,13
Enxofre (%)	0,70	0,93	-	0,81	0,70
Teor de cinzas (%)	4,55	9,1	0,95	4,86	3,33
MV (%)	16,14	-	17,15	16,65	0,50
CF (%)	79,29	-	81,90	80,59	1,30
PCS (MJ/kg)	18,75	17,77	18,04	18,19	0,41
PCI (MJ/kg)	17,57	-	16,45	17,01	0,55

3.4. Carvão de açaí

A tabela 4 apresenta a análise imediata, elemental e o poder calorífico do carvão de açaí de diversos autores, assim como a média e o desvio padrão desses valores.

Tabela 4. Análise imediata, elemental e o poder calorífico do carvão de açaí.

Elemento	Seyne <i>et al.</i> (2008) (valor médio e base seca)	Nogueira e Rendeiro (2008)	Santos (2011) (base seca)	Oliveira (2021) (valor médio)	Sato <i>et al.</i> (2019)	Souza <i>et al.</i> (2019)	Queiroz <i>et al.</i> (2020) (valor médio)	Média calculada	Desvio padrão
Carbono (%)	47,80	46,00	46,04	46,72	48,21	47,30	43,29	46,48	1,51
Oxigênio (%)	45,48	46,10	37,73	46,42	36,38	43,92	47,59	43,37	4,14
Hidrogênio (%)	5,57	6,00	6,77	5,18	6,69	6,66	5,98	6,12	0,56
Nitrogênio (%)	0,00	0,80	7,99	0,68	1,60	0,63	1,29	1,85	2,54
Enxofre (%)	0,00	0,00	0,08	0,00	0,22	0,00	0,10	0,05	0,07
Teor de Cinzas (%)	1,15	1,10	1,39	1,00	6,90	1,49	1,75	2,11	1,96
MV (%)	80,35	79,40	79,93	63,00	-	-	68,70	74,27	7,11
CF (%)	18,50	19,50	18,68	26,00	-	-	24,41	21,41	3,15
PCS (MJ/kg)	16,36	19,16	18,14	19,75	-	19,70	-	18,62	1,27
PCI (MJ/kg)	-	-	-	16,57	-	16,73	-	16,65	0,08

4. DISCUSSÕES

Analisando as tabelas de 1 a 4 apresentadas, nota-se que o poder calorífico superior variou entre 15,10 MJ/kg e 18,62 MJ/kg, sendo o maior valor referente ao carvão de açaí e o menor a casca de arroz. Comparando com o bagaço de cana que é amplamente utilizado nas usinas sucroalcooleiras para cogeração observa-se o potencial do carvão de açaí.

Quando analisado a diferença nas análises imediatas das biomassas, nota-se que o carvão de açaí apresenta uma quantidade superior de materiais voláteis ao ser comparado com as outras biomassas que estão em discussão, sendo o teor da casca de arroz o valor que mais se aproxima, pois os teores de voláteis da casca de coco e do bagaço de cana são consideravelmente bem inferiores. Este fato implica na superioridade do teor de carbono fixo nas biomassas que são caracterizadas por terem um alto teor de materiais voláteis. É notório que o teor de cinzas da casca de arroz é o maior entre as biomassas, seguido da casca de coco e do bagaço de cana, e por último o carvão de açaí, com um valor bastante inferior, igual a 2,11% na média. Por isso é importante realizar testes experimentais para se estudar o fenômeno da combustão destes resíduos em caldeiras para que se possa viabilizar ou não a utilização destes.

A tabela 5 apresenta uma comparação entre as médias do poder calorífico superior (PCS) dos biocombustíveis estudados com o carvão mineral, um combustível fóssil tradicional.

Nota-se que o PCS da amostra de carvão mineral é superior à de qualquer biomassa analisada, porém este combustível tem uma maior liberação de gases nocivos ao meio ambiente e gases de efeito estufa (GEE), a exemplo do CO, CO₂, NO e SO₂, o que vai contra as metas de redução das emissões de carbono propostas pela cúpula do clima, ao qual o Brasil se comprometeu a cumprir até 2030 (BRASIL, 2021), sendo assim, a utilização das biomassas como combustível é mais vantajosa, se tratando de um desenvolvimento sustentável. Ao mesmo tempo também se gera créditos de carbono com a descarbonização da matriz energética no país.

Tabela 5. Poder calorífico superior (PCS) de combustíveis sólidos (Rohloff (2017)¹).

Combustível Sólido	PCS (MJ/kg)
Carvão mineral colombiano	28,20 ¹
Casca de arroz	15,10
Casca de coco	16,69
Bagaço de cana	18,19
Caroço de açaí	18,62

Segundo Rohloff (2017), o teor de cinzas do carvão mineral colombiano é igual a 9,89%, o teor de materiais voláteis é de 37,75%, o teor de carbono fixo é equivalente a 32,36%. E em sua análise elementar, os valores de hidrogênio, carbono, oxigênio, nitrogênio e enxofre são, respectivamente, iguais a 5,03%, 69,77%, 13,19%, 1,49% e 0,64%.

Analisando as médias calculadas dos resultados apresentados pelos autores citados anteriormente, nota-se as diferenças dos valores das análises imediatas, elementares e do poder calorífico superior (PCS) de algumas biomassas e do carvão mineral. Entre essas diferenças, destaca-se a inferioridade do teor de materiais voláteis do carvão colombiano comparado com o caroço de açaí e a casca de arroz, logo, um maior teor de carbono fixo, 10,95% e 20,31% superior as duas biomassas, respectivamente, o que acarreta a queima do carvão mineral ser mais lenta, contribuindo para uma maior eficiência energética. Além disso, é nítido que o PCS do carvão é superior ao da casca de arroz, casca de coco, bagaço de cana e do caroço de açaí, sendo o poder calorífico superior (PCS) dessas biomassas equivalentes a 53,54%, 59,18%, 64,50% e 66,02% ao do carvão mineral colombiano, respectivamente.

Conhecendo o PCS pode-se calcular quantos quilogramas de biomassa devem ser queimados para se ter a energia liberada na queima de 1 quilograma do carvão mineral, como visto na tabela 6.

Tabela 6. Balanço de massas do carvão mineral e diversas biomassas.

Carvão mineral	Casca de arroz	Casca de coco	Bagaço de cana	Caroço de açaí
1 kg	1,87 kg	1,69 kg	1,55 kg	1,51 kg

Nota-se que o caroço de açaí, a casca de coco, a casca de arroz e bagaço de cana são boas opções quando comparadas ao carvão mineral, obtendo boas relações no balanço de massa, o caroço de açaí e a casca de coco obtiveram relações próximas, porém o açaí mostra-se uma opção mais viável devido a sua grande produção na região Norte. O fator de disponibilidade é um dos principais aspectos a se considerar quando se trabalha com biomassa, o bagaço de cana por exemplo, apesar de possuir uma relação de massa de 1,55 não é melhor que o caroço de açaí na região Norte devido principalmente a disponibilidade e logística de transporte, entretanto na região sudeste a afirmativa muda, já que a maior parte da produção de cana de açúcar se encontra nessa região, contudo o transporte é possível, apesar de acarretar em maiores custos operacionais os processos de briquetagem e peletização já mencionados podem ser usados para viabilizar o transporte e armazenamento além de melhorar densidade energética do resíduo.

A média calculada do PCS da casca de arroz na forma de briquete é igual a 17,73 MJ/kg (MORAIS *et al.*, 2006). O PCS da casca de coco na forma de briquete, para Silveira (2008), varia entre 17,99 e 20,92 MJ/kg. No caso do bagaço de cana, segundo Nunes *et al.* (2020), o PCS do briquete varia entre 15,75 e 15,96 MJ/kg. Reis *et al.* (2002), analisaram o poder calorífico inferior (PCI) do briquete do caroço de açaí, registrando valores que variam de 20,08 a 20,50 MJ/kg. O caroço de açaí depois de passar por lavagem, secagem em estufa a 110°C e depois de 6h apresentou um peso praticamente constante com o tempo, o caroço apresentou valor médio para o poder calorífico inferior (PCI) de 18,84 MJ/kg e os briquetes 20,51 MJ/kg, mostrando uma viabilidade no uso dos mesmos como recurso energético (REIS *et al.*, 2002).

5. CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica aponta que a maior parte dos resíduos apresentam um poder calorífico com potencial de queima, variando entre 15,10 e 18,62 MJ/kg na média. Dessa maneira, alguns resíduos se mostraram mais atraentes para a geração de energia, em destaque para o caroço do açaí, com média igual a 18,62 MJ/kg, muito próximo do carvão de Santa Catarina que possui 18,81MJ/kg.

O açaí tem uma forte produção no norte do país, com produção anual de 1,38 milhões de toneladas no estado do Pará, onde o caroço representa cerca de 80% da massa do fruto (BARBOSA, 2016). O caroço do açaí é descartado de forma irregular sem o devido cuidado, enquanto pode estar sendo usado para a geração de energia de forma sustentável, portanto é perceptível que o potencial energético de resíduos agroflorestais amazônicos ainda não é aproveitado da forma satisfatória para no país.

O processo de briquetagem e peletização é uma forma de viabilizar o uso da biomassa devido a questões de transporte e armazenamento, com isso os resíduos podem ser utilizados como fonte geradora de energia para comunidades, indústrias e usinas de pequeno e médio porte, com isso aproveitamento de rejeitos evita a liberação de metano devido a decomposição dos resíduos vegetais e desenvolve e diversifica mais ainda a matriz energética através de práticas sustentáveis, levando o país a caminhar em direção as metas de redução de CO₂ propostas pela ONU para 2030.

6. REFERÊNCIAS

- Arantes, D. C., 2014. “*Bagaço de cana-de-açúcar: Análise térmica e energética de biomassa*”. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Brazil.
- Araujo, R. O., Ribeiro, F. C. P., Santos, V. O., Lima, V. M. R., Santos, J. L., Vilaça, J. E. S., Chaar, J. S., Falcão, N. P. S., Pohlit, A. M., & de Souza, L. K. C., 2021. “Renewable Energy from Biomass: an Overview of the Amazon Region”. *Bioenergy Research*, 2–14. <https://doi.org/10.1007/s12155-021-10308-x>
- Barbosa, A. M., 2016. “Compósitos poliméricos com resíduo de açaí para mitigação de efeitos térmicos como estratégias eco-alternativas em habitações na Amazônia”, tese mestrado em engenharia civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus.
- Brasil, Governo do Brasil., 2021. “com meta ambiciosa, Brasil anuncia redução de 50% nas emissões de carbono até 2030”. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/11/com-meta-ambiciosa-brasil-anuncia-reducao-de-50-nas-emissoes-de-carbono-ate-2030>
- Cortez, L. A. B., Perez, J. M. M., Rocha, J. D., Jordan, R. A., & Mesa, H. R. M., 2010. “*Processamento de casca e fibra de coco verde por carbonização para agregação de valor*” (pp. 1–10).
- Cossu, R., Liu, J., Pivato, A., & Ragazzi, M., 2020. “Biomass to biofuels: Challenges and opportunities. *Renewable Energy*”, 158, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.114>
- Costa, F. S., 2022. *Conab - Análise mensal*.
- David, A. M. T. F. S., & Lopes, J. M., 2021. “O potencial bioenergético dos resíduos provenientes do beneficiamento da biomassa cafeeira”. *Research, Society and Development*, 10(3), 1–8. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13175>
- Dias, M. C., da Silva, A. M. B., & Lima, A. D. de., 2019. “*Determinação da energia fornecida de quatro cultivares de cana-de-açúcar*” (pp. 1–6). III Encontro de desenvolvimento de processos agroindustriais.
- Ebel, I., 2013. “*Indústria investe na casca de coco como matéria-prima*”. *Made for Minds*. <https://www.dw.com/pt-br/ind%C3%BAria-investe-na-casca-de-coco-como-mat%C3%A9ria-prima/a-16724261>, April 6
- Embrapa., 2012. “*Briquetagem e Peletização de Resíduos Agrícolas e Florestais*”. 1–6.
- Empresa de pesquisa energética - EPE., 2021. *BEN2021*.
- Evans, S., 2021. “*Analysis: Which countries are historically responsible for climate*”. *Carbon Brief*. May 10. <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change/>
- Fleig, O. P., 2020. “*Estudo da torrefação contínua de casca de arroz como pré-tratamento parapirólise rápida*”. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Gadelha, A. M. T., Rodrigues, D. S., Alexandrino, I. C. A., Toneli, J. T. C. L., & Antnio, G. C., 2021. “Biomassas com potencial energético para briquetagem: comparativo na densidade”. *Congresso Técnico Científico Da Engenharia e Da Agronomia –CONTECC*, 1–5.
- Galvani, F., Okamura, L. A., & Salis, S. M., 2021. “Potencial energético das biomassas de canjiqueira e de camará”. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 7–15. www.embrapa.br/fale-conosco/sac
- Grotto, C. G. L., Costa, A. M. F., Colares, C. J. G., & Pereira, D. H., 2021. “Caracterização da biomassa de bagaço de cana-de-açúcar com vistas energéticas”. *ForScience*, 9(1), e00928. <https://doi.org/10.29069/forscience.2021v9n1.e928>
- IBGE., 2021. *Produção Agrícola Municipal 2020*. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=o-que-e>
- Júnior, A. F. D., 2013. “*Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais*”. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- Lacerda, M. S., & Leitão, F. de O., 2021. “Desafios e oportunidades da economia circular: o caso dos resíduos do coco verde”. *Informe GEPEC*, 25(2), 164–181. <https://doi.org/10.48075/igepec.v25i2.25709>
- Lorenzetti, D. B., Neuhaus, M., & Schwab, N. T., 2012. “Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz”. *Revista Gestão Industrial*, 8(1). <https://doi.org/10.3895/s1808-04482012000100011>
- Marafon, A. C., Nunes, M. U. C., Amaral, A. F. C., & Santos, J. P. dos., 2019. “Aproveitamento de cascas de coco para geração de energia térmica: potencialidades e desafios”. *Embrapa Tabuleiros Costeiros*, 2–24. www.embrapa.br/fale-conosco/sac
- Marcelino, M. M., 2017. “*Biomassa residual do coco para obtenção de energia e intermediários químicos via gaseificação: caracterização, modelagem e simulação*”. Universidade federal da bahia.

- Menezes, G. K. A., Couto, L. L. do, & Flores, M. do S. A., 2018. “Gestão dos resíduos de caroços de açaí como instrumento de desenvolvimento local: o caso do município de ananindeua-pa”. *Eixo Temático 5: Gestão Urbana e Do Meio Ambiente*, 1–10.
- MF Rural., 2020. “Briquete de Casca de Coco Verde em Vila Velha ES à venda”.
<https://www.mfrural.com.br/detalhe/273731/briquete-de-casca-de-coco-verde>
- Morais, M. R., Seye, O., Freitas, K. T. de, Rodrigues, M., Santos, E. C. S. dos, & Souza, R. C. R., 2006. “Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação”. In *Encontro de energia no meio rural* (pp. 1–6).
- Muraro, P., Camelo, C. de O., & Denis, F. A., 2018. “Aproveitamento da casca de arroz (ca) no município de bagé-rs use of rice husk (rh) in bagé-rs”. *VI Simpósio Da Ciência Do Agronegócio*, 1–10.
- Nunes, J. V. da S., Nogueira, K. M. V., Lima, R. A. de, Gualberto, V. S., Marques, R. B., Malveira, J. Q., Bueno, A. V., & Rios, M. A. de S., 2020. “briquetes de bagaço-de-cana (saccharum spp): avaliação da produção em escala de bancada”. In *VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar* (pp. 1–6). www.tcpdf.org
- Oliveira, L. dos S., 2021. “Investigação das propriedades físico-químicas e térmicas do caroço de açaí euterpe oleracea para utilização na geração de bioenergia”. Universidade Federal do Maranhão.
- Queiroz, L. S., de Souza, L. K. C., Thomaz, K. T. C., Leite Lima, E. T., da Rocha Filho, G. N., do Nascimento, L. A. S., de Oliveira Pires, L. H., Faial, K. do C. F., & da Costa, C. E. F., 2020. “Activated carbon obtained from amazonian biomass tailings (acai seed): Modification, characterization, and use for removal of metal ions from water”. *Journal of Environmental Management*, 270, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110868>
- Reis, B. de O., Silva, I. T. da, Silva, I. M. O. da, & Rocha, B. R. P. da., 2002. “Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí”. Universidade Federal do Pará. www.sambazon.com/a
- Renewable energy policy network – REN. (2021). – *REN21*.
- Rendeiro, G., & Nogueira, M., 2008. “Combustão e gasificação de biomassa sólida” (1st ed.).
- Rodrigues, R., Marcilio, N. R., Trierweiler, J. O., & Godinho, M., 2011. “Análise da eficiência termodinâmica da gaseificação de carvão mineral e biomassa”. Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Universidade de Caxias do Sul.
- Rohloff, C. C., 2017. “Estudo comparativo de queima de carvão e biomassa em forno dtf”. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Santos, N. T., 2018. “Avaliação do pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar com glicerol”. Universidade Federal de Uberlândia.
- Santos, R. E. de J., 2011. “Estudo experimental de um reator de gaseificação em um leito fixo de açaí”. Universidade Federal do Pará. <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/5100>
- Sato, M. K., de Lima, H. V., Costa, A. N., Rodrigues, S., Pedroso, A. J. S., & de Freitas Maia, C. M. B., 2019. “Biochar from Acai agroindustry waste: Study of pyrolysis conditions”. *Waste Management*, 96, 158–167.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.022>
- Schropfer, S. B., 2018. “Influência das condições de operação da pirólise a vácuo da casca de arroz nas características do biocarvão”. Universidade do vale do rio dos sinos.
- Seye, O., César, R., de Souza, R., Bacellar, A. A., & Rodrigues De Moraes, M., 2008. “Caracterização do caroço de açaí como insumo para geração de eletricidade via gaseificação”. Universidade Federal do Amazonas.
- Silva, A. C. da., 2014. Reaproveitamento da casca de coco verde. *Revista Monografias Ambientais*, 13(5), 1–7.
<https://doi.org/10.5902/2236130815186>
- Silva, A. P. da, Nascimento, C. C. do, Nascimento, C. S. do, Carmo, M. A. do, Araújo, R. D. de, & Freitas, J. A. de., 2020. “Technological characterization of wood residues from the Amazon for the production of briquettes. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*”, 7(9), 408–417. <https://doi.org/10.22161/ijaers.79.48>
- Silveira, M. S., 2008. “aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em salvador-ba”. Universidade Federal da Bahia.
- Simone, M., Castro, D. E., Brainer, P., Simone De Castro, M., de Fátima Vidal, M., Dantas Coêlho, J., Kamilla, R., Soares, F. L. E., Viana, F., Diniz Bezerra, L., Mota Tomé, B., De, O., Mendes, J., Célula De Gestão De Informações, B., Gabai, G., Executivo, J., Wandemberg, R., Almeida, G., Bezerra, C., ... Neto, S., 2021. “Coco: produção e mercado. *caderno setorial etene*”, 6(206), 1–13. <https://doi.org/10.78511.861>
- Souza, D. R. de, Gadelha, A. M. T., Rios, M. A. de S., Toneli, J. T. de C. L., & Antonio, G. C., 2019. “Comparativo da análise elementar de casca de coco babaçu e casca de castanha de caju”. *So Técnico Científico Da Engenharia e Da Agronomia*, 1–5.
- Souza, L. L. P. de, Hamedani, S. R., Lora, E. E. S., Palacio, J. C. E., Comodi, G., Villarini, M., & Colantoni, A., 2021. “Theoretical and technical assessment of agroforestry residue potential for electricity generation in Brazil towards 2050”. *Energy Reports*, 7, 2574–2587. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.04.026>
- Vieira, F. R., 2018. “Estudo experimental da pirólise lenta da casca de arroz em reator de leito fixo”. Universidade Estadual Paulista.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY OF THE POTENTIAL ENERGY OF AGROFORESTRY DECREES

Luiz Felipe da Silva Ferreira¹
Gabriel Willian Moreira Bezerra²
João Víctor Ribeiro Moreira³
Alan Nogueira Carneiro⁴
Ana Paula Mattos⁵

Federal University of Pará, St. Augusto Corrêa 01, Guamá, 66075-110, Belém, Pará.

luiz.silva.ferreira@itec.ufpa.br¹; gabriel.bezerra@itec.ufpa.br²; joao.moreira@itec.ufpa.br³; alancarneiro90@hotmail.com⁴
anapmattos@ufpa.br⁵

Abstract: *Conciliating development with sustainable and renewable practices is a challenge faced by all of society since the ending of 20th century. In a post-covid world, this guideline gains more importance for Brazil, since a bigger investment in this area may contribute for Brazil's economical growth, specially in the generation of energy that comes from solid rejects, which has 8,4% of participation in the Brazilian energy matrix, a percentage that comes from the country's potential whit the amazon biome (area that occupies more than 40% of the national's territory and has a low investment in energetic solutions that do not come from hydroelectric power stations). It's estimated that the biome hosts more than thirty thousand plant's species, of which 74% of those plants are found on brazilian territory, and many of those species were not properly catagorized and its energetics potentials are still unknow, thus it's of extreme importance the categorization studies of theses species to increase the poll of sustainable solutions, at the same time the Brazil scenario energy are reinvented. This article has the agroforestry residues characterization of amazon as studies base, for example açaí berries, coconut husk, rice husk and others, which are being studied and used as boiler's fuels. A compairs will be realized between elementar analysis, immeadiate analysis and HHV of these residues with a purpose to ascertain the founded deviation on these values and discuss the viability of theses fuels will be used in heat generation or energy. Is also will be a compairs between pellets and briquets of these residues and them influence in HHV values. Studies that presents the relevance of management and treatment of these residues to energy generation are a world's tendency, because of amount generated and for being enviromental liabilities, at the same time of contributing by parcial reduce of used fossil fuels in a boilers.*

Keywords: Biomass, Agroforestry Decrees, Characterization, Amazon, HHV