

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO DESENVOLVIMENTO DE BRIQUETES,
A PARTIR DE MATERIAIS UTILIZADOS E POSTERIORMENTE DESCARTADOS
DE CAMAS AVIÁRIAS.**

MATHEUS LUIS FAVERO

Foz do Iguaçu
2023

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO DESENVOLVIMENTO DE BRIQUETES, A
PARTIR DE MATERIAIS UTILIZADOS E POSTERIORMENTE DESCARTADOS DE
CAMAS AVIÁRIAS.**

MATHEUS LUIS FAVERO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Monteiro Eliott.

Foz do Iguaçu
2023

MATHEUS LUIS FAVERO

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO DESENVOLVIMENTO DE BRIQUETES, A
PARTIR DE MATERIAIS UTILIZADOS E POSTERIORMENTE DESCARTADOS DE
CAMAS AVIÁRIAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto Latino-Americano de Tecnologia,
Infraestrutura e Território da Universidade Federal
da Integração Latino-Americana, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Energia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Monteiro Elliott
UNILA

Prof. Dr. Claudia Leites Luchese
UNILA

Prof. Dr. Paulo Rodrigo Stival Bittencourt
UTFPR - MEDIANEIRA

Foz do Iguaçu, 15 de junho de 2023.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Matheus Luis Favero

Curso: Engenharia de Energia

	Tipo de Documento
(X) graduação	(X) artigo
(.....) especialização	(....) trabalho de conclusão de curso
(.....) mestrado	(.....) monografia
(.....) doutorado	(.....) dissertação
	(.....) tese
	(.....) CD/DVD – obras audiovisuais
	(.....) _____

Título do trabalho acadêmico: Estudo da Viabilidade Técnica do Desenvolvimento de Briquetes, a Partir de Materiais Utilizados e Posteriormente Descartados de Camas Aviárias.

Nome do orientador(a): Rodrigo Monteiro Eliott

Data da Defesa: 15/06/2023

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons* **Licença 3.0 Unported**.

Foz do Iguaçu, 15 de junho de 2023.

Assinatura do Responsável.

RESUMO

O uso expressivo dos combustíveis fósseis tem sido determinante para o aumento da poluição ambiental, pode-se também citar, neste sentido, os resíduos gerados pelo agronegócio, setor primordial para a economia do Brasil. Sobretudo, o setor da avicultura que gera resíduos tanto na criação quanto no abate, sendo um dos resíduos gerados na criação, a cama de aviário – material disperso sob o chão dos aviários, que atualmente é descartado como adubo. Desta forma, este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade técnica da produção de briquetes feitos a partir do material de cama aviária, trazendo valor econômico a este além de uma alternativa para a questão ambiental. Neste trabalho buscou-se investigar a influência, de diferentes granulometrias do material. Foram realizados ensaios para parâmetros como o teor de umidade, análise imediata, poder calorífico, densidade energética e resistência mecânica dos briquetes produzidos, a partir do processo de compactação da biomassa. Os resultados encontrados demonstram a viabilidade técnica na produção de briquetes a partir do material de estudo, obtendo resultados de poder calorífico típicos de biomassas, na faixa de 13,81 até 15,11 MJ/kg, boa densidade energética e excelente resistência mecânica, acima de 182,23 kgf/cm².

Palavras-chave: Biomassa; briquetagem; resíduos da avicultura; poder calorífico; densidade energética.

RESUMEN

El uso expresivo de combustibles fósiles ha sido decisivo para el aumento de la contaminación ambiental, también se pueden mencionar, en ese sentido, los residuos generados por la agroindustria, sector primordial para la economía de Brasil. Sobre todo, el sector avícola, que genera residuos tanto durante la recría como en el sacrificio, uno de los cuales se genera durante la recría, la cama avícola – material disperso bajo el piso de los galpones avícolas, que actualmente se desecha como abono. De esta forma, este trabajo tiene como objetivo estudiar la viabilidad técnica de la producción de briquetas a partir de material de cama de aves, aportando valor económico a la misma, así como una alternativa a la problemática ambiental. En este trabajo, buscamos investigar la influencia de diferentes tamaños de grano del material. Se realizaron ensayos de parámetros como contenido de humedad, análisis inmediato, poder calorífico, densidad energética y resistencia mecánica de las briquetas producidas, a partir del proceso de compactación de biomasa. Los resultados encontrados demuestran la viabilidad técnica en la producción de briquetas a partir del material estudiado, obteniendo resultados de poder calorífico propio de las biomasas, en el rango de 13,81 a 15,11 MJ/kg, buena densidad energética y excelente resistencia mecánica, por encima de 182,23 kgf/ cm².

Palabras clave: Biomasa; fabricación de briquetas; desechos de aves de corral; poder calorífico; densidad de energía.

ABSTRACT

The expressive use of fossil fuels has been decisive for the increase of environmental pollution, one can also mention, in this sense, the residues generated by agribusiness, a primordial sector for the economy of Brazil. Above all, the poultry sector, which generates waste both during rearing and slaughter, one of which is waste generated during rearing, poultry litter – material dispersed under the floor of poultry houses, which is currently discarded as fertilizer. In this way, this work aims to study the technical feasibility of producing briquettes made from poultry litter material, bringing economic value to this as well as an alternative to the environmental issue. In this work, we sought to investigate the influence of different grain sizes of the material. Tests were carried out for parameters such as moisture content, immediate analysis, calorific power, energy density and mechanical strength of the produced briquettes, from the biomass compaction process. The results found demonstrate the technical viability in the production of briquettes from the studied material, obtaining results of calorific power typical of biomasses, in the range of 13.81 to 15.11 MJ/kg, good energy density and excellent mechanical resistance, above of 182.23 kgf/cm².

Key words: Biomass; briquetting; poultry waste; calorific value; energy density.

Estudo da Viabilidade Técnica do Desenvolvimento de Briquetes, a partir de materiais utilizados e posteriormente descartados de Camas Aviárias.

Matheus Luis Favero, *Discente, UNILA* e Rodrigo Monteiro Elliott, *Orientador*.

Resumo – O uso expressivo dos combustíveis fósseis tem sido determinante para o aumento da poluição ambiental, pode-se também citar, neste sentido, os resíduos gerados pelo agronegócio, setor primordial para a economia do Brasil. Sobretudo, o setor da avicultura que gera resíduos tanto na criação quanto no abate, sendo um dos resíduos gerados na criação, a cama de aviário – material disperso sob o chão dos aviários, que atualmente é descartado como adubo. Desta forma, este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade técnica da produção de briquetes feitos a partir do material de cama aviária, trazendo valor econômico a este além de uma alternativa para a questão ambiental. Neste trabalho buscou-se investigar a influência, de diferentes granulometrias do material. Foram realizados ensaios para parâmetros como o teor de umidade, análise imediata, poder calorífico, densidade energética e resistência mecânica dos briquetes produzidos, a partir do processo de compactação da biomassa. Os resultados encontrados demonstram a viabilidade técnica na produção de briquetes a partir do material de estudo, obtendo resultados de poder calorífico típicos de biomassas, na faixa de 13,81 até 15,11 MJ/kg, boa densidade energética e excelente resistência mecânica, acima de 182,23 kgf/cm².

Palavras – chave: Biomassa; briquetagem; resíduos da avicultura; poder calorífico; densidade energética.

I. INTRODUÇÃO

O uso dos recursos energéticos foram e continuam sendo uma das bases centrais necessária, para o desenvolvimento da sociedade moderna. Tais recursos ganharam grande importância a partir das três revoluções industriais. Inicialmente foi o carvão que impulsionou as primeiras máquinas a vapor durante a Primeira Revolução Industrial na Inglaterra, tendo este sido utilizado para substituir a força humana e animal em processos de produção. O carvão deu lugar ao petróleo e a eletricidade durante a Segunda e Terceira revoluções industriais, sendo que o petróleo e o carvão perduram até os dias de hoje como os principais recursos da matriz energética global [1].

O carvão mineral, gás natural e o petróleo e seus derivados, são considerados combustíveis fósseis não renováveis, sendo utilizados como combustíveis em usinas termelétricas, veículos a combustão interna, aquecimento em regiões de clima frio entre outros. O processo de combustão, mesmo em equipamentos modernos tem como consequência o aumento da poluição ambiental, por conta da emissão dos gases provenientes da combustão (CO₂, CO, NOx e SOx), causando efeitos nocivos ao planeta [2]. Outro ponto que tem

causado aumento da poluição ambiental, são os resíduos gerados pela sociedade, seja na exploração direta dos recursos naturais ou nos processos necessários para manter a sociedade moderna.

Especialmente no caso do Brasil, o setor do agronegócio é vetor crucial no crescimento econômico do país, representando 27% do Produto Interno Bruto (PIB) no ano de 2020, atingindo uma soma de bens e serviços gerados de R\$ 1,98 trilhão, sendo o setor agrícola responsável por 70% deste e o restante correspondendo a pecuária [3]. No entanto, este setor também traz consigo enormes impactos ambientais, principalmente o desmatamento para a conversão de grandes áreas florestais em lavouras agrícolas, o uso excessivo de agrotóxicos e fertilizantes químicos além da geração de resíduos plásticos e animais, como dejetos destes [4].

Em especial para esse trabalho, o setor da avicultura ganha destaque, sendo que o Brasil foi líder em exportações no ano de 2021 e ficando atrás apenas de Estados Unidos da América e China na produção de frangos de corte no mesmo ano [5]. Para compreender a importância do setor aviário para o Brasil, e especialmente para a região Sul, o número de frangos abatidos no ano de 2021 no estado do Paraná foi de 2.076.066.066 representando 35,54%, dos abates de frangos realizados no Brasil, tendo sido líder entre os demais estados neste setor, Santa Catarina ocupa o 2º lugar com 14,89% dos abates e o Rio Grande do Sul em terceiro, com 13,65% [6], [7].

Este setor gera resíduos tanto na criação das aves quanto no abate, sendo que pela parte da criação dos animais, um dos principais resíduos gerado é a cama de aviário, material distribuído no chão do aviário para servir como isolante térmico e controle de umidade, atualmente esse resíduo tem sido utilizado como adubo orgânico, usualmente composto por maravalha.

Estima-se que para cada frango de corte criado são gerados 1,796 kg de biomassa (esterco + cama de aviário) ao final de cada lote de criação [8] sendo assim somente no ano de 2021 no estado do Paraná foram geradas cerca de 4 milhões de toneladas de biomassa proveniente da cama de aviário. A cama de aviário usualmente é trocada depois de 7 lotes de frangos, esse material possui alto valor agregado por conta dos dejetos contidos, logo ela se torna atrativa como adubo orgânico, por ser um material rico em nitrogênio, fósforo e potássio. No entanto, esse material não pode ser lançado diretamente ao solo, pois pode ocorrer a perda da capacidade agrícola do solo além de possível contaminação do solo e lençóis freáticos, por conter, além dos dejetos e do substrato todos os resíduos administrados as aves e uma fauna própria constituída de vírus, bactérias e outros microrganismos [9]. A recomendação do Instituto Ambiental

do Paraná - IAP, atualmente inserido no Instituto Água e Terra – IAT, para o descarte da cama de aviário como adubo orgânico, é o de se realizar um processo de compostagem de no mínimo 10 dias para evitar a contaminação do solo e agregar mais valor energético [10].

Objetivando oferecer uma alternativa para o problema ambiental, decorrente da queima dos combustíveis fósseis, através do fechamento do ciclo do carbono, e dar destino correto a rejeitos de produção, diminuindo ainda mais o impacto ao planeta além de transformá-los em um produto com interesse econômico, surgem ideias de se utilizar o que antes eram considerados resíduos, como matéria prima para a geração de energia seja elétrica, térmica ou mecânica ou outro fim. Uma alternativa relevante e válida a ser analisada no escopo deste artigo, é a fabricação de briquetes com a biomassa residual do agronegócio ou dos processos industriais, como os rejeitos de camas aviárias. O briquete por definição é um combustível sólido obtido a partir da compactação de qualquer biomassa lenhosa, tendo inúmeros usos comerciais – caldeiras, fornos industriais, aquecedores e etc. – e doméstico - substituto da lenha do churrasco e para uso em fornos e fogões a lenha [11].

O processo de criação de briquetes consiste na compactação da biomassa, processo conhecido como briquetagem, sendo esta metodologia vantajosa em comparação a de simplesmente utilizar a biomassa na sua forma original. Pois, durante o processo de briquetagem, ocorre a densificação do material, aumentando assim o seu conteúdo energético por volume de material, facilitando desta forma o transporte e a queima da biomassa beneficiada.

O objetivo deste trabalho foi o de testar e analisar a viabilidade técnica, por meio de ensaios laboratoriais de análise imediata, calorimétrica e de compressão, de briquetes fabricados a partir do material da cama de aviário após sua utilização no aviário.

O artigo está estruturado de forma a apresentar um panorama geral a respeito do tema, enquanto na seção II é apresentado a fundamentação teórica para a realização do mesmo. A metodologia proposta é apresentada na seção III, sendo os resultados apresentados na seção IV e por fim a seção V, que traz as conclusões.

II. MARCO TEÓRICO

A seguir são apresentados conceitos teóricos fundamentais para a compreensão do trabalho.

A. Biomassa

Pode-se definir biomassa como qualquer matéria orgânica, seja viva ou morta, proveniente de seres vivos, e que pode ser convertida em um tipo de energia, incluindo resíduos de todo o setor agropecuário, resíduos industriais e a parcela biodegradável dos resíduos urbanos e industriais [12].

Quanto a classificação das diferentes biomassas, a mais usual diz respeito a sua origem, sendo essa comumente agropecuária, florestal, rejeitos urbanos e industriais além de biofluidos [13]. Há diversos processos pelo qual a biomassa pode ser convertida em produto útil, isto é, em energia, sendo os principais a pirólise, gaseificação e a biodigestão [14].

No que diz respeito a avaliação do potencial de certa biomassa para a geração de energia é necessário analisar suas características físico-químicas. As principais análises que são

usualmente realizadas são: do poder calorífico, granulométrica e análise química imediata e elementar.

B. Propriedades da Biomassa

As principais propriedades da biomassa são as seguintes:

1) *Massa específica*: A massa específica é definida como a razão entre a massa contínua de determinada substância pelo volume que esta ocupa, e, portanto, sua unidade no Sistema Internacional é kg/m^3 [16].

2) *Densidade*: A densidade é definida como a razão entre a massa específica da biomassa e a massa específica da água em condições padrão (25 °C e 100 kPa), sendo de 1000 kg/m^3 [16].

3) *Poder Calorífico*: Define-se o poder calorífico como a quantidade de energia liberada, na forma de calor, por um material em sua combustão completa, podendo ser dividido em superior e inferior [15]. O poder calorífico superior (PCS) é definido como sendo a soma da quantidade de calor liberada no processo de combustão com a energia necessária para vaporizar a água contida no material, enquanto o poder calorífico inferior (PCI) é somente a quantidade de calor liberada no processo de combustão, sendo portanto, o PCI mais utilizado para a comparação entre combustíveis por representar apenas a energia liberada pelo material [17]. Comumente é utilizado uma bomba calorimétrica para se obter o PCS, de forma experimental, sendo possível obter o PCI pela Equação 1 [18]. Em que H é o teor de hidrogênio, em porcentagem.

$$\text{PCI} = \text{PCS} - (600 * 0,09 * \%H) \quad (1)$$

C. Cama de aviário

Pode-se definir a cama de aviário como sendo todo material distribuído sobre o piso dos galpões para servir de leito às aves, esse material distribuído tem como objetivo evitar o contato direto das aves com o piso do aviário, absorção da umidade, isolamento térmico e diluição das excretas [19].

Uma cama de aviário de qualidade deve ter as seguintes características: ser de tamanho médio (material picado ou triturado), capacidade de absorver umidade, liberar facilmente a umidade para o ar, ter baixa condutividade térmica, capacidade de amortecimento e ter baixo custo e disponibilidade [20]. Tendo em vista essas características, existem diversos materiais disponíveis para servir como cama de aviário, pode-se citar a maravalha, resíduos da indústria de madeira, sabugo de milho triturado, casca de arroz, palhadas de culturas no geral e feno de gramíneas. Embora tenha um valor mais elevado, por conta da qualidade do material, usualmente é utilizada a maravalha.

A cama de aviário usualmente é utilizada por mais de um lote de criação de frangos, isso por que é necessário mão-de-obra para retirar a cama do galpão, fato esse que traria um aumento no custo de produção, além de existir uma tendência em diminuir a ociosidade das instalações - diminuição do tempo de recebimento do lote, entrega do lote e das manutenções necessárias. Além disso, o custo do material para a cama pode ser elevado, especialmente quando utilizado maravalha e também a tentativa de tentar diminuir os resíduos gerados na avicultura.

Com a publicação no Diário Oficial da União da Instrução Normativa nº 41, de 8 de outubro de 2009, o Ministério da Agricultura aprovou novos procedimentos a

serem adotados na fiscalização de alimentos de ruminantes em estabelecimentos de criação e na destinação dos ruminantes que tiverem acesso a alimentos compostos por subprodutos de origem animal proibidos na sua alimentação. Está incluso, entre os subprodutos da avicultura, a cama de frango, farinhas de vísceras e/ou de penas e farinhas de resíduos de abatedouros avícolas, cujo uso é proibido desde 2001 [21].

D. Briquete

O briquete, também conhecido como lenha ecológica, é uma fonte concentrada e comprimida de material energético, substituindo com eficácia o GLP (gás liquefeito de petróleo), a energia elétrica, o carvão vegetal e mineral, além da lenha, bem como outros combustíveis [22]. Além disso, os briquetes possuem constituição homogênea, resultando em uma queima uniforme, possuem fácil manuseio e transporte, baixa umidade, além do aumento do poder calorífico em virtude da maior densidade energética apresentada pelo biocombustível [23]. Pode ser observado na Tabela 1 as principais vantagens dos briquetes, em relação ao uso da biomassa *in natura*.

Tabela 1 - Vantagens do uso dos briquetes.

VANTAGENS AMBIENTAIS	VANTAGENS ECONÔMICAS
Liberado pelo IBAMA	Alto valor agregado
Carbono Neutro	Pronto para queima
Energia limpa, com menor índice de poluição comparado com outros combustíveis	Fácil manuseio, armazenamento e transporte
Fonte renovável de energia	Alto poder calorífico

Fonte: Adaptado de [24].

A seguir são destacados alguns parâmetros importantes dos briquetes e da biomassa no geral.

1) *Granulometria*: O tamanho das partículas utilizadas para a produção dos briquetes é parâmetro primordial para a qualidade e densidade energética dos mesmos. De forma geral, quanto menor for os particulados, maior será a densidade do briquete produzido, contudo utilizar somente particulados muito finos traz certas implicações como dificuldade durante a queima (pela inexistência de caminhos para a difusão do calor) e principalmente problemas relacionados a resistência mecânica e vida útil dos briquetes. Dessa forma, estudos recomendam a utilização de partículas com diferentes tamanhos, promovendo a incorporação de partículas pequenas pelas partículas de maior dimensão, proporcionando um equilíbrio entre a densidade energética e a resistência mecânica [11]. Sendo assim, a análise granulométrica da biomassa é fundamental antes do processo de briquetagem.

2) *Teor de umidade*: O teor de umidade é a quantidade de água presente em determinado material [25]. De modo geral, quanto menor o teor de umidade, maior será a produção de calor. A faixa recomendada para o teor de umidade dos briquetes é entre 5% e 20%, faixa em que ocorre a queima uniforme, valores superiores a 20% resultam em uma redução da energia liberada, pois parte desta energia é usada na vaporização da água, podendo também gerar explosões devido a formação de vapor, enquanto valores <5%, resultam na perda de material e na quebra dos briquetes durante transporte e armazenamento, e caso o teor de umidade seja muito variável, há complicações no processo de combustão [25].

3) *Teor de Voláteis*: O teor de voláteis, refere-se à fração da biomassa que é liberada na forma de diversos gases voláteis combustíveis, por via de decomposição térmica até os 900°C, estes compostos gasosos são constituídos principalmente por vapor de água, hidrocarbonetos leves, CO, CO₂, e H₂, tipicamente o teor de voláteis das biomassas está entre 48 a 86% [26]. O teor de voláteis tem impacto principalmente na estabilidade da chama, taxa de formação de poluentes e na eficiência global da combustão, sendo que é desejável valores altos deste parâmetro.

4) *Teor de Cinzas*: O teor de cinzas é o percentual em massa de cinzas após a queima completa do material, sendo parâmetro importante por dar a indicação sobre o conteúdo de matéria inorgânica que dará origem as cinzas, além de indicar sobre possíveis contaminações da biomassa [25] e [27]. Os elementos da biomassa que constituem a matriz das cinzas são o Ca, Si, Mg, K, Na, Al, Fe e P, sendo que durante o processo de combustão estes formam óxidos [25].

5) *Teor de Carbono Fixo*: O teor de carbono fixo de um combustível sólido é a fração residual quando descontado o teor de voláteis e o teor de cinzas [26]. Ele representa a quantidade de carbono que não será liberado na forma de CO e CO₂, é um parâmetro que diz respeito as emissões destes gases, pois quanto maior o teor de carbono fixo em um combustível, menor será a quantidade liberada dos gases citados.

6) *Densidade energética*: O termo densidade energética diz respeito a quantidade de energia armazenada em determinada massa de combustível, sendo expressa usualmente em unidades de energia por massa, como J/g ou MJ/kg, porém também pode ser expressa em unidades de energia por volume, como J/cm³ e MJ/m³. Este parâmetro tem impacto direto na eficiência e viabilidade de diferentes fontes de energia, tendo relação com aspectos como o transporte e armazenamento dos diversos combustíveis.

No caso dos briquetes, este é um parâmetro fundamental, pois na sua essência o briquete é uma forma de densificar a energia contida na biomassa. Uma das formas de se encontrar a densidade energética dos mesmos, é pelo método estereométrico, que consiste na medição de altura e diâmetro dos briquetes, para a obtenção do seu volume. Além disso, no escopo deste trabalho, existem dois tipos de densidade aparente: a densidade de um único briquete ou *pellet* e a densidade de um aglomerado destes, conhecida como densidade a granel. A primeira é importante para o controle de qualidade do produto, tendo correlação com o processo de briquetagem em si, enquanto a segunda é relevante para o transporte, armazenamento e venda dos briquetes, variando de acordo com a embalagem e seu empilhamento [25].

7) *Resistência mecânica*: Outro fator relacionado a qualidade dos briquetes é a resistência mecânica que estes possuem. Este parâmetro é importante para o uso comercial, pois desde o momento da fabricação dos briquetes, passando pelos processos de embalagem, transporte e estocagem os briquetes estarão sujeitos a diversos esforços [23].

Desta maneira, a determinação da Carga Máxima de Ruptura é imprescindível para a caracterização da resistência mecânica dos briquetes e consiste no ensaio de compressão, em que uma pressão gradual é aplicada no corpo de prova até que este apresente fraturas em sua estrutura [23].

III. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi coletada uma amostra de cerca de 2 kg de cama de aviário, em único lote, de um aviário localizado na cidade de Ibema – Paraná. Por conta dos dejetos das aves, matéria orgânica e penas contidas no material coletado, optou-se por realizar a etapa de secagem após o processo de peneiramento, visto que estes materiais ficavam retidos nas primeiras peneiras e foram, facilmente, retirados antes do processo de briquetagem.

A. Análise granulométrica

Para a análise granulométrica, 100g do material foi submetido a peneiras de malha, sendo utilizado seis malhas diferentes (#4, #8, #16, #30, #50 e #100), tendo estas sido agitadas por 10 minutos e com uma balança, foi pesado a massa retida em cada peneira.

B. Teor de umidade

Para determinação do teor de umidade da amostra (em base úmida), foi seguido a norma ASTM D3173-85 [28]. Em que, o material é pesado inicialmente e então este posto para aquecimento em uma estufa à 110°C pelo período de 24 horas. Após este período, a amostra é novamente pesada. Dessa forma, pode-se obter o teor de umidade da amostra pela Equação 2, em que T_u representa o teor de umidade em porcentagem, m_1 a massa inicial da biomassa em gramas e m_2 a massa final da biomassa em gramas.

$$T_u = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

C. Teor de voláteis

O teor de voláteis é determinado utilizando as amostras secas do material, realizado em duplicata. Sendo introduzido 1g do material, em um cadinho, que tinha sua massa pesada anteriormente, sendo este cadinho com a amostra levado a um forno Mufla e aquecido até 850°C com o cadinho destampado e sendo mantido dentro do forno por sete minutos, conforme norma ASTM E870-82 [29]. Após este tempo, a mufla era desligada e os cadinhos com as amostras mantidos no interior da mufla, para que a mesma resfrie e seja possível abrir sem o risco de trincar o refratário, conforme informado pelo técnico responsável do laboratório. Este período de espera foi de 24h e posterior a ele, verificava-se que a temperatura da mufla ainda estava por volta de 75°C, já sem risco de dano ao equipamento e também evitando a possibilidade de o material absorver umidade. Então os cadinhos com as amostras eram pesados. O teor de voláteis é obtido pela Equação 3, em que T_v representa o teor de voláteis, em porcentagem, m_3 a massa inicial da amostra seca, em gramas e m_4 a massa final da amostra após exposição na Mufla, em gramas.

$$T_v = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100 \quad (3)$$

D. Teor de cinzas

Para determinação do teor de cinzas, também realizado em duplicata, o material utilizado na determinação do teor de voláteis é novamente levado ao forno Mufla, agora a uma temperatura de 750°C durante 2h, conforme ASTM E 870-82 [29]. No final, restam somente cinzas dentro do cadinho e este material é pesado, tomando os mesmos cuidados descritos anteriormente, para evitar danos a mufla.

Sendo o teor de cinzas calculado pela Equação 4, em que T_z é o teor de cinzas, em porcentagem e m_5 a massa final da amostra após calcinação, em gramas.

$$T_z = \frac{m_4 - m_5}{m_3} \times 100 \quad (4)$$

E. Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo (T_{cf}) é a diferença da unidade e a soma do teor de voláteis com o teor de cinzas e é obtido pela Equação 5.

$$T_{cf} = 100\% - (T_v + T_z) \quad (5)$$

F. Processo de briquetagem

Após peneiramento e secagem do material pré-selecionado, foi selecionado de fato o material retido nas peneiras de 100, 50, 30 e 16 mesh, pois estas apresentaram características apropriadas, como particulado com granulometria adequada e de fácil compactação. As partículas com granulometria entre 8 e 4 mesh foram descartadas por não apresentarem aspectos desejados, como muitos resíduos sólidos das aves e do chão do aviário e partículas grandes.

Dessa forma, para a produção dos briquetes, utilizou-se uma mistura do material das mesh's #100, #50 e #30 e também o material da mesh #16. Para fins comparativos, foram produzidos briquetes seguindo 3 diferentes proporções destes materiais, proporções estas que desempenharam melhor comportamento na briquetagem durante os testes preliminares, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Ensaios.

Briquetes	Mesh's #100, #50 e #30 (g)	Mesh #16 (g)
E1	30	-
E2	15	15
E3	-	30

Fonte: O autor, 2023.

Tendo sido produzidos 3 briquetes para cada ensaio. Tanto para a mistura das mesh's quanto o ensaio E2, o processo de mistura foi feito de forma manual. Para a compactação, foi utilizada uma briquetadeira que consiste num cilindro uniforme de aço, capaz de resistir a altas pressões, um pistão em aço, com diâmetro ligeiramente menor que o do interior do cilindro, para que o mesmo se desloque sem atrito, mas que não deixa resíduos passarem ou voltarem acima deste, também constituem a briquetadeira, peças em aço para auxiliar no desenformar dos briquetes compactados.

A cada processo de briquetagem, pesou-se num béquer 30g da amostra do respectivo ensaio. Na sequência, o conteúdo do béquer era posto no cilindro e o pistão colocado em sequência. Para a compactação, utilizou-se uma prensa hidráulica semiautomática marca, TECQUIPMENT modelo SM1000, com capacidade máxima de 100kN (~10 toneladas), sendo o material compactado com 9 toneladas e aguardado 5 minutos para desenformar os briquetes, objetivando a estabilização da prensa.

G. Poder calorífico

Após realizado a compactação dos ensaios E1, E2 e E3, os produtos obtidos foram submetidos a análise para determinação do poder calorífico superior. Dessa forma e tendo como base a norma técnica ABNT – NBR 8633/84 [30], 1g dos particulados que se soltaram após o teste de resistência mecânica dos briquetes, foram enviados ao Laboratório de Análises Térmicas, espectrometria, materiais e combustíveis (LATECOM) da UTFPR, campus de Medianeira-PR. Para

tanto foi utilizado um Calorímetro de modelo IKA C2000 acoplado a um refrigerador IKA KV 600, em unidade de kJ/g.

O calorímetro utilizado fornece diretamente o valor do PCS e, portanto, utilizando a Equação 1 é possível obter o PCI. Para tal, o teor de hidrogênio utilizado será de 6%, pois o mesmo não varia consideravelmente para biomassas provindas de madeiras, independente da espécie [31].

H. Densidade energética

A densidade energética dos briquetes é obtida pela multiplicação da densidade aparente, pelo poder calorífico superior [25]. Tendo sido realizada em triplicata para cada ensaio.

Para a determinação da densidade aparente dos briquetes é considerado o volume do formato cilíndrico dos mesmos, tendo seu diâmetro e altura medidos utilizando um paquímetro digital marca, MARBERG com capacidade de medição de 300mm e erro de $\pm 0,03$ mm. Já para a determinação da massa dos briquetes, foi utilizada uma balança digital marca, MARTE e modelo AD3300, com capacidade de 3310g e mínimo de 0,5g.

I. Resistência mecânica

Para o teste de resistência mecânica dos briquetes, foi selecionado o teste de compressão, no qual uma carga é aplicada no corpo de prova (briquete) até que o mesmo se rompa. Para tal, foi utilizado uma prensa hidráulica semiautomática marca, TECQUIPMENT modelo SM1000, com capacidade máxima de 100kN, tendo sido adotado o ponto de ruptura dos briquetes como sendo a pressão na qual os agregados começam a se soltar do corpo de prova e o briquete é permanentemente deformado. O ensaio por realizado, inserindo uma pressão de forma constante até o momento de ruptura.

IV. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos. Ressalta-se que os testes de análise imediata, poder calorífico, densidade energética e resistência mecânica foram realizados em triplicata e, portanto, nesta seção são expressos os valores médios obtidos. Os resultados completos estão expostos nos Apêndices.

A. Análise Granulométrica

Seguindo a metodologia proposta, o primeiro ensaio realizado foi a análise granulométrica, em que a biomassa *in natura* foi destinada para o peneiramento. Na Tabela 3 verifica-se a distribuição do material (em porcentagem).

Tabela 3 - Distribuição granulométrica da biomassa, em porcentagem.

AMOSTRA	MESH						
	#4	#8	#16	#30	#50	#100	Fundo
Cama de aviário	19,05	15,50	19,65	17,45	11,45	11,23	5,67

Fonte: O autor, 2023.

Pode ser observado que aproximadamente um terço do material (34,55%) é retido nas peneiras #4 e #8 mesh, que por conta da grande quantidade de impurezas, resíduos das aves e também do material desta faixa de peneiras ter partículas muito grandes, acabando por dificultar o processo de briquetagem, este material foi descartado.

O material retido na faixa de #30 até #100 mesh, apresentou características interessantes para o trabalho, por

conta do tamanho das partículas e da distribuição do mesmo nas peneiras, tendo sido selecionado para o processo de briquetagem. Após os testes preliminares, o material da peneira #16 mesh também foi selecionado para efeitos de comparação entre os diferentes particulados.

B. Teor de umidade

Após o peneiramento, o material a ser utilizado no processo de briquetagem foi levado para o laboratório de engenharias da UNILA, campus PTI, para determinação do teor de umidade. Dessa forma, na

Tabela 4 é apresentado o teor de umidade, em porcentagem das amostras.

Tabela 4 - Teor de umidade das amostras utilizadas no processo de briquetagem.

AMOSTRA	Teor de umidade (%)
Mesh's #100, #50 e #30	9,74%
Mesh #16	10,14%

Fonte: O autor, 2023.

Conforme discutido na seção II, o teor de umidade de biomassas, adequado para o processo de briquetagem deve estar compreendido entre 5 e 20%. Observa-se que ambas as amostras testadas, estão dentro desta faixa, com a amostra do particulado mais fino com 9,74% e da amostra com particulado mais grosso com 10,14%.

O material original da cama de aviário utilizado era serragem e maravalha (particulado de maior granulometria que a serragem), tendo o trabalho de [32] obtido valores médios para o teor de umidade de resíduos de maravalha entre 11,34% e 11,30%, sendo consideradas amostras de *A. angustifolia* e de *Pinus* sp., respectivamente. O trabalho de [33], teve como resultado 9,06%, 15,25% e 22,11% para o teor de umidade de amostras de serragem de pinus, cama de frango (1 lote) e cama de frango (2 lotes), respectivamente. Tais valores se comparados aos obtidos, demonstram que o material coletado era recente e de uma área pouco ocupada do aviário.

C. Análise Imediata

Após a determinação do teor de umidade, se sucedeu a análise imediata objetivando encontrar o teor de voláteis (Tv), de cinzas (Tz) e carbono fixo da biomassa (Tcf). A análise foi realizada em duplicata e é mostrado pela Tabela 5 os valores médios encontrados.

Tabela 5 - Valores médios da análise imediata da cama de aviário

AMOSTRA	Tv (%)	Tz (%)	Tcf (%)
Cama de aviário	77,45	10,78	11,76

Fonte: O autor, 2023.

Os resultados obtidos estão de acordo com [33], que para cama de aviário (1 lote) obteve 70,69%, 12,76% e 16,55% para o teor de voláteis, cinzas e carbono fixo, respectivamente. Também são bastante semelhantes aos resultados encontrados por [19], que obteve resultados médios para o teor de voláteis de 75,59%, para o teor de cinzas de 15,98% e para o carbono fixo de 8,43%, ao analisar a cama de aviário *in natura*.

Em relação ao teor de cinzas encontrado, ele é considerado alto em comparação a outras biomassas, como por exemplo a serragem de pinus (1,97%)[33], isso pode ser explicado pela composição da cama de aviário. O elevado teor de cinzas é um complicador para a queima na utilização para

fins energéticos, pois é necessário maior quantidade de oxigênio para realizar a queima completa [33].

D. Briquetagem

Os corpos de prova foram fabricados de acordo com o descrito no processo de briquetagem. Para cada briquete, foi utilizado $30 \pm 0,1\text{g}$ das amostras selecionadas para cada ensaio, inserindo 9 toneladas de pressão. Após atingir esta pressão, o tempo para desenformar os briquetes foi de 5 minutos para estabilização da prensa.

Foram produzidos 3 briquetes para cada ensaio, descontando os testes preliminares, com pressões menores e maiores e também com diferentes composições dos particulados. Testes estes que não obtiveram resultados satisfatórios, pois com pressões menores os briquetes se rompiam muito facilmente e com pressões maiores, apresentaram grande dificuldade para desenformar. Os testes com diferentes composições dos particulados, se mostraram de grande auxílio para determinar a melhor composição das frações para efeitos de comparação. Totalizou-se, portanto, 9 briquetes.

Os briquetes dos testes preliminares foram reservados em um recipiente metálico durante uma semana, estocados em um armário. Este período foi suficiente para os briquetes apresentarem perda de resistência mecânica, se esfarelando ao toque, fato que ocorre pelas condições climáticas do período e a absorção de umidade pelos mesmos. Logo, os demais briquetes produzidos após os testes preliminares, foram condicionados em uma estufa, durante 1 semana, com temperatura de 40°C .

E. Poder calorífico

Na Tabela 6, observa-se os valores médios de poder calorífico superior e poder calorífico inferior, tendo sido realizado em triplicata para cada ensaio.

Tabela 6 - Valores médios para o poder calorífico superior e inferior.

Amostra	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)	Desvio Padrão (PCS)
E1	13,81	12,46	0,1266
E2	14,17	12,82	0,4310
E3	15,11	13,76	1,2360

Fonte: O autor, 2023.

Pode ser observado que os briquetes produzidos com o material da peneira 16 resultaram em um PCS maior, seguido pela mistura dos dois materiais e por último os briquetes produzidos a partir do material mais fino. Isso pode ser explicado, pelo fato do material com maior granulometria permitir a difusão de calor por dentro dos briquetes, facilitando a liberação de calor.

O trabalho de [34], obteve o valor de $15,45\text{ MJ/kg}$ para o PCS da cama de aviário utilizada por ele, enquanto [24] o valor encontrado para o PCS foi de $14,85\text{ MJ/kg}$. O resultado para o PCS no trabalho de [19] variou entre $13,37\text{ MJ/kg}$ e $13,60\text{ MJ/kg}$. Todos os resultados são compatíveis com os obtidos, considerando que o material enviado para análise havia sido peneirado e que a cama de aviário não é um produto constituído por um único elemento, variando de acordo com região e até mesmo da área de coleta no aviário.

F. Densidade energética

A densidade energética é obtida pela multiplicação da massa específica pelo PCS. Conforme a metodologia, o

método estereométrico foi utilizado, sobre os 9 briquetes produzidos, sendo o volume determinado pelas dimensões dos briquetes, considerados como cilíndricos e também sendo realizado em triplicata para cada ensaio. Na Tabela 7 pode ser observado os valores médios encontrados para a massa específica e para a densidade energética dos ensaios.

Tabela 7 - Valores médios para massa específica e densidade energética.

Amostra	Massa Específica (kg/m^3)	Densidade Energética (MJ/m^3)	Desvio Padrão (Densidade Energética)
E1	1000,02	13.803,38	466,5623
E2	934,36	13.237,66	454,5149
E3	869,18	13.139,52	1.195,5423

Fonte: O autor, 2023.

Observa-se que os briquetes do ensaio E1 apresentaram maior massa específica, do ensaio E2 valor intermediário e do E3 menor valor para tal parâmetro. Pode-se explicar esse comportamento por conta da granulometria utilizada em cada ensaio, sendo o particulado mais fino produzindo briquetes mais densos por conta da maior facilidade em compactação, quando comparado com particulado maior.

Em relação a densidade energética, observa-se o comportamento contrário ao do PCS onde embora, os briquetes do ensaio E1 tenham apresentado menor PCS, por conta de sua maior densidade apresentaram a maior densidade energética, seguido pelo ensaio E2 e por último com menor densidade energética os briquetes do ensaio E3.

Em relação a massa específica dos briquetes, os resultados encontrados estão de acordo com o trabalho de [35], que encontraram briquetes com massas específicas variando de 690 a 990 kg/m^3 , utilizando carvão vegetal misturado a serragem, carvão mineral, nitrato, cinzas e aglutinante.

G. Resistência mecânica

Os briquetes produzidos, após o período na estufa e terem suas dimensões e massas tomadas, foram submetidos ao teste de carga máxima de ruptura, sendo forçados até que os efeitos de ruptura fossem visíveis. O ensaio foi realizado nos 9 briquetes produzidos, sendo 3 para cada diferente proporção dos materiais, conforme Tabela 2. Desta forma, na Tabela 8 é apresentado os valores médios de carga máxima, suportados por cada ensaio de briquete produzido.

Tabela 8 - Média dos valores de carga máxima suportada pelos briquetes produzidos.

Amostra	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (kgf/cm^2)	Desvio Padrão (Tensão Máx.)
E1	69,10	347,16	10,4694
E2	44,50	222,20	5,8140
E3	37,10	182,23	5,9363

Fonte: O autor, 2023.

As amostras dos briquetes E1 apresentaram maior resistência mecânica, seguidas pelas amostras do E2 e por fim do E3. Isso é explicado pela diferente granulometria das partículas utilizadas em cada amostra, sendo o E1 com as menores partículas e, portanto, com uma maior facilidade para a compactação, ocasionando assim, maior resistência à compressão.

Na literatura [36] encontra-se o valor de $71,38\text{ kgf/cm}^2$ como referência para uma boa resistência mecânica

aos briquetes, pois a partir dessa resistência os mesmos podem ser manipulados e armazenados sem que ocorra grande fragmentação. Desta forma, todas as amostras testadas apresentaram um valor superior a este valor de referência, se mostrando com resistência considerável.

O trabalho de [34], para briquetes produzidos a partir de bagaço de cana, bagaço de mandioca e cama de aviário em diferentes proporções, obteve-se 185,09 kgf/cm², para briquetes produzidos com 30% de bagaço de cana (BC), 5% de bagaço de mandioca (BM) e 65% para cama de aviário (CA), 149,94 kgf/cm², para proporções de 42,5% de BC, 15% de BM e 42,5% de CA e 156,54 kgf/cm², para proporções de 65%, 5% e 30% respectivamente. Valores menores que os obtidos neste trabalho, porém pode se notar, que a maior resistência mecânica foi obtida nos briquetes produzidos com maior fração de cama aviária.

Observa-se, portanto, que a resistência mecânica dos briquetes é afetada principalmente pelo tipo de matéria prima utilizada bem como o teor de umidade.

H. Análise comparativa.

Com os resultados obtidos, é possível verificar certas características dos briquetes produzidos, dessa forma pode ser observado na Tabela 9, um análise comparativa dos principais resultados encontrados.

Tabela 9 - Análise comparativa dos briquetes produzidos.

	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)	Massa Específica (kg/m ³)	Densidade Energética (MJ/m ³)	Resistência Mecânica (kgf/cm ²)
E1	13,81	12,46	1000,02	13803,38	347,16
E2	14,17	12,82	934,36	13237,66	222,20
E3	15,11	13,76	869,18	13139,52	182,23

Fonte: O autor, 2023.

É notório a diferença no PCS entre as amostras, tendo os briquetes produzidos a partir do material com maior granulometria, obtendo valores maiores para este parâmetro (15,11 MJ/kg), o que é explicado por conta deste maior particulado facilitar a difusão de calor entre os agregados, se comparado ao material mais fino. Tendo sido também observado, que a mistura dos 2 materiais, obteve valores intermediários para os parâmetros analisados, como era esperado.

Contudo, este maior PCS e consequente maior PCI, das amostras E3, acontece em detrimento a menor massa específica (869,18 kg/m³), o que leva a menor densidade energética observada entre os 3 ensaios (13.139,52 MJ/m³) e também a menor resistência mecânica (182,23 kgf/cm²). Isto pode ser explicado por conta do material utilizado para estes briquetes ter a maior granulometria, dessa forma, a pressão adotada foi insuficiente para compactar de forma adequada o material. O contrário ocorre no ensaio E1, em que mesmo tendo o menor valor de PCS e PCI entre os ensaios, por conta do menor particulado, teve maior massa específica, densidade energética e resistência mecânica, 1000,02 kg/m³, 13803,38 MJ/m³ e 347,16 kgf/cm², respectivamente.

V. CONCLUSÕES

De acordo com a análise e comparações dos resultados obtidos, chega-se a conclusão de que, a produção de briquetes utilizando a cama de aviário como matéria-prima é tecnicamente viável, apresentando resultados positivos e em

acordo com estudos encontrados, em termos de densidade energética, poder calorífico e resistência mecânica.

Na análise imediata, os resultados encontrados foram semelhantes a encontrados por outros trabalhos utilizando a mesma biomassa, porém ressalta-se que a cama de aviário pode apresentar diferentes resultados por conta do material original utilizado, o tipo de ave e a quantidade de lotes até seu descarte. Nota-se também o alto teor de cinzas (10,78%), o que pode ocasionar problemas na queima direta.

Em relação a densidade aparente e energética, os briquetes fabricados a partir de partículas mais finas obtiveram resultados melhores, seguido pela blenda dos particulados e por fim, com os menores valores, o particulado mais grosso. Dessa forma, é verificada a importância da granulometria no processo de briquetagem e como ela influência em diversos parâmetros referentes à boa qualidade dos briquetes.

Por fim, todos os briquetes produzidos apresentaram boa resistência mecânica, fator importante no transporte e armazenamento dos mesmos. Tendo os briquetes do ensaio E1 obtido os maiores valores com média de 347,16 kgf/cm², em seguida E2 com valores intermediários médios de 222,20 kgf/cm² e por último E3 com as menores médias, 182,23 kgf/cm².

Como neste trabalho é avaliada a viabilidade técnica, dos briquetes produzidos a partir da cama de aviário, levando em consideração os parâmetros analisados, conclui-se que essa alternativa é promissora para o aproveitamento sustentável de resíduos agrícolas.

REFERÊNCIAS

- [1] EPE, “Matriz Energética e Elétrica”, *Empresa de Pesquisa Energética*, 2023. <https://www.epe.gov.br/pt/abcedenergia/matriz-energetica-e-eletrica> (acesso em 4 de maio de 2023).
- [2] J. A. de C. Carvalho Jr. e P. T. Lacava, *Emissões em Processos de Combustão*. São Paulo - SP: UNESP, 2003. Acesso em: 4 de maio de 2023. Disponível em: <https://livros01.livrosgratis.com.br/up000012.pdf>
- [3] CNA, “Panorama do Agro”, *Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA)*, novembro de 2021. <https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro> (acesso em 4 de maio de 2023).
- [4] C. S. Gomes, “Impactos da Expansão do Agronegócio Brasileiro na Conservação dos Recursos Naturais”, *Cadernos do Leste*, vol. 19, n° 19, Art. n° 19, jun. 2019, doi: 10.29327/248949.19.19-4.
- [5] EMBRAPA, “Embrapa Suínos e Aves”, *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*, 2021. <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/brasil> (acesso em 4 de maio de 2023).
- [6] SINDIAVIPAR, “Anuário Paranaense da Avicultura 2022”, Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná, 2022. Acesso em: 4 de maio de 2023. [Online]. Disponível em: <https://sindiavipar.com.br/wp-content/uploads/2022/09/Anuario-Sindiavipar-2022.pdf>
- [7] ABPA, “Estatísticas Setoriais”, *Associação Brasileira de Proteína Animal*, 2022. <https://abpa-br.org/estatisticas-setoriais/> (acesso em 4 de maio de 2023).
- [8] A. Sordi, S. Souza, e F. Oliveira, “Distribuição Geográfica do Potencial Energético dos Resíduos da

- Avicultura de Corte na Região Oeste do Paraná”, 4º Encontro de Energia no Meio Rural, 2002. Acesso em: 4 de maio de 2023. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v1/051.pdf>
- [9] J. D. C. Uliano, “Caracterização Ambiental de Aviários de Corte em Serranópolis do Iguaçu-PR”, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.
- [10] IAT, “Instituto Água e Terra”, *Instituto Água e Terra*, 2022. <https://www.iat.pr.gov.br/> (acesso em 4 de maio de 2023).
- [11] J. M. C. de S. Dias *et al.*, *Produção de briquetes e pêletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais*. Brasília -DF: Embrapa, 2012. Acesso em: 4 de maio de 2023. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/78690/1/DOC-13.pdf>
- [12] I. Malico, *Energia da biomassa*. CGE, 2008. Acesso em: 4 de maio de 2023. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/5983>
- [13] GBIO, “Fontes de biomassa”, *Fontes de Biomassa*, 2021. <http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/?q=pt-br/livro/fontes-de-biomassa> (acesso em 4 de maio de 2023).
- [14] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, *Atlas de energia elétrica do Brasil*, 2º ed. Brasília, 2005. Acesso em: 4 de maio de 2023. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/582/6/05%20-%20Biomassa%282%29.pdf>
- [15] A. C. Vieira, “Caracterização da Biomassa Proveniente de Resíduos Agrícolas”, Dissertação de Mestrado, UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - Pr, 2012. Acesso em: 4 de maio de 2023. Disponível em: https://www5.unioeste.br/portalunioeste/arq/files/PPGEA/Dissertacao_Ana_C_Vieira.pdf
- [16] G. Rendeiro, *Combustão e gasificação de biomassa sólida*, 1ª edição. em Soluções energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.
- [17] S. R. Turns, *Introdução à Combustão: Conceitos e Aplicações*, 3º ed. AMGH, 2013.
- [18] I. T. Ferreira, W. N. Schirmer, G. D. O. Machado, e M. V. D. Gueri, “Estimativa do Potencial Energético de Resíduos Celulósicos de Fabricação de Papel Através de Análise Imediata”, *R. bras. Ener. Renov.*, vol. 3, nº 4, nov. 2014, doi: 10.5380/rber.v3i4.38618.
- [19] G. Neitzke, “Geração Elétrica Distribuída a partir da Gaseificação de Peletes de Cama de Aviário”, Dissertação de Mestrado, UNB - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- [20] V. S. de Avila, V. M. N. Abreu, É. A. P. Figueiredo, P. A. R. de Brum, e U. de Oliveira, “Valor Agronômico da Cama de Frangos após Reutilização por Vários Lotes Consecutivos”, EMBRAPA, Concórdia, 2007.
- [21] Ministério da Agricultura, Pecuário e Abastecimento, “Instrução Normativa MAPA - 41, de 08/10/2009”, 2009. Acesso em: 4 de maio de 2023. Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/instrucao-normativa-mapa-41-de-08-10-2009,855.html>
- [22] J. W. F. D. Silva, R. A. F. Carneiro, e J. M. L. Matos Lopes, “Da Biomassa Residual ao Briquete: Viabilidade Técnica para Produção de Briquetes na Microrregião de Dourados-MS”, *R. bras. Ener. Renov.*, vol. 6, nº 4, out. 2017, doi: 10.5380/rber.v6i4.46401.
- [23] L. E. D. R. E. Paula, “Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2011. Acesso em: 4 de maio de 2023. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/253/210>
- [24] M. A. Brand, *Energia de Biomassa Florestal*, 1ª edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010.
- [25] S. M. Petricoski, “Briquetes Produzidos Com Mistura de Podas Urbanas, Glicerina e Resíduos de Processamento de Mandioca.”, Dissertação de Mestrado, UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - Pr, 2017.
- [26] P. I. C. Fernandes, “Estudo da Biomassa Florestal Residual Consumida em Centrais Termoelétricas”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015. Acesso em: 4 de maio de 2023. Disponível em: https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/18448/1/ulfc113830_tm_Patr%c3%adcia_Fernandes.pdf
- [27] V. S. B. D., A. L. e V. C., “An Overview of the Chemical Composition of Biomass”, *FUEL*, vol. 89, nº 5, p. 913–933, 2010, doi: 10.1016/j.fuel.2009.10.022.
- [28] ASTM - American Society for Testing and Materials, “ASTM D 3173-85 Standard Test of Humidity”, United States of America, 1985.
- [29] ASTM - American Society for Testing and Materials, “ASTM E870-82. Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuels”, United States of America, 2006.
- [30] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 8633/84 - Determinação do poder calorífico superior”, Rio de Janeiro, 1984.
- [31] J. O. Brito e L. E. G. Barrichelo, “Carvão Vegetal de Madeira de Desbaste de Pinus”, 1982.
- [32] M. J. S. Menezes, “Poder Calorífico e Análise Imediata da Maravalha de Pinus (pinus Sp) e Araucária (araucaria Angustifolia) de Reflorestamento Como Resíduos de Madeireira”, Dissertação de Mestrado, UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - Pr, 2013.
- [33] M. E. Pereira, “Resíduos de Cama de Frango para Fabricação de Biochar”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2019.
- [34] Venicio Steffler, “Produção de Briquetes a Partir de Coprodutos Agroindustriais: Bagaço de Cana de Açúcar, Cama de Aviário e Resíduo de Aminodaria”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2019.
- [35] W. F. Quirino e J. O. Brito, “Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal”, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Brasília, 1999. doi: 10.11606/D.11.2019.tde-20190821-124712.
- [36] S. R. Teixeira, A. F. V. Pena, e A. G. Miguel, “Briquetting of charcoal from sugar-cane bagasse fly ash (scbfa) as an alternative fuel”, *Waste Management*, vol. 30, nº 5, p. 804–807, maio 2010, doi: 10.1016/j.wasman.2010.01.018.

APÊNDICE A – RESULTADOS ANÁLISE IMEDIATA.

	Teste 1	Teste 2
Cadinho (g)	37,25	39,43
Amostra + Cadinho (g)	38,27	40,45
Amostra (g)	1,02	1,02
m após 850°C (g)	37,48	39,66
m voláteis (g)	0,23	0,23
Teor de Voláteis (%)	77,45	77,45
m após 750°C	37,36	39,56
m cinzas (g)	0,11	0,13
Teor de Cinzas (%)	11,76	9,80
Carbono Fixo (%)	10,78	12,75

APÊNDICE B – RESULTADOS PODER CALORÍFICO.

	PCS (kJ/g)	PCS (kcal/kg)	PCS (MJ/kg)	PCI (kcal/kg)	PCI (MJ/kg)
1	13,92	3326,96	13,92	3002,96	12,57
E1 2	13,67	3267,21	13,67	2943,21	12,32
3	13,83	3305,45	13,83	2981,45	12,48
4	13,68	3269,60	13,68	2945,60	12,33
E2 5	14,50	3465,58	14,50	3141,58	13,15
6	14,32	3422,56	14,32	3098,56	12,97
7	16,51	3945,98	16,51	3621,98	15,16
E3 8	14,17	3386,71	14,17	3062,71	12,82
9	14,65	3501,43	14,65	3177,43	13,30

APÊNDICE C – RESULTADOS MASSA ESPECÍFICA.

	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)	Massa (kg)	Volume (m³)	Massa específica (kg/m³)
1	50,90	14,42	28,41	0,02841	2,9342E-05	968,23
E1 2	50,82	13,33	28,36	0,02836	2,7039E-05	1048,86
3	50,79	14,15	28,18	0,02818	2,8668E-05	982,97
4	50,91	14,96	28,30	0,02830	3,0453E-05	929,31
E2 5	50,75	14,97	28,21	0,02821	3,0282E-05	931,58
6	51,30	15,03	29,27	0,02927	3,1066E-05	942,19
7	50,99	15,82	28,29	0,02829	3,2305E-05	875,72
E3 8	51,58	16,43	29,38	0,02938	3,4331E-05	855,78
9	51,69	15,96	29,34	0,02934	3,3492E-05	876,04

APÊNDICE D – RESULTADOS DENSIDADE ENERGÉTICA.

	Massa específica (kg/m³)	PCS (MJ/kg)	Densidade Energética (MJ/m³)
1	968,23	13,92	13477,82
E1 2	1048,86	13,67	14337,89
3	982,97	13,83	13594,41
4	929,31	13,68	12712,91
E2 5	931,58	14,50	13507,88
6	942,19	14,32	13492,18
7	875,72	16,51	14458,18
E3 8	855,78	14,17	12126,39
9	876,04	14,65	12834,00

APÊNDICE E – RESULTADOS RESISTÊNCIA MECÂNICA.

	Força (kN)	Força (kgf)	Diâmetro (cm)	Área da base (cm²)	Tensão (kgf/cm²)
1	67,00	6832,12	5,090	20,35	335,76
E1 2	69,50	7087,05	5,082	20,28	349,39
3	70,80	7219,62	5,079	20,26	356,34
4	43,70	4456,18	5,091	20,36	218,91
E2 5	43,40	4425,58	5,075	20,23	218,78
6	46,40	4731,50	5,130	20,67	228,92
7	37,70	3844,34	5,099	20,42	188,26
E3 8	37,30	3803,56	5,158	20,90	182,03
9	36,30	3701,58	5,169	20,98	176,39

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Roseli e William, por todo o apoio nesta jornada, ao meu irmão Vinicius e toda minha família.

Ao meu orientador Rodrigo Monteiro Eliott, por todo suporte prestado.

A todos os professores que tive contato e me ensinaram tanto.

Ao Prof. Dr. Paulo Rodrigo Stival Bittencourt do Laboratório de Análises Térmicas, espectrometria, materiais e combustíveis (LATECOM) da UTFPR, campus de Medianeira-PR.

Aos meus amigos de Cascavel, Roberto, André, Alan, Nicolas e Felipe, por todas as madrugadas de descontração.

Aos meus amigos de Foz do Iguaçu, Thandara, Alexandra, Andrey e Alan Presotto, mas em especial a minha dupla Aline, fiel parceira de estudos, em que vivemos coisas únicas.

E por fim, a UNILA, pela oportunidade de ter conhecido pessoas incríveis e por todas as experiências e conhecimentos adquiridos nestes anos.