

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

João Miguel Dicenzo Tavares

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE REQUEIMA DO RESÍDUO DE MADEIRA DE
EUCALIPTO (RME)**

**Ilha Solteira
2023**

João Miguel Dicenzo Tavares

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE REQUEIMA DO RESÍDUO DE MADEIRA DE
EUCALIPTO (RME)**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – Unesp
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Nome do orientador
Jorge Luis Akasaki

Ilha Solteira
2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

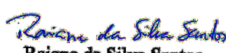
T231a Tavares, João Miguel Dizenzo.
Análise do potencial de requeima do resíduo de madeira de eucalipto (RME)
/ João Miguel Dizenzo Tavares. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
24 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Jorge Luis Akasaki

Inclui bibliografia

1. Cinzas. 2. Energia. 3. Sustentabilidade.


Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Serviço
Serviço Técnico de Biblioteca, Arquivamento no acervo e Documentação
Diretoria Técnica de Bibliotecas e Documentação
CRB/8 - 9999

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: **JOÃO MIGUEL DICENZO TAVARES**

Título: **ANÁLISE DO POTENCIAL DE REQUEIMA DO RESÍDUO DE MADEIRA DE EUCALIPTO (RME)**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Jorge Luís Akasaki

UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientador)



Bacus de Oliveira Nahime

Prof. Dr. Bacus de Oliveira Nahime

UNESP – Campus de Ilha Solteira



Prof. Me. Fausto Arantes Lobo

UNESP – Campus de Ilha Solteira

Ilha Solteira

26/06/2023

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar. Até aqui me ajudou o Senhor e me deu tudo o que tenho, incluindo saúde, família, amigos e professores que sempre me ajudaram muito, além de um excelente trabalho na área.

À minha família, pelo apoio e preocupação, sendo base para o amor, a educação e a formação que tenho. Amo a todos vocês.

Aos meus professores, que se tornaram grandes amigos, dos quais aprendi muito e vou levar para a vida toda. Em especial, ao Prof. Dr. Jorge e ao Dr. Prof. Alex que estiveram comigo por quase toda a graduação, orientando e apoiando em todos os momentos. Foram fundamentais para chegar até aqui e concluir este trabalho.

Aos graduados Sabrina Pereira da Silva e Fábio Aguiar que também auxiliaram muito no desenvolvimento do trabalho. Trocamos experiências e fizemos amizades incríveis.

Aos meus amigos que estiveram ao meu lado. Aprendemos muito juntos e vivemos momentos marcantes e inesquecíveis. Vocês tornaram essa jornada muito melhor.

À UNESP de Ilha Solteira, e todos que nela participam e fazem dela um local de excelente Ensino e aprendizado. Serei a vida todo grato por ter recebido esse ensino de excelência e um unespiano com orgulho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPQ, pelo apoio e pela bolsa PIBIT recebida ao realizar esse trabalho.

TÍTULO: ANÁLISE DO POTENCIAL DE REQUEIMA DO RESÍDUO DE MADEIRA DE EUCALIPTO (RME)

RESUMO

Os estudos na área de materiais sustentáveis e reutilização de resíduos têm sido amplamente difundidos. No entanto, os combustíveis fósseis ainda são a principal fonte energética. Com isso, torna-se necessário buscar outros materiais geradores, principalmente os renováveis, fazendo com que a biomassa seja uma excelente alternativa. Entretanto, a utilização da biomassa, promove a geração de resíduos advindos de sua queima denominados de cinzas ou fuligem. Desta maneira, torna-se necessário reaproveitar e descartar este material de maneira adequada. Com o intuito de utilizar novas alternativas para a geração de energia limpa, este projeto visou estudar a viabilidade de utilização do resíduo da madeira de eucalipto (RME), advindo do processo de queima em fornos. O objetivo foi transformar as cinzas em um biocombustível sólido por meio da formação de briquetes associados ou não ao aglutinante amido de milho, gerando energia sustentável e viável economicamente. Para verificar a viabilidade do processo, o material foi caracterizado quanto as suas características físico-químicas e sua composição por meio das técnicas de difração de raio X (DRX), termogravimetria (TG/DTG) e calorimetria exploratória diferencial (DSC). Além disso, foi determinado empiricamente o melhor traço para produção deste biocombustível. Observou-se nas análises das amostras uma quantidade de matéria orgânica residual, em média 7,2 %, que quando calcinada era degradada totalmente por meio de uma reação exotérmica, demonstrando a possibilidade de geração de energia no processo. Verificou-se por meio das medidas de DRX e TG que as amostras eram compostas, predominantemente, por carbonato de cálcio (CaCO_3). Analisou-se, ainda, que a utilização do ligante (amido de milho) não gerou resultados significativos e o seu uso pode ser desprezado, acarretando assim no barateamento da confecção dos briquetes.

Palavras-Chave: cinzas, energia, sustentabilidade.

TITLE: ANALYSIS OF THE POTENTIAL OF REQUIREMENT OF EUCALYPTUS WOOD RESIDUE (RME)

ABSTRACT

Studies in the area of sustainable materials and waste reuse have been widely disseminated. However, fossil fuels are still the main source of energy. As a result, it is necessary to look for other generating materials, especially renewable ones, making biomass an excellent alternative. However, the use of biomass, promotes the generation of residues resulting from its burning which are called ashes or soot, and in this way, it becomes necessary to reuse and dispose of this material in an appropriate manner. In order to use new alternatives for the generation of clean energy, this project aimed to study the feasibility of using eucalyptus wood residue (RME), arising from the burning process. The objective is to transform the ashes into a solid biofuel, through the formation of briquettes associated or not with the corn starch binder, generating sustainable and economically viable energy. To check the feasibility of the process, the material was characterized in terms of its physical-chemical characteristics and its composition by means of X-ray diffraction (DRX), thermogravimetry (TG / DTG) and differential scanning calorimetry (DSC) techniques, as well as the best trait for this biofuel has been determined empirically. It was observed in the analysis of the samples an amount of residual organic matter, on average 7.2%, which when calcined was totally degraded by means of an exothermic reaction, demonstrating the possibility of generating energy in the process. It was verified by means of XRD and TG measurements that the samples were composed predominantly of calcium carbonate (CaCO_3). It was also analyzed that the use of the binder (corn starch) did not generate significant results and its use can be neglected, which results in cheaper briquettes.

Keywords: ash, energy, sustainability.

Sumário

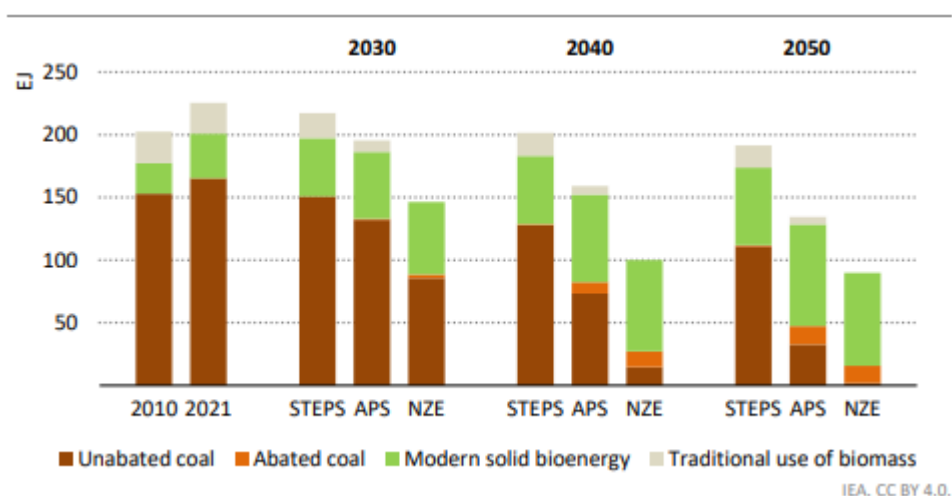
1. INTRODUÇÃO	4
2. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	6
3. OBJETIVOS.....	6
4. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS.....	7
4.1. Materiais Utilizados	7
4.2. Metodologia	8
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
6. CONCLUSÕES	19
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

1. INTRODUÇÃO

Há a necessidade crescente de geração de energia, e com ela, a preocupação com o uso racional e com a sustentabilidade. A busca de materiais alternativos e por fontes renováveis são caminhos para a obtenção de energia de forma sustentável e têm ganhado cada vez mais atenção e vêm se mostrando extremamente necessárias [1][2][3].

A energia oriunda da biomassa representa cerca de 10% do panorama energético global e observando o cenário de políticas declaradas, crescerá cerca de 30% até 2030. Dos 10%, 40% são do uso tradicional da biomassa, como a madeira de desflorestamento, resíduos florestais e dejetos de animais, mas que cada vez mais dará lugar a “biomassas modernas” que são os biocombustíveis (etanol e biodiesel), madeira de reflorestamento, resíduo de madeira, resíduos agrícolas como o bagaço de cana-de-açúcar e outras fontes [4][5]. Podemos observar na figura 01, a diminuição da biomassa tradicional, e o aumento substancial da biomassa moderna que vem como uma grande alternativa da utilização do carvão.

Figura 01: Carvão e demanda de bioenergia sólida por cenário



Fonte: [4]

Nota: EJ = exajoule; STEPS = Cenário de Políticas Declaradas; APS = Cenário de Promessas Anunciadas; NZE = Cenário de Emissões Líquidas Zero até 2050.

A energia proveniente da queima da madeira reflorestada ou plantada com o fim específico de geração de energia tem grande contribuição no crescimento apontado. Durante a 21ª Conferência das Partes (COP21) as diretrizes para mitigar as causas da mudança climática foram estabelecidas através do Acordo de Paris, no qual o Brasil se

comprometeu a diminuir a emissão de gases de efeito estufa, com a intenção de reduzir em 43% até 2030. Para tanto, a utilização de biomassa dedicada a queima e geração de energia é uma grande forma de obter essa redução, em detrimento do uso de combustíveis fósseis e não renováveis, e mantendo suprida a grande necessidade de geração de energia. Isso pode se dar pelas chamadas “florestas energéticas” de eucalipto, por exemplo. [6]

No entanto, a utilização da biomassa da madeira de eucalipto como fonte energética resulta em uma produção volumosa de resíduos (cinzas) advindas do processo de queima. Pode-se exemplificar tal afirmação pelo processo de fabricação da celulose, onde cerca de metade da quantidade produzida, também é gerada em resíduos, os quais as empresas produtoras, com o aumento da tecnologia, têm diminuído o que realmente é descartado [7]. Se este material for descartado de forma inadequada, pode gerar impactos ambientais graves, uma vez que podem conter materiais prejudiciais à saúde, como a sílica ativa [8].

Com isso, muitos estudos têm sido gerados no intuito de viabilizar outras destinações adequadas e de baixo impacto ambiental aos resíduos advindos deste processo. E para tanto é necessário caracterizar o material, coletando informações valiosas acerca de seu potencial para entender a sua viabilidade e a melhor forma de aproveitá-lo. Estes apontam entre as possibilidades de destinação final mais comuns, o emprego dos resíduos no concreto, visando atividades pozolânicas [9], na produção de tijolos solo-cimento [10] e na geração de energia [11][12].

Para que se aproveite o material na geração de energia, faz-se a briquetagem das cinzas, aglutinando os materiais finos com água e um ligante, produzindo um biocombustível sólido com propriedades caloríficas. Este processo de briquetagem é feito pressionando ao conjunto fino-ligante uma pressão de modo à compactá-lo, dando coesão para a mistura [11][13].

Com isto, o projeto teve a proposta de dar alternativas para a geração de energia sustentável, estudando a viabilidade de utilizar-se do resíduo da madeira de eucalipto (RME) como biocombustível sólido. Este material é oriundo do processo de produção de rações na Indústria Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano (COMIGO), localizada na cidade de Rio Verde – GO, e fundada em 1975. A partir da combustão da madeira de eucalipto são geradas, aproximadamente, 300 toneladas de resíduos mensalmente pela indústria.

Os resíduos produzidos pela indústria são geralmente transportados e lançados no solo, o que gera o custo de transporte e se torna um problema financeiro e também ambiental, uma vez que as cinzas podem possuir em sua composição materiais danosos à saúde e ao meio ambiente. Sendo assim, torna-se necessário estudar maneiras viáveis de fazer o aproveitamento do material de forma a evitar estes danos. Pôde-se observar, em pesquisas recentes com cinzas da madeira de eucalipto, que o material tem, possivelmente, propriedades pozolânicas [20], alto teor de carbono [21], e quando misturadas com água e um aglutinante, podem se transformar em um biocombustível sólido, na forma de briquetes e tendo potencial de gerar energia [11].

2. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A Indústria Cooperativa Agroindustrial dos produtores Rurais do Sudoeste Goiano (COMIGO), é uma cooperativa de produtores agrícolas que visa associar a produção agroindustrial com práticas ambientalmente corretas, reduzindo os danos gerados pela sua produção. Em média, a indústria produz cerca de 300 ton de resíduo mensalmente, sendo, em grande parte, descartado em aterros.

Visando um melhor tratamento de seus resíduos, bem como o aproveitamento do potencial existente nas cinzas que não sofrem a queima total da matéria orgânica, a indústria COMIGO recorreu à universidade. Com isto, a presente proposta foi criada, visando a caracterização inicial das cinzas, verificando suas potencialidades.

Desta forma, o projeto teve como objetivo a caracterização físico-química das cinzas produzidas por meio da geração de energia pela empresa COMIGO. Nesta etapa inicial, este trabalho buscou categorizar o material quanto a sua composição físico-química e teor orgânico visando a viabilidade de se reaproveitar o material, tido como resíduo, transformando-o em um novo sólido com propriedades caloríficas, podendo aproveitá-lo para geração de energia.

3. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi de estudar a viabilidade de utilizar as cinzas geradas pela queima da madeira do eucalipto (RME) durante o processo de fabricação de rações da Indústria COMIGO. O principal foco do trabalho foi o de aproveitar estes materiais para formar um sólido com propriedades caloríficas suficientemente capazes de

gerar uma nova fonte energética de tal forma que seja sustentável e viável economicamente.

4. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

4.1. Materiais Utilizados

4.1.1. Resíduo da Madeira de Eucalipto (RME)

O resíduo foi adquirido da Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do sudoeste Goiano (COMIGO) da cidade de Rio verde, localizada no sudoeste de Goiás. Este é produzido pela empresa por meio do processo de queima da madeira de eucalipto. A Figura 1 ilustra o aspecto das cinzas *in natura*.

Figura 02: Resíduo da queima do eucalipto



Fonte: Próprio autor

4.1.2. Amido de milho

O ligante utilizado no projeto foi o amido de milho da marca SIAMAR, disponível no Laboratório Central de Engenharia Civil da UNESP, campus de ilha solteira – SP. Este ligante foi utilizado no intuito de promover a aglutinação dos elementos para se obter um corpo de prova.

Figura 03: Resíduo da queima do eucalipto



Fonte: [22]

4.1.3. Água

A Água utilizada foi a obtida da rede pública de tratamento. Esta teve a função de favorecer a mistura dos elementos.

4.2. Metodologia

4.2.1. Preparação das cinzas

As amostras de cinzas obtidas foram secas em estufa por um período de tempo de 2 dias, em uma temperatura de 60°C, para posterior análise. Uma pequena parcela de cinza adquirida foi calcinada a temperatura de 600°C durante 6h para efetiva comparação com as amostras obtidas *in natura*.

Na figura 04, podemos ver um forno mufla de laboratório, exemplo do que foi utilizado para a preparação das cinzas.

Figura 04: Forno mufla de laboratório



Fonte: [23]

4.2.2. Montagem dos Briquetes com o RME

A partir da constatação da presença de material orgânico nas cinzas, foram moldados briquetes com dimensões de 50 x 50 x 50 mm. Na realização do procedimento foram misturados a cinza (RME), com o aglutinante amido de milho e a água. O ligante foi adicionado em 3 proporções diferentes: 5%, 10% e 15% em relação à massa de resíduo utilizada no ensaio, como também foi realizada a briquetagem sem a adição do ligante. Após a realização de diversos testes em laboratório, concluiu-se que a proporção ideal para a moldagem dos briquetes foi de 1:1 de água em relação à massa das cinzas.

Após a mistura do material com a água e com o ligante nas diferentes proporções, encaixou-se uma fôrma na prensa manual de tijolos. Na fôrma é possível moldar oito corpos de prova com 50 x 50 x 50 mm cada. Colocou-se a mistura na fôrma e comprimiu-se, formando então os briquetes. A prensa utilizada para a briquetagem e um exemplo da formação dos briquetes pode ser observado na figura 05.

Figura 05: Forno mufla de laboratório



Fonte: Próprio autor

Terminado o processo de briquetagem descrito acima, os corpos de prova foram calcinados como descrito na metodologia e o resultado é mostrado na Figura 11.

4.2.3. Caracterização

Com o intuito de caracterização mineralógica do resíduo tanto *in natura* quanto calcinado, medidas de difração de raio X (DRX) foram realizadas utilizando um equipamento Shimadzu XDR-6000 com comprimento de onda $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$. As medidas foram realizadas em uma faixa angular de $5-80^\circ$ com uma velocidade de varredura de $1^\circ/\text{min}$. De maneira complementar, a composição do material e suas reações de decomposição térmica foram de estudadas por meio das medidas termogravimétricas (TG e DTG), e de calorimetria exploratória diferencial utilizando um equipamento SDT-Q600 da empresa TA Instruments. As aferições foram realizadas em quintuplicata. Empregou-se uma taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, sendo os testes realizados na faixa de temperatura de 30 a 1000°C , empregando atmosfera de nitrogênio a uma vazão de $100 \text{ cm}^3/\text{min}$. Os dois equipamentos utilizados estão demonstrados nas figuras 05 e 06.

Figura 05: Shimadzu XDR-6000 (DRX)



Fonte: Próprio autor

Figura 06: SDT-Q600 (TG/DTG e DSC)



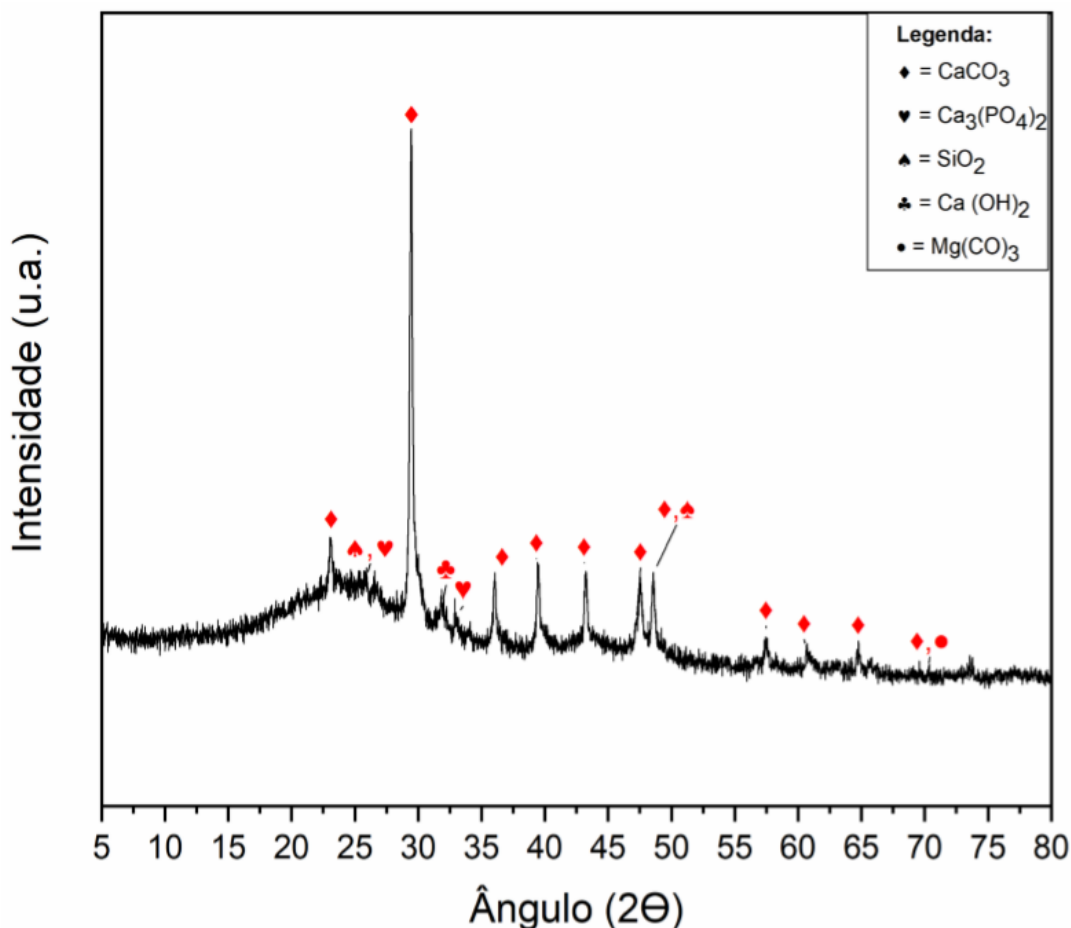
Fonte: Próprio autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização físico-química do RME

O espectro de DRX das cinzas (RME) na sua forma *in natura* é ilustrado na figura 07.

Figura 07: Difratoograma de raio X do RME sem tratamento



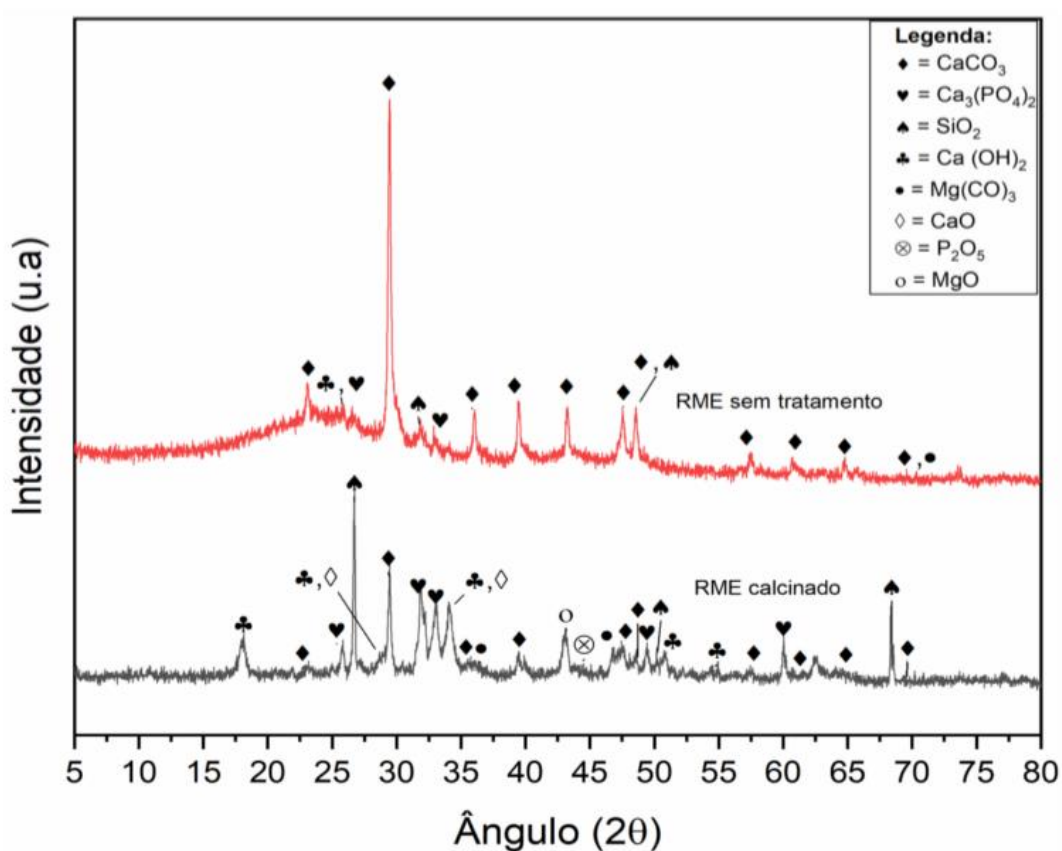
Fonte: Elaborado pelo autor.

Pôde-se observar a presença de uma banda amorfa, localizada aproximadamente na região de $2\theta = 15^\circ$ a 35° , o que ilustra a presença de material amorfo advindo do processo de queima. Em relação às suas fases cristalinas, podemos afirmar que a composição da amostra é constituída de compostos como CaCO_3 e MgCO_3 . Além de outros compostos tais como o dióxido de silício ou quartzo (SiO_2) e hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). A presença de dióxido de silício (SiO_2) está relacionado a presença da fase cristalina quartzo [14][15].

Por sua vez, a Figura 08 ilustra os resultados de difração de raios X para a amostra RME após a calcinação. Verificou-se que o tratamento térmico promoveu o desaparecimento da banda amorfa característica no RME sem tratamento. Isto se deve à

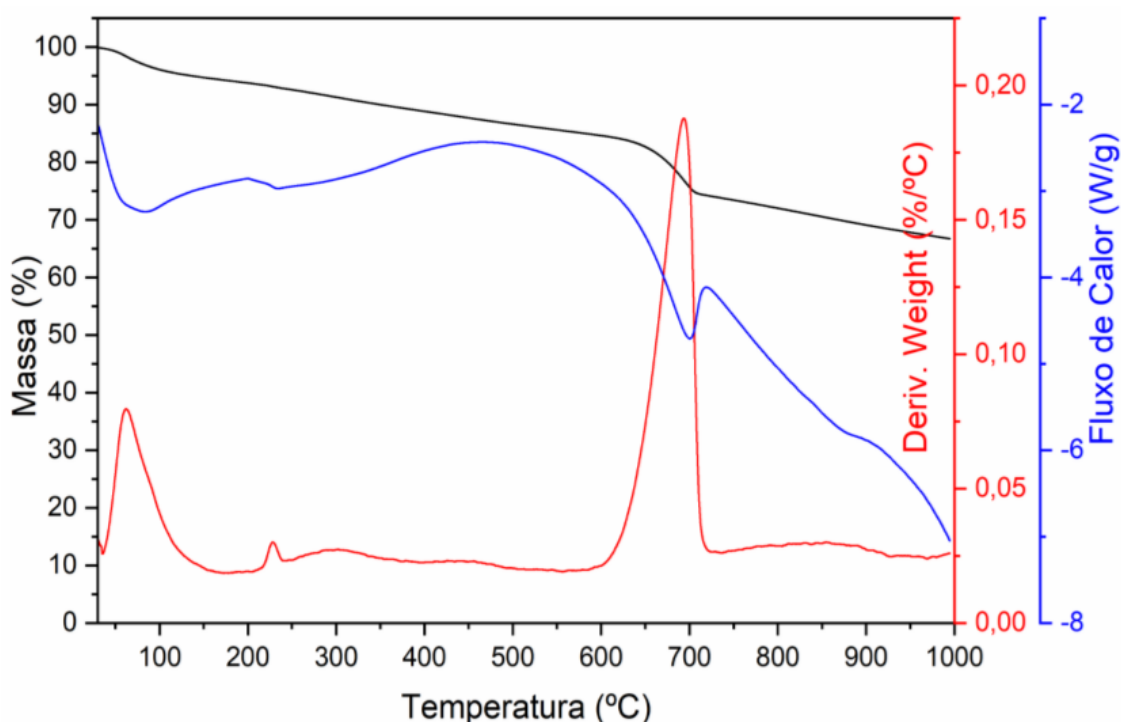
queima e à degradação da matéria orgânica residual, o que pode ser comprovado pelas análises termogravimétricas (TG). Percebeu-se, ainda, que a mineralogia é significativamente similar, tendo a presença, em grande peso, de carbono (C), estando principalmente no carbonato de cálcio (CaCO_3). Também é notável os padrões de difração referentes a compostos como o óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO), resultante da descarbonatação parcial do carbonato de cálcio (CaCO_3) e do carbonato de magnésio (MgCO_3).

Figura 08: Comparação dos difratogramas de raio X sem tratamento e calcinado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 09: Análise termogravimétrica (TG/DTG) e a curva de calorimetria diferencial (DSC) do RME sem tratamento



Fonte: Elaborada pelo autor.

De maneira complementar, a Figura 09 ilustra a medida de análise termogravimétrica (TG/DTG) e calorimetria exploratória diferencial (DSC) obtida, representativamente, para a amostra in natura. As curvas nas cores preta e vermelha correspondem a de perda de massa (TG) e sua derivada (DTG), respectivamente. Em azul, encontra-se a curva de fluxo de calor correspondente a medida de calorimetria diferencial (DSC).

A curva que está em preto (TG) apresenta “steps” que são estágios de perda de massa oriundos de processos de degradação que ocorrem na amostra. Para facilitar a verificação destes processos existentes no TG, utiliza-se a curva derivada, DTG, no qual os picos encontrados representam o processo de perda de massa.

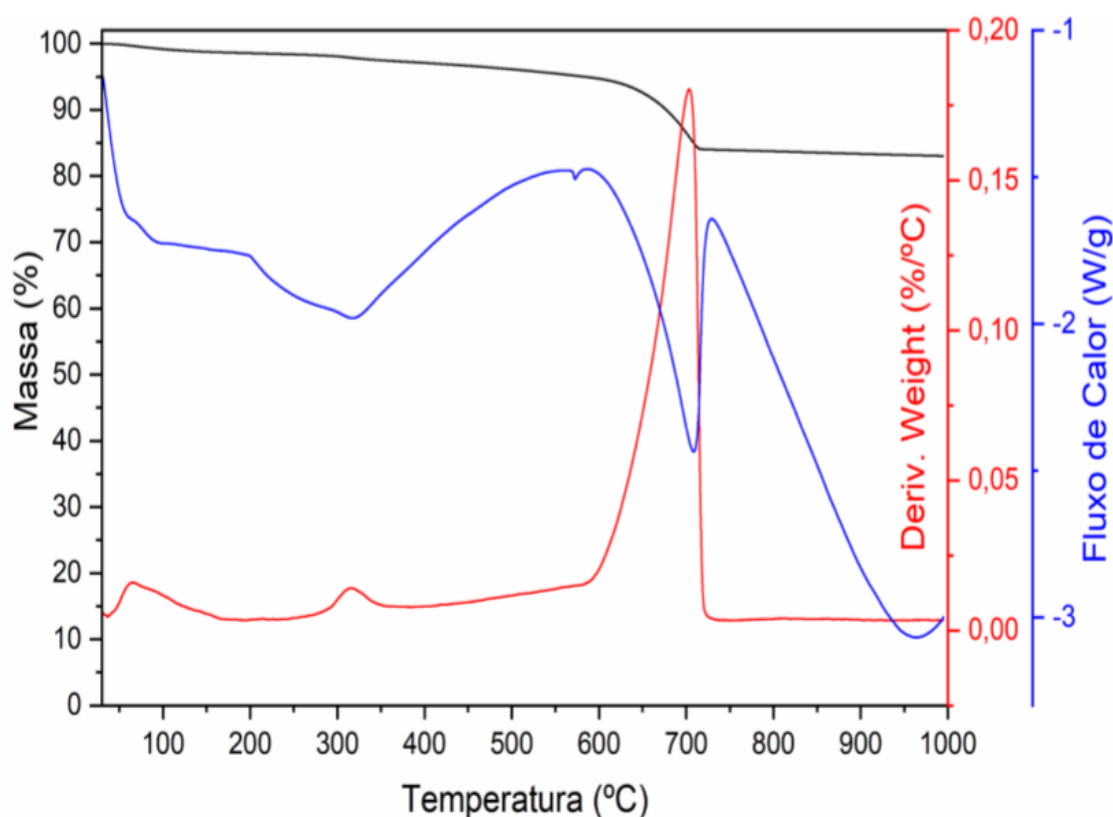
O primeiro processo de degradação térmica observado para a amostra in natura ocorreu entre 20°C e 140°C e foi atribuído a evaporação da água devido a presença de umidade nas cinzas [16][17]. O segundo estágio de degradação, composto por múltiplos processos, foi observado entre 140°C e 600°C e atribuído, principalmente, a degradação de matéria orgânica residual do processo de queima industrial [11][16][17]. Por fim, o terceiro processo de degradação observado entre 600°C e 720°C foi relacionado à

degradação do carbonato de cálcio (CaCO_3), sendo este o principal composto presente na amostra em massa [16][17][18].

Para realizar a análise do DSC, observamos a curva em azul. Este ensaio indica o fluxo de calor, sendo de absorção ou liberação de calor, com processos endotérmicos e exotérmicos, respectivamente. As reações que envolvem absorção (endotérmica) e liberação (exotérmica) possuem curvas voltadas para baixo e para cima, respectivamente, e são facilmente notáveis nas figuras obtidas como resultados do ensaio. Dessa maneira, para faixa de temperatura de 20°C à 140°C foi observado que o processo de evaporação da água, que é tipicamente endotérmico. Já na faixa de 140°C à 600°C , a queima da matéria orgânica pode ser observada como um processo exotérmico com consequente liberação de calor e, portanto, geração de energia para o sistema. Por fim, na faixa de 600°C à 720°C a degradação do carbonato de cálcio (CaCO_3) foi constatada como um processo endotérmico com eventual consumo de energia [17][14].

A análise termogravimétrica (TG/DTG) para o material calcinado é apresentada na Figura 10.

Figura 10: Análise termogravimétrica (TG) para o RME calcinado



Fonte: Elaborado pelo autor

Verificou-se que na faixa de 20° C à 140° C houve, novamente, a presença de evaporação da água. Esta água se deve, provavelmente, ao processo de armazenagem. Notou-se também, de maneira comparativa, a presença de um pico na derivada da curva de TG em torno de 320° C diretamente relacionado à formação de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), advindo da degradação do carbonato de cálcio (CaCO_3) [19]. A formação deste composto é oriunda da descarbonatação parcial do carbonato de cálcio (CaCO_3), que ao estar em contato com a água, forma o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2). Também houve a degradação efetiva da matéria orgânica na faixa de temperatura entre 140° C e 600° C, pois este não se faz mais presente quando analisado o material calcinado. Finalmente, tem-se o pico acentuado entre 600° C a 720° C este foi atribuído ao carbonato de cálcio (CaCO_3). Portanto, o tratamento dado ao RME não possibilitou a degradação completa do material, sendo esta apenas uma descarbonatação parcial, como demonstrado pelo resultado da difração de raio X (DRX).

A tabela 1 ilustra a média das perdas de massa obtidas para os principais processos de degradação presentes na amostra do material sem tratamento.

Tabela 1: Dados obtidos de perda de massa para o RME sem tratamento

	N Total (n)	Média (%)	Desvio Padrão (%)
Perda de massa de água	5	2,63	1,13
Perda de massa material amorfo	5	7,18	2,35
Perda de massa de CaCO_3	5	7,39	1,66

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que a perda de massa no primeiro estágio de degradação foi de 2,63% ± 1,13% entre 20° C à 140° C, já para a matéria orgânica, que é o segundo estágio de degradação, foi de 7,18% ± 2,35% entre 140° C à 600 °C, aproximadamente, e, por último, tem-se o estágio da perda de massa do carbonato de cálcio que foi de 7,39% ± 1,66% entre 600° C à 720° C.

A coloração das cinzas antes e após a queima são notoriamente diferentes, como podemos verificar nas figuras 02 e 11.

Figura 11: Análise termogravimétrica (TG) para o RME calcinado



Fonte: Elaborado pelo autor

Observando a figura 02, pode-se verificar que a coloração das cinzas antes da queima é preta. Isso se deve, principalmente, à presença de material orgânico não totalmente queimado e da presença do elemento carbono (C).

Já na figura 11, pode-se verificar que a cor é cinza-claro após a calcinação, e isto se dá por conta da queima total da matéria orgânica residual e da presença de óxido de cálcio (CaO) proveniente da descarbonatação parcial do CaCO_3 .

5.2. Testes preliminares de queima dos briquetes

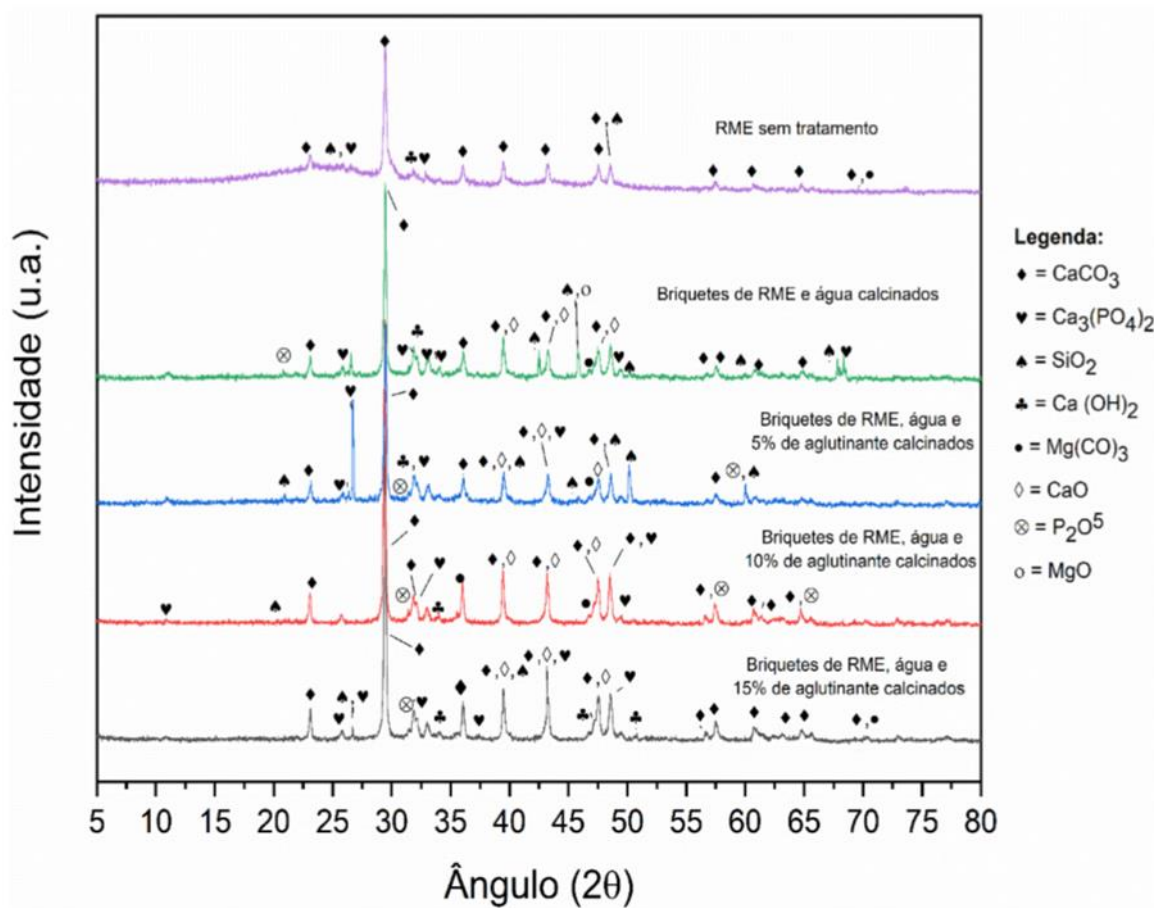
A Figura 08 apresenta e demonstra a viabilidade de fazer a montagem e a queima dos briquetes para geração de energia em que é possível ver a queima do material, verificando que o processo é viável e autossustentável. Neste experimento, moldou-se os corpos de prova com as cinzas (RME) e água.

Figura 11: Experimentação simplificada da queima do briquete



Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando os padrões de DRX dos briquetes moldados em laboratório e calcinados com os sem tratamento e sem calcinar (Figura 08), notou-se a degradação da matéria orgânica, uma vez que a banda amorfa está presente apenas na curva em lilás, que corresponde a da fuligem não tratada e sem calcinar, indicando o efetivo processo de queima. Além disso, observa-se a presença de óxido de cálcio (CaO) para ambas amostras.

Figura 08: Difratoograma de raio X dos briquetes moldados

Fonte: Elaborado pelo autor.

6. CONCLUSÕES

Após as análises de todo o trabalho realizado no projeto, pode-se dizer que as cinzas da madeira de eucalipto oriundas da indústria COMIGO, durante o processo de produção de rações, possuem taxa de matéria orgânica de cerca de 7,2%, proveniente da queima incompleta da madeira do eucalipto. Além disso, pode-se concluir que a característica da cor das cinzas advém da presença em alta quantidade do elemento carbono (C) e sua composição predominante no composto é de carbonato de cálcio (CaCO_3), o que foi comprovado pela difração de raio X (DRX) e complementado pela termogravimetria (TG/DTG).

Após analisar as cinzas de eucalipto, e pela análise dos briquetes, ambos calcinados em forno Mufla à 600°C por 6h, verificou-se que houve a degradação total da matéria orgânica residual e que este processo é exotérmico, liberando calor durante a queima, e, portanto, gerando energia, o que foi demonstrado pelo DSC. Pode-se notar, também, a descarbonatação parcial, pois nas amostras foram encontrados subprodutos

oriundos da degradação do carbonato de cálcio (CaCO_3) como, por exemplo, a presença do óxido de cálcio (CaO) e hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), assim como houve a degradação do carbonato de magnésio (MgCO_3) em óxido de magnésio (MgO), estes resultados foram obtidos tanto na difração de raio X quanto na termogravimetria (TG/DTG). Quanto a coloração após a queima, tem-se que as cinzas apresentam coloração cinza-claro após a calcinação, e isto se dá por conta da presença de óxido de cálcio (CaO) e principalmente que posterior à queima, há a degradação total da matéria orgânica que estava presente após a queima industrial.

Por fim, conclui-se que foi possível montar um biocombustível sólido com propriedades e capacidade de gerar energia de maneira sustentável. Também foi verificado empiricamente que não há a necessidade de ligante para confeccionar os briquetes, uma vez que o briquete pode ser montado mesmo sem a sua utilização. Vale ressaltar que com o uso do ligante, ganha-se em coesão, se tornando um sólido que não se desfaz facilmente, tornando mais viável o possível transporte em grande quantidade do material. Além disso, a utilização do resíduo para gerar energia pela indústria faria com que se reduzisse a quantidade de árvores cortadas, reduzindo o impacto ambiental na produção e favorecendo a implantação do processo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SANTOS, J. R. S. CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS MADEIREIROS REPROCESSADOS PARA USO ENERGÉTICO. **USP**. 2020. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.TESES.USP.BR/TESES/DISPONIVEIS/11/11150/TDE-07052020-091440/PUBLICO/JULIANA RODRIGUES SIVIERO DOS SANTOS VERSAO REVISADA.PDF](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/TDE-07052020-091440/PUBLICO/JULIANA_RODRIGUES_SIVIERO_DOS_SANTOS_VERSAO_REVISADA.PDF). ACESSADO EM: 21 DE MAIO DE 2023;
- [2] MANTOVANI, L. P. et al. BIOMASSA E ENERGIA. **AGRONOMIA BRASILEIRA**. 2022. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.FCAV.UNESP.BR/HOME/ENSINO/DEPARTAMENTOS/CIENCIASDAPRODUCAOAGRICOLA/LABORATORIODEMATOLOGIA-LABMATO/REVISTAAGRONOMIABRASILEIRA/RAB202221.PDF](https://www.fcaav.unesp.br/Home/ENSINO/DEPARTAMENTOS/CIENCIASDAPRODUCAOAGRICOLA/LABORATORIODEMATOLOGIA-LABMATO/REVISTAAGRONOMIABRASILEIRA/RAB202221.PDF). ACESSO EM: 21 DE MAIO DE 2023;
- [3] TAVARES J. M. D. "ANÁLISE DO POTENCIAL DE REQUEIMA DO RESÍDUO DE MADEIRA DE EUCALIPTO (RME) PRODUZIDO DURANTE O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE RAÇÕES". **CIC XXXII**. 2020. Acesso em <https://www.even3.com.br/anais/xxxiicicunesp/283767-analise-do-potencial-de-requeima-do-residuo-de-madeira-de-eucalipto-/>;
- [4] [1] U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). **WORLD ENERGY OUTLOOK 2022**. U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2022. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.IEA.ORG/REPORTS/WORLD-ENERGY-OUTLOOK-2022](https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022). ACESSO EM: 21 DE MAIO DE 2023;
- [5] INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE USP (IEE USP). **BIO ENERGIA**. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://GBIO.WEBHOSTUSP.STI.USP.BR/?Q=PT-BR/LIVRO/BIOMASSA-MODERNA-NO-BRASIL](https://gbio.webhostusp.sti.usp.br/?Q=PT-BR/LIVRO/BIOMASSA-MODERNA-NO-BRASIL). ACESSO EM: 21 DE MAIO DE 2023;
- [6] SOARES, M.; SOUSA, V.; LEITE, C. C. FLORESTAS ENERGÉTICAS: POTENCIAL DA BIOMASSA DEDICADA NO BRASIL. **INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA)**. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://ENERGIAEAMBIENTE.ORG.BR/WP-CONTENT/UPLOADS/2018/01/ESTUDO_COMPLETO_ENERGIA_EUCALIPTO.PDF](https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2018/01/ESTUDO_COMPLETO_ENERGIA_EUCALIPTO.PDF). ACESSO EM: 21 DE MAIO DE 2023;
- [7] BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D da; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. de C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. In: **Boletim de Pesquisa Florestal**. 37. ed. [S.l.: s.n.], 1998. p. 99-106. Disponível em:

<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/282198>. Acesso em: 21 de maio de 2023;

[8] SANTIAGO, F. L. S. **Aproveitamento de resíduos florestais de Eucalyptus spp na indústria de fabricação de celulose para geração de energia térmica e elétrica**. 2013. 109f. Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/101802/sanchezsantiago_fl_dr_botfca.pdf?sequence=1. Acesso em: 21 de maio de 2023;

[9] GLUITZ, A. C.; MARAFÃO, D. **UTILIZAÇÃO DA CINZA DA MADEIRA DO EUCALIPTO NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND EM ARGAMASSA**. 2013. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Química Industrial, Utfpr, Pato Branco, Pr, 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1994/1/PB_COQUI_2013_1_03.pdf. Acesso em: 21 de maio de 2023.

[10] RIBEIRO, S. V. **REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CINZA DE MADEIRA NA PRODUÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO: FORMULAÇÃO, PROPRIEDADES E MICROESTRUTURA**. 2017. 105 F. TESE (DOUTORADO) - CURSO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS, CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE, CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ, 2017. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://UENF.BR/POSGRADUACAO/ENGENHARIA-DE-MATERIAIS/WP-CONTENT/UPLOADS/SITES/2/2013/07/TESE-FINAL.COMPRESSED.PDF](https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/TESE-FINAL.COMPRESSED.PDF). ACESSO EM: 21 DE MAIO DE 2023;

[11] SILVA S. P. “Reaproveitamento do resíduo da madeira de eucalipto (RME) para a produção de energia sustentável.”. **ANAP Brasil**. 2020. Acesso em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/view/2251/2094/

[12] SILVA, P. A.; ANDRADE, M. A.; JÚNIOR, D. F. A. INVESTIGANDO O USO DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA A PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS COMPACTADOS. **SCIELO BRASIL**. 2019/2020. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://DOI.ORG/10.1590/S1517-707620200002.1025](https://doi.org/10.1590/S1517-707620200002.1025). ACESSO EM: 21 DE MAIO DE 2023;

[13] BENÍCIO, E. L. **UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO CELULÓSICO NA COMPOSIÇÃO DE BRIQUETES DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL INSTITUTO DE FLORESTAS CURSO**

DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS – UFRRJ. DISSERTAÇÃO. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://TEDE.UFRRJ.BR/JSPUI/HANDLE/JSPUI/3870?MODE=FULL](https://tede.ufrrj.br/jspui/handle/jspui/3870?MODE=FULL). ACESSO EM: 21 DE MAIO DE 2023;

[14] BORLINI, M. C.; VIEIRA, C.M.F.; et.al. **CINZA DA LENHA PARA APLICAÇÃO EM CERÂMICA VERMELHA PARTE I: CARACTERÍSTICAS DA CINZA.** Cerâmica. Vol. 51, n. 319, p.192-196, São Paulo (2005). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/X49C8tXxSQqgPfmjY8zDTZk>. Acesso em: 21 de maio de 2023;

[15] **UFRGS.** QUARTZO – SiO₂. 2020. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/minmicro/Quartzo.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2023;

[16] MAIA, L. J. Q.; MARTINS, T. A.; GESICKI, A. L. D.; SALVETTI, A. R. **Estudos das propriedades químicas e térmicas das argilas do estado de Mato Grosso do Sul.** Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Depto. de Física – CCET. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbecimat/2000/Docs/TC102-018.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2023;

[17] ALVES, A. L.; FERREIRA, A. A.; ZANFOLIM, A. A.; SARAIVA, E. S.; SALVETTI, A. R. **Caracterização térmica da argila de Angélica/MS.** Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul – UEMS. 2004. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/2004/artigos/48cbc-2-12.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2023;

[18] Almeida, S. de, Crespi, M. S., Lima, E. N., & Schalch, V. (2008). **DETERMINAÇÃO POR TERMOGRAVIMETRIA (TG) DA MATÉRIA ORGÂNICA PRESENTE EM AMOSTRA DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO DE ATERRO SANITÁRIO: O CASO DE SÃO CARLOS.** Holos Environment, 8(1), 88–99. <https://doi.org/10.14295/holos.v8i1.2542>. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/2542>. Acesso em: 21 de maio de 2023;

[19] ROCHA, R. A. **Efeito da alta temperatura em concretos: uma revisão da literatura.** INTER SCIENTIA, Vol. 6, Nº 1, 2018. Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/view/726>. Acesso em: 21 de maio de 2023;

[20] RESENDE, Domingos Sávio de. **Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar**. 2013. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/4411>;

[21] GOMES-BAREA, A.; VILCHES, L.; CAMPOY, M.; FERNANDEZ-PEREIRA, C. **Plant optimization and ash recycling in fluidised waste gasification**. Chem. Eng. J. 2009, 146, 227–236. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.05.039>.

[22] Cojiba Supermercados Ofertas. **Amido De Milho Siamar 500g**. COJIBA SUPERMERCADOS. 2023. Disponível em: < <https://www.cojiba.com.br/amido-de-milho-siamar-500g/p>.

[23] Xiamen Lith Machine Limited. **Forno De Mufla De Laboratório 1200 ° C Com Elementos De Aquecimento De Kanthal (Suécia)**. Disponível em https://pt.lithmachine.com/lab-1200-c-muffle-furnace-w-kanthal-sweden-heating-elements_p123.html.