



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
Campus Experimental de Rosana

**EMANOEL ZINZA JUNIOR**

**COMPARAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA IN  
NATURA NA GERAÇÃO DE ENERGIA EM UMA  
TERMELÉTRICA DE 66 MW**

Rosana-SP

2021

**EMANOEL ZINZA JUNIOR**

**COMPARAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA IN  
NATURA NA GERAÇÃO DE ENERGIA EM UMA  
TERMELETRICA DE 66 MW**

Trabalho de Conclusão De Curso  
apresentado à Coordenadoria de Curso  
de Engenharia de Energia do Campus  
Experimental de Rosana, Universidade  
Estadual Paulista, como parte dos  
requisitos para obtenção do diploma de  
Graduação em Engenharia de Energia.

Orientador(a): Dr. Andrea Cressoni De  
Conti

Coorientador(a): Dr. Eduardo Verri  
Liberado

Rosana-SP

2021

Z79c Zinza Junior, Emanuel  
Comparação da utilização de biomassa in natura na geração de energia em uma termelétrica de 66 MW / Emanuel Zinza Junior. -- Rosana, 2022  
34 p. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso ( - ) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana  
Orientadora: Andrea Cressoni De Conti  
Coorientador: Eduardo Verri Liberato

1. Bioenergia. 2. Biochar. 3. Briquete. 4. Densificação. 5. RETScreen Expert. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

## Agradecimentos

Agradeço,

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e aos meus pais Manoel Ribeiro Zinza e Roseneide Da Silva Miranda por sempre me apoiarem nas minhas escolhas, me oferecendo apoio nos momentos mais difíceis e por permitir através de todos seus esforços, que fosse possível chegar ao final desta graduação.

A todos meus familiares que me apoiaram e se orgulhavam sempre que se referiam a mim.

A todos amigos que conheci ao longo desta jornada e em especial aqueles que compartilharam momentos únicos e inesquecíveis em nossa republica Toca Do Coyote a qual tive o prazer de ser um membro fundador.

A minha orientadora Dr. Andrea Cressoni De Conti que me deu a oportunidade de realizar o projeto de pesquisa e sempre acreditou no trabalho desenvolvido, onde tivemos felicidade de publicá-lo como capítulo do livro Agenda da sustentabilidade no Brasil: Conhecimentos teóricos, metodológicos e empíricos.

Ao coorientador professor Dr. Eduardo Verri Liberado que aceitou em fazer parte do desenvolvimento do trabalho e auxiliou na utilização do software RETScreen Expert.

Aos professores Dr. José Francisco Rezende e Dr. Eduardo Verri Liberado e ao Eng. De Energia Marcos Paulo Granada que aceitaram o convite para compor a banca avaliadora.

A todos professores que compartilharam seus conhecimentos no decorrer das disciplinas.

**Se A é o sucesso, então A é igual a X mais Y mais Z. O trabalho é X; Y é o lazer; e Z é manter a boca fechada.**

**Albert Einstein**

## Resumo

A matriz energética mundial está se remodelando, passando a ter uma participação cada vez maior das fontes renováveis, sendo a biomassa considerada a terceira maior fonte de energia do mundo. O trabalho tem por objetivo a confecção dos briquetes 100% de capim jaraguá e da blenda capim/carvão e analisar os resíduos in natura para a produção de energia elétrica em uma usina termelétrica de 66 MW. Uma mistura de 75% capim jaraguá e 25% de finos de carvão foi feita obtendo-se um poder calorífico superior de 21023J/g. Com uma prensa hidráulica efetuou-se a briquetagem das amostras a uma pressão de 15.000 kg/cm<sup>3</sup> durante um minuto. Por meio da análise química imediata realizada em triplicata, observou-se que a blenda apresentou 10,3% de teor de cinzas e 42,7% de teor de voláteis, resultando em 47% de carbono fixo. No teste de durabilidade obteve-se uma durabilidade de 13% para a blenda e para o briquete de capim jaraguá de 93% de durabilidade. A partir da definição de um modelo matemático de uma usina termoelétrica e análise comparativa entre as biomassas in natura como combustíveis comprovou-se que é viável a utilização de blendas para a geração termelétrica, pois se reduz a quantidade de biomassa utilizada, além de suprir os efeitos negativos da sazonalidade durante o ano com a utilização de resíduos de características elementares semelhantes.

**Palavras-chave:** Bioenergia, Densificação, Biochar, Briquete.

## **Abstract**

The global energy matrix is being remodeled, with an increasing share of renewable sources, with biomass being considered the third largest source of energy in the world. The work aims to manufacture 100% jaraguá grass briquettes and the grass/charcoal blend and analyze the in natura residues for the production of electricity in a 66 MW thermoelectric power plant. A mixture of 75% jaraguá grass and 25% charcoal fines was made, obtaining a higher calorific value of 21023J/g. With a hydraulic press, the samples were briquetted at a pressure of 15,000 kg/cm<sup>3</sup> for one minute. Through the immediate chemical analysis performed in triplicate, it was observed that the blend had 10.3% of ash content and 42.7% of volatile content, resulting in 47% fixed carbon. In the durability test, a durability of 13% was obtained for the blend and for the jaraguá grass briquette of 93% durability. From the definition of a mathematical model of a thermoelectric power plant and a comparative analysis between in natura biomass as fuels, it was proved that the use of blends for thermoelectric generation is viable, as the amount of biomass used is reduced, in addition to supplying the negative effects of seasonality during the year with the use of residues with similar elementary characteristics.

**Keywords:** Bio-Energy, Densification, Biochar, Briquette.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Matriz energética brasileira.....	13
<b>Figura 2</b> – Matriz elétrica brasileira.....	14
<b>Figura 3</b> – Metodologia adotada nas etapas de caracterização e confecção dos briquetes.....	14
<b>Figura 4</b> – Modelo da usina termoelétrica.....	18
<b>Figura 5</b> – Expansão volumétrica dos briquetes produzidos a partir da blenda de 75%.....	20
<b>Figura 6</b> – Gráfico consumo anual de biomassa em kg para geração de energia elétrica.....	22
<b>Figura 7</b> – Gráfico milhões de dólares gastos em biomassa ao longo de um ano.....	23



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
2.1 FINOS DE CARVÃO VEGETAL .....	12
2.2 DENSIFICAÇÃO ENERGÉTICA .....	12
2.3 MATRIZ ENERGÉTICA E MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA .....	12
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	14
3.1 FABRICAÇÃO DOS BRIQUETES .....	14
3.2 PREPARO DO MATERIAL .....	14
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL .....	15
3.4 PROCESSO DE BRIQUETAGEM .....	16
3.5 TESTE DE DURABILIDADE .....	17
3.6 MODELAGEM DA USINA TERMOELÉTRICA .....	18
<b>4 RESULTADO E DISCUSSÃO</b> .....	20
4.1 EXPANSÃO VOLUMÉTRICA .....	20
4.2 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA .....	21
4.3 TESTE DE DURABILIDADE .....	22
4.4 ANÁLISE COMPARATIVA DA QUANTIDADE DE COMBUSTÍVEL UTILIZADA NA USINA TERMOELÉTRICA .....	22
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	24
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	25
<b>ANEXO A</b> .....	29
<b>ANEXO B</b> .....	34

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo para Goldemberg et al. (2007) e Bilgili et al. (2017) o desenvolvimento econômico de um país está fortemente ligado com o consumo de energia pois significa uma industrialização desse país. Após a revolução industrial a economia mundial passou a basear-se, principalmente, nas matrizes energéticas fósseis, tais como óleo e carvão (Massola et al. 2017), que causam emissões de poluentes e gases estufas, causando assim impactos como mudanças climáticas e aquecimento global (Silva, et al, 2015). Assim, o repensar em fontes alternativas de energia fez-se necessário e o uso de energias renováveis cresceu nos últimos anos (Wilhelm et al, 2016).

De acordo com Goldemberg et al. (2007), em 2003 as energias renováveis representavam cerca de 41,3% do consumo total energia no brasil enquanto que no mundo esse consumo era de apenas 14,4%. De acordo com Wilhelm et al. (2016), a bioenergia, que inclui a biomassa tradicional, florestas, resíduos agrícolas, biomassa moderna e biocombustíveis, apresentou-se como a maior fonte de energia renovável com 14% dos 18% da mistura de energia renováveis e sendo 10% do fornecimento global de energia. Um outro aspecto importante é que o uso de bioenergia ajuda na redução de CO<sub>2</sub> como mostram Goldemberg et al. (2007), Massola et al. (2017), Srivastava et al. (2014) e seu uso acontece principalmente nos países em desenvolvimento segundo Okudoh et al. (2014), Ngusale et al. (2014).

A densificação energética consiste na compactação da matéria prima, a fim de obter uma maior densidade, medida em kg/m<sup>3</sup>, uma maior densidade energética, medida em kcal/m<sup>3</sup>, quando comparado com a matéria prima inicial. Esse processo tecnológico é utilizado principalmente para materiais de baixa densidade, como resíduos agrícolas e agroindustriais, como é o caso da serragem e cavacos de madeira, casca de arroz e bagaço de cana, pois economicamente o transporte desse material a longas distâncias e seu armazenamento sem a densificação fica inviável Massola et al. (2017), Brand et al. (2010), Cortez et al. (2008), ALVARENGA et al. (2018). Os dois tipos mais comuns de densificação energética são os pellets e briquettes. Os pellets possuem uma alta densidade e são formados pelo processo de extrusão, tendo um tamanho cilíndrico de 38 mm e um diâmetro de 7mm. Os briquetes diferem do pellet pelo tamanho mantendo o formato cilíndrico também, mas com diâmetro de 25 mm ou maior, sendo formado quando a biomassa é pressionada por um pistão sob alta pressão (Clarke et al, 2011). Para que seja

feita uma boa densificação energética é necessário fazer a caracterização do material, no caso a biomassa, que será utilizado. Essa caracterização da biomassa, baseia-se principalmente nas seguintes análises: composição química elementar, composição química imediata, poder calorífico, resistência mecânica e teste de durabilidade. Assim, mantendo-se as condições apropriadas de umidade e granulometria, a densificação energética proporciona uma maior quantidade de energia em menor volume tornando o briquete e/ou pellet um combustível de maior poder calorífico concentrando elevado teor de carbono fixo, menor teor de materiais voláteis, uniformidade no tamanho, além de menor relação oxigênio/combustível.

Atualmente o conceito de indústria 4.0 cresce de forma exponencial dentre as indústrias nacionais, levando a maior eficiência em todos os processos. De acordo com Nascimento et al. (2011) e Defilippi Filho et al. (2013) as usinas conhecidas antigamente como sucroalcooleiras e hoje reconhecidas como sucroenergéticas são um forte exemplo de implantação e aprimoramento deste conceito, passando de uma simples produtora de açúcar e etanol para uma indústria autossuficiente e referência na cogeração, através do subproduto da cana de açúcar matéria prima principal.

Para Santos et al. (2018) e Pinheiro et al. (2019), a biomassa agrícola e diversos resíduos estão sendo pesquisados e utilizados em sua forma in natura ou após a aplicação da densificação, no intuito de abastecer micro centrais termelétricas. De acordo com Caliari et al. (2019) o Brasil é reconhecido mundialmente como gigante exportador de commodities e carne, abastecendo mais de 180 países e isso se dá devido ao vasto território nacional, fornecendo diversos subprodutos em larga escala.

Para Remor et al. (2017) e Gonçalves et al. (2017) tem-se intensificado a utilização de softwares em simulações de geração de energia elétrica a partir de resíduos agrícolas. Por meio das características físico-químicas é possível identificar como esses resíduos se comportam durante a combustão e o quanto de matéria-prima é necessário para gerar a quantidade desejada de energia, e nesse sentido tais simulações se aproximam ao máximo do processo real.

O presente trabalho visa realizar a comparação das biomassa in natura bagaço de cana, capim elefante, capim jaraguá e finos de carvão tanto para a produção de briquetes como também seu uso in natura para geração de energia elétrica, considerando um modelo de usina termelétrica com capacidade instalada de 66 MW.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 FINOS DE CARVÃO VEGETAL**

O carvão vegetal é obtido através da pirólise da madeira, sendo um dos resíduos mais utilizados pelas siderúrgicas. De acordo com Crestana (2009) crescem os plantios de eucalipto para a produção deste, já que geram um produto de alta qualidade. De acordo com Pereira (2009) e Oliveira (2013) devido à sua fragilidade, o carvão vegetal possui capacidade de se fragmentar em pequenos pedaços durante a produção, transporte e seu manuseio, gerando em torno de 25% de finos, os quais são descartados. De acordo com Martins et al. (2016) diferente de países desenvolvidos, o Brasil utiliza em larga escala o carvão no setor industrial, boa parte da totalidade voltada ao setor siderúrgico. Há uma necessidade imediata na reutilização e recuperação desses finos, uma forma de tornar o processo mais eficiente e reduzir o descarte impróprio deste, além de possuir elevado potencial energético.

### **2.2 DENSIFICAÇÃO ENERGÉTICA**

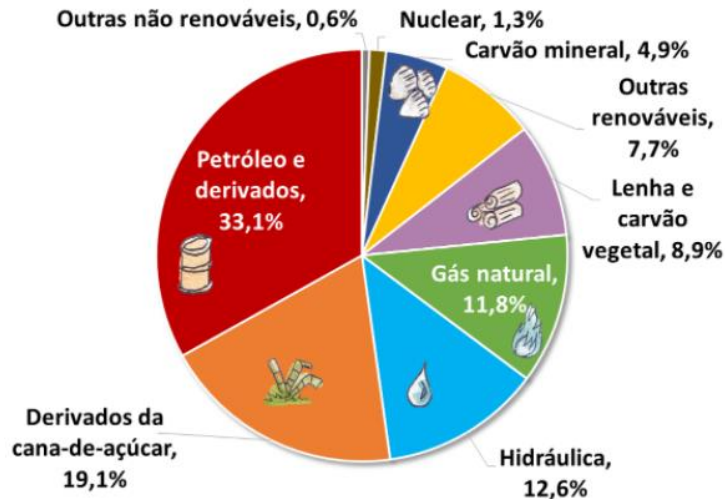
As indústrias estão em transformações, onde o principal interesse é pela eficiência energética da planta industrial como um todo. Segundo Tavares e Tavares et al. (2015) a densificação pelo processo de briquetagem é utilizado para concentrar uma maior quantidade de resíduo em um menor volume, reduzindo a umidade e permitindo uma uniformidade para transporte. De acordo com Dias et al. (2012) como o país é um dos maiores produtores agrícolas e florestais do mundo, a quantidade de biomassa residual representa uma enorme quantidade de energia, o aproveitamento mais eficiente de todos os resíduos acontece quando aplicado o processo de densificação.

### **2.3 MATRIZ ENERGÉTICA E MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA**

De acordo com a EPE (Empresa De Pesquisa Energética) a matriz energética brasileira é extremamente diferente da matriz energética mundial. Apesar do consumo de energia de fontes não renováveis ser superior ao consumo de fontes renováveis, utilizamos mais fontes renováveis quando comparado ao resto do mundo. Ao analisar a

figura 1 e somarmos lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis, nossas renováveis totalizam 48,3%, quase metade da nossa matriz energética.

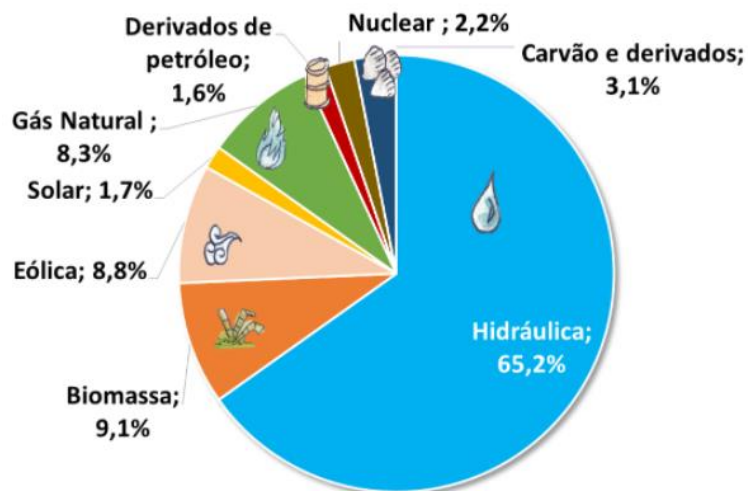
**Figura 1-** Matriz energética brasileira 2020 (BEM, 2021)



Fonte: EPE, (2021).

De acordo com EPE (Empresa De Pesquisa Energética) a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica em um país. A matriz elétrica brasileira é ainda mais renovável do que a energética, isso porque grande parte da energia elétrica gerada no Brasil vem de usinas hidrelétricas. Por meio da figura 2 vemos a participação das fontes de energia eólica e biomassa, contribuindo para que a nossa matriz elétrica continue sendo, em sua maior parte, renovável.

**Figura 2-** Matriz elétrica brasileira 2020 (BEM, 2021)



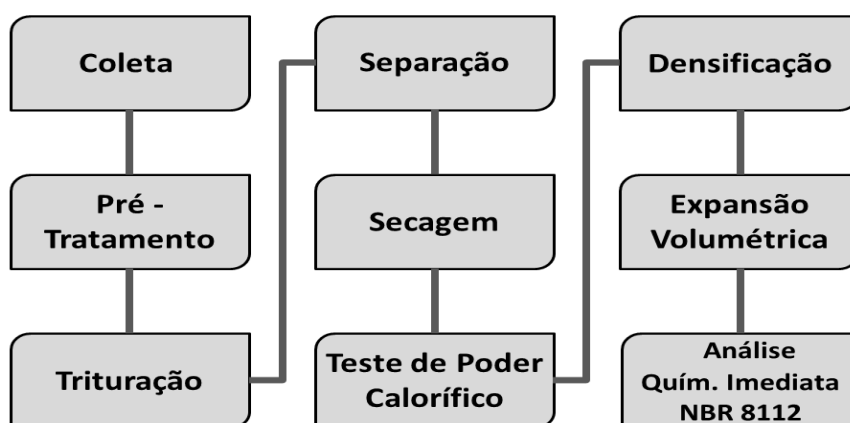
Fonte: EPE, (2021).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 FABRICAÇÃO DOS BRIQUETES

A metodologia adotada na caracterização e confecção dos briquetes é representada pela figura (3).

**Figura 3-** Metodologia adotada nas etapas de caracterização e confecção dos briquetes



Fonte: Autoria própria, (2020).

#### 3.2 PREPARO DO MATERIAL

Foram coletados cerca de 5 kg de capim jaraguá em lavouras na região de Aurifloma-SP, assim como foram coletados cerca de 6 kg de finos de carvão eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*), cedidos pela empresa Carvão Vegetal Vila Aurea situada na cidade de Aurifloma-SP.

Realizou-se o pré-tratamento do capim Jaraguá, que compreendeu a secagem em uma estufa à 105°C ( $\pm 0,5$ ) até atingir um teor de umidade em torno de 10% a 12%. Em seguida a trituração por meio de um moinho de facas, para, em seguida, ser armazenada em sacos plásticos e encaminhada para as análises. O material utilizado para a produção dos briquetes não teve separação de granulometrias através de peneiras, porém ao realizar-se a análise química imediata, foi necessário realizar a separação do material na granulometria de 60 mesh (0,250 mm), como estabelece a norma utilizada ABNT NBR 8112/86.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

A análise química imediata foi realizada em triplicata. Para determinação do teor de voláteis, utilizou-se aproximadamente 1,0 g de amostra seca. Cada amostra foi acondicionada em um cadinho de porcelana previamente pesado e tarado, o qual foi tampado e conduzido a uma mufla à temperatura de 900 ( $\pm 10$  °C), em que permaneceu por 3 min sobre a porta aberta, por 3 min no interior da mufla com a porta aberta e por 7 min no seu interior com a porta fechada. O teor de materiais voláteis é a fração da biomassa que gaseifica em temperatura elevada. O cálculo do teor de matérias voláteis pode ser dado pela equação (1).

$$MV = \frac{m_2 - m_3}{m} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

MV = teor de matérias voláteis, em %;

m<sub>2</sub> = massa inicial do cadinho + amostra, em g;

m<sub>3</sub> = massa final do cadinho + amostra, em g;

m = massa da amostra, em g;

Em síntese, o teor de umidade é obtido através da razão entre a quantidade de água da amostra e a massa inicial da amostra. Os teores seguintes são obtidos em base seca (bs), ou seja, sem umidade. O cálculo do teor de umidade pode ser dado pela equação (2).

$$TU = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

TU = teor de umidade, em %;

m<sub>0</sub> = massa inicial da amostra, em g;

m<sub>1</sub> = massa final da amostra, em g;

Para a análise do teor de cinzas, pesou-se aproximadamente 1,0 g de material seco em um cadinho de porcelana. Cinzas são o que resta do material após ser submetido à alta temperatura (700°C) por cerca de 5h. Após esse intervalo, o cadinho foi colocado e mantido em dessecador até atingir a temperatura ambiente, aferindo-se a massa final. O

teor de cinzas foi determinado pelo cálculo da massa residual pós-aquecimento, em porcentagem dado pela equação (3).

$$CZ = \frac{m1-m0}{m} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

CZ = Teor de cinza, em %;

m1 = massa do cadinho + cinzas, em g;

m0 = massa do cadinho, em g;

m = massa da amostra, em g;

Por fim, o teor de carbono fixo foi calculado subtraindo-se da totalidade (100%) a soma dos teores de voláteis e de cinzas das amostras, dado pela equação (4).

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad (4)$$

Onde:

CF = teor de carbono fixo, em %;

CZ = teor de cinza, em %;

MV = teor de matérias voláteis, em %;

O poder calorífico é a relação entre a quantidade de calor liberada por um material e o volume desse material. Tal teste foi realizado em bomba calorimétrica localizado no laboratório de biomassa e bioenergia da UFSCAR- Campus de Sorocaba, seguindo a norma ASTM-D2015-96. Com os resultados destes testes, pode-se avaliar a qualidade do material e compará-lo com outros materiais, a fim de determinar se trata de um combustível propício para a aplicação desejada.

### 3.4 PROCESSO DE BRIQUETAGEM

Colocou-se cerca de 20g da biomassa no molde metálico cilíndrico para, em seguida, este através de uma prensa hidráulica ser submetido à pressão de 15 toneladas por aproximadamente um minuto. Foram confeccionados 15 briquetes de capim Jaraguá e 15 briquetes da blenda, sendo 75% capim jaraguá e 25% finos de carvão, tal proporção



foi escolhida para que se tenha a formação dos briquetes, suas dimensões foram medidas nos intervalos de um, três, cinco, sete, 12, 24, 48 e 72 horas após a compactação, dessa forma pode-se conhecer a taxa de expansão volumétrica ( $cm^3$ ) dos briquetes através do tempo (horas).

### 3.5 TESTE DE DURABILIDADE

Realizou-se o teste de durabilidade de acordo com a CEN/TS 15210-2, o processo consiste em colocar 100g de briquetes há uma rotação de 21 ( $\pm 0,1$ ) rpm, até atingir 105 rotações. Os resultados foram obtidos através da equação (5).

$$DU = \frac{ma}{me} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

DU = Durabilidade, em %;

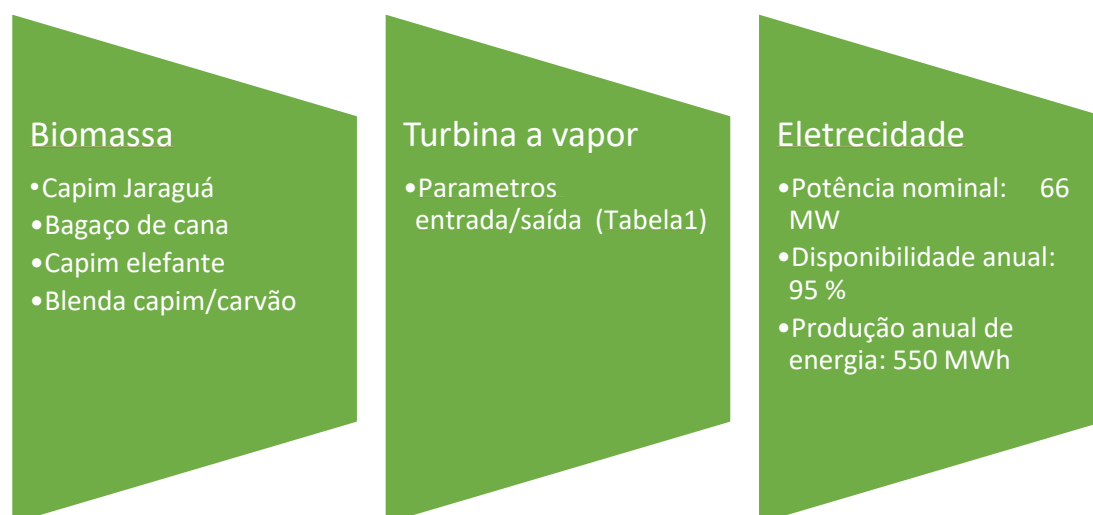
me = massa dos briquetes antes do teste, em g;

ma = massa dos briquetes após o teste, em g;

### 3.6 MODELAGEM DA USINA TERMOELÉTRICA

O modelo de usina termoeletrica adotado neste trabalho é ilustrado na figura 4.

**Figura 4** – Modelo da usina termoeletrica



Fonte: Autoria própria, (2021).

Como combustíveis para geração de energia térmica foram analisados separadamente o capim jaraguá, o bagaço de cana, o capim elefante e a blenda de capim e carvão. Já os parâmetros do modelo de turbina a vapor foram obtidos a partir do software RETScreen Expert, e são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Parâmetros da turbina a vapor.

Fluxo de vapor ( $Q_S$ )		249,5 t/h	
<b>Pressão de operação</b>	6306,6 kPa	<b>Pressão de saída</b>	10,16 kPa
<b>Temperatura de saturação</b>	279 °C	<b>Temperatura de saída</b>	46,1 °C
<b>Temperatura de superaquecimento</b>	510 °C	<b>Rendimento (<math>\eta_T</math>)</b>	75 %
<b>Entalpia de entrada (<math>h_i</math>)</b>	3468 kJ/kg	<b>Entalpia de saída (<math>h_o</math>)</b>	2194 kJ/kg
<b>Entropia</b>	6,9 kJ/kg/K	<b>Taxa real de produção de vapor</b>	3,8 kg/kWh

Fonte: Autoria própria, (2021).

Com base nos valores de fluxo de vapor ( $Q_S$ ), entalpias de entrada ( $h_i$ ) e saída ( $h_o$ ) da turbina e rendimento ( $\eta_T$ ) da Tabela 1, a potência elétrica nominal ( $P_{el}$ ) da usina (66 MW) é calculada utilizando a equação (6):

$$P_{el} = \eta_T Q_S (h_i - h_o) \quad (6)$$

Considerando um fator de disponibilidade anual para a usina igual a 95% (8322 h), a estimativa anual de geração de energia elétrica é calculada por:

$$E_{el} = 8322 \cdot P_{el} \quad (7)$$

Já a quantidade de biomassa necessária para gerar a energia elétrica estimada é função da taxa de conversão de calor em energia elétrica (heat rate, HR) da usina e do poder calorífico superior (PCS) da biomassa, conforme expresso na equação (8):

$$m_F = \frac{HR}{PCS} \cdot E_{el} \quad (8)$$

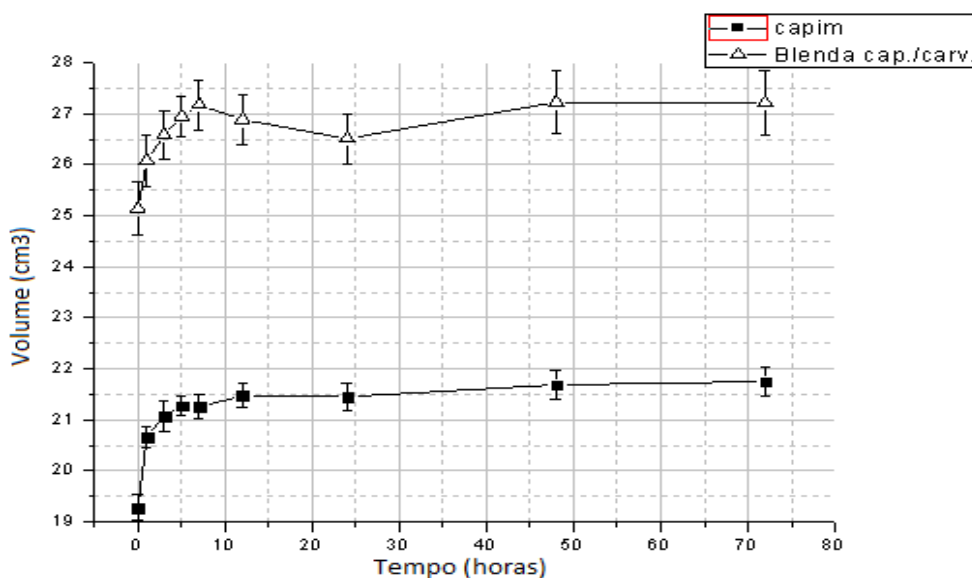
Para a usina modelada neste trabalho,  $HR = 17995$  kJ/kWh, e os valores de PCS de cada biomassa são apresentados na seção a seguir.

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 EXPANSÃO VOLUMÉTRICA

Os dados da expansão volumétrica encontram-se na figura 1, onde trata-se de um gráfico de volume por tempo dos briquetes produzidos de capim jaraguá e da blenda. Percebe-se que os briquetes produzidos a partir da blenda sofreram um desvio após 24 horas, esse fato ocorreu por conta dos finos de carvão começarem a se esfarelar com o manuseio e pela blenda absorver umidade do ambiente durante sua expansão. Já os briquetes de capim jaraguá tem uma expansão contínua ao longo do prazo de 72 horas, não apresentando grande desvio mesmo absorvendo umidade do ambiente, demonstrando tendência de estabilizar sua expansão após 24 horas. Observou-se uma expansão de 11% para os briquetes de capim e 8% para os briquetes produzidos a partir da blenda.

**Figura 5** - Expansão volumétrica dos briquetes produzidos a partir da blenda de 75% capim jaraguá e 25% finos de carvão e 100% capim jaraguá.



Fonte: Autoria própria, (2020).

## 4.2 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA

Na tabela 2 encontram-se o teor de cinzas (CZ), teor de materiais voláteis (MV), teor de carbono fixo (CF) e o poder calorífico superior (PCS) obtidos para caracterização dos resíduos elaborados nesse trabalho. São apresentados também os dados dos resíduos analisados por Nakashima et al. (2017) e Santos et al. (2018), para comparação. Verifica-se que a blenda de capim jaraguá e carvão, mesmo tendo um elevado teor de cinzas esse material possui uma quantidade elevada de carbono fixo o qual o torna um combustível com maior tempo de queima, ocasionando em uma redução do consumo de briquetes e ao ser comparado com a literatura, essa blenda apresenta alto teor de carbono fixo. Isso se deve a utilização dos finos de carvão na mistura.

Em relação aos voláteis há uma diminuição do mesmo ao ser comparado com o capim jaraguá, e um aumento em relação aos finos de carvão, em relação a literatura, observa-se que o teor de voláteis da blenda capim jaraguá e finos de carvão é menor. Essa diminuição do teor de voláteis faz com que a ignição do material seja menor, mostrando que pode haver uma lentidão para esse material ter uma ignição Brand et al. (2010).

**Tabela 2** – Análise química imediata e poder calorífico superior da blenda de 75% capim Jaraguá e 25% finos de carvão.

<b>Resíduos</b>	<b>CZ (%)</b>	<b>MV (%)</b>	<b>CF (%)</b>	<b>PCS (MJ/kg)</b>
<b>Neste trabalho</b>				
Capim Jaraguá	6,81 ± 0,40	78,44 ± 0,52	14,75 ± 0,53	17,28
Finos de carvão	13,85 ± 1,37	25,60 ± 30,67	60,55 ± 21,66	23,86
Blenda capim Jaraguá/ finos de carvão	10,30 ± 0,04	42,69 ± 13,37	47,01 ± 13,61	21,02
<b>Nakashima</b>				
Capim elefante	3,80	78,98	17,22	17,20
Bagaço de cana-de-açúcar	1,42	80,69	17,89	18,54
<b>Santos et al. (2018)</b>				
Capim Braquiária	6,63	73,45	19,92	17,74

Fonte: Autoria própria, (2021).

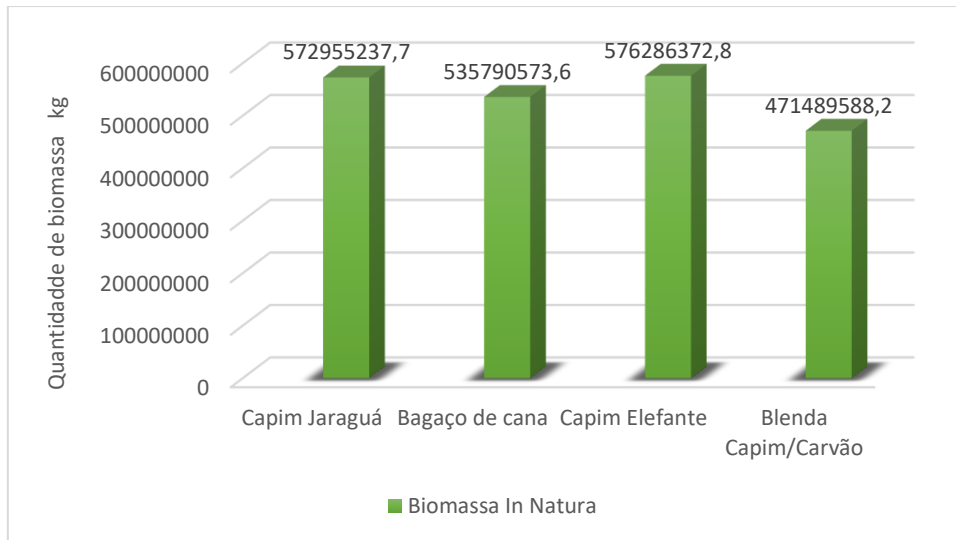
#### 4.3 TESTE DE DURABILIDADE

A durabilidade de um briquete, está ligado ao seu transporte e manuseio, de modo que verifica o quanto esse combustível sólido está bem formado. Segundo Garcia et al. (2010), pellets de madeira produzidos no Brasil através do método descrito pela norma CEN/TS 15210-2 apresentam alta durabilidade mecânica com medida superior a 80%. No teste de durabilidade dos briquetes aqui confeccionados, obteve-se uma durabilidade de 13% para a blenda Capim jaraguá com finos de carvão e 93% para o briquete de capim jaraguá, sendo que os briquetes de finos de carvão não conseguiram formar. Dessa forma pode-se afirmar que utilização de capim jaraguá na blenda age como ligante, permitindo com que os finos formem briquetes. Mais estudos devem ser conduzidos para verificar qual a porcentagem de capim Jaraguá deve ser colocado na blenda para uma melhor formação do briquete de finos de carvão.

#### 4.4 ANÁLISE COMPARATIVA DA QUANTIDADE DE COMBUSTÍVEL UTILIZADA NA USINA TERMOELÉTRICA

Considerando os valores de poder calorífico apresentados na tabela 2, as quantidades de biomassa necessária para atingir o valor de energia elétrica anual estimado na figura 4, foram calculados utilizando a equação 8, e os resultados são apresentados na figura 6. Pode-se observar dentre todos os resíduos agrícolas abordados a Blenda capim/carvão foi o que apresentou menor quantidade de biomassa utilizada ao longo do ano, resultado esperado devido seu elevado teor de carbono fixo.

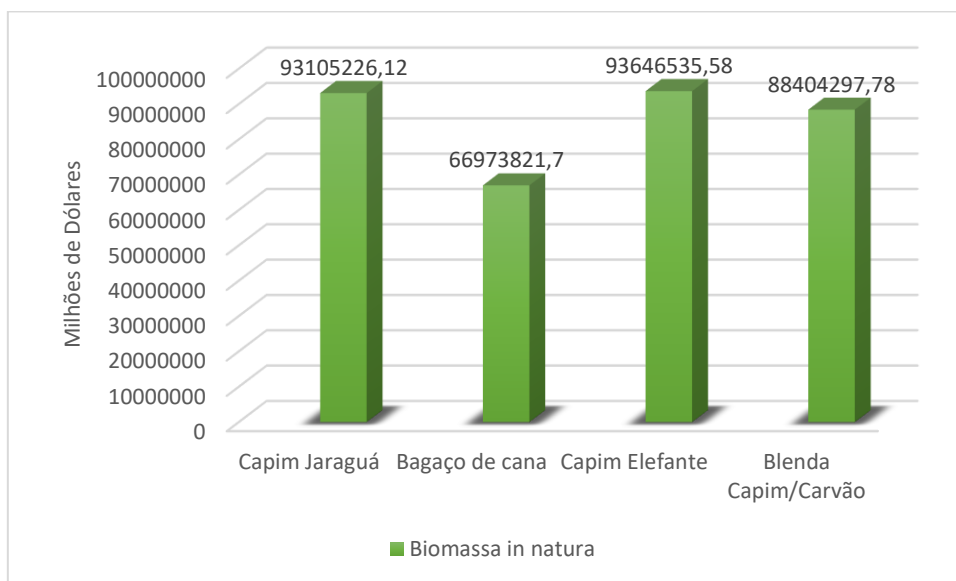
**Figura 6** – Gráfico consumo anual de biomassa em kg para geração de energia elétrica



Fonte: Autoria própria, (2021).

A figura 7 apresenta os valores (dólar americano) investidos em biomassa in natura durante um ano para o funcionamento da usina, vale ressaltar que os valores da biomassa in natura foram aproximados e esses valores podem variar devido sazonalidade ao longo do ano. Diante dessa análise temos o bagaço de cana como resíduo que apresentou menor custo de investimento ao longo do ano, porém esse combustível sofre com a sazonalidade da safra e entressafra, já a Blenda apresentou menos custo quando comparada ao capim Jaraguá e ao capim elefante.

**Figura 7** – Gráfico milhões de dólares gastos em biomassa ao longo de um ano



Fonte: Autoria própria, (2021).

## **5 CONCLUSÃO**

Através dos resultados obtidos no teste de durabilidade foi possível comprovar que o capim Jaraguá agiu como ligante, possibilitando a formação de briquetes com finos de carvão. Logo que briquetes 100% de finos de carvão não se formam. Dentre todos os resíduos analisados a blenda demonstrou-se a melhor opção para utilização na geração termelétrica nesse estudo de caso. Por meio da análise comparativa apresentada comprovou-se que é viável a utilização de blendas para a geração termelétrica, pois se reduz a quantidade de biomassa utilizada, além de suprir os efeitos negativos da sazonalidade durante o ano com a utilização de resíduos de características elementares semelhantes. Em trabalhos futuros e utilizando outra modelagem matemática espera-se realizar a análise comparativa da produção de energia elétrica entre biomassa in natura e biomassa densificada em forma de briquetes, visando a armazenagem por longos períodos e maior quantidade de resíduo estocado em menor área.



## 6 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Anarely Costa; CARDOSO, Paulo Henrique Silveira; COUTINHO, Marcos Antônio Neres; OLIVEIRA, Agda Loureiro Gonçalves; SAMPAIO, Reginaldo Arruda. PRODUÇÃO DE BIOMASSA E FITOEXTRAÇÃO DE CU E ZN PELO CAPIM-ELEFANTE CULTIVADO EM LODO DE ESGOTO PURO. Revista Engenharia na Agricultura - Reveng, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 473-482, 7 nov. 2018. Revista Engenharia na Agricultura. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v26i5.945>.

BRAND, Martha Andreia, Energia de biomassa florestal, Rio de Janeiro, Interciência, 2010.

BILGILI, Faik et al. A energia da biomassa pode ser uma ferramenta de política eficiente para o desenvolvimento. Avaliações de Energia Renovável e Sustentável, [s. l], v. 71, p. 830-845, 2017.

CALIARI, Shirley Cunha dos Santos. A EXPORTAÇÃO DE CARNE BOVINA NO BRASIL. Cimatech, [S.L.], v. 1, n. 6, p. 281-292, 4 dez. 2019. Fatec de Sao Jose dos Campos Prof. Jessen Vidal. <http://dx.doi.org/10.37619/issn2447-5378.v1i6.161.281-292>.

C. P. MASSOLA and E. MAZIERO, “Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada,” Rev. [IPT] Tecnol. e Inovação, vol. 1, no. 4, pp. 58–73, 2017.

D. A. DA SILVA, F. M. Yamaji, J. L. De Barros, A. L. Da Róz, and G. T. Nakashima, “Caracterização de biomassas para a briquetagem,” Floresta, vol. 45, no. 4, pp. 713–722, 2015.

DEFILIPPI FILHO, Luiz Cunali. ESTUDO DE VIABILIDADE DO USO DO PALHIÇO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA NA ENTRESSAFRA DE UMA USINA SUCROENERGÉTICA. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroenergia, Escola de Economia da Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas – Eesp/Fgv, São Paulo, 2013.

E. O. CORTEZ, Luis Augusto Barbosa; Eduardo Silva Lora, Gómez, Biomassa para energia. campinas, 2008.

FREITAS, Giovany Martins de. BIOMASSA, UMA FONTE DE ENERGIA. 2016. 110 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

F. BILGILI, E. KOÇAK, Ü. BULUT, and S. KUSKAYA, “Can biomass energy be an efficient policy tool for sustainable development,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 71, no. January 2016, pp. 830–845, 2017.

GARCIA, D. P. Caracterização química, física e térmica de *pallets* de madeira produzidos no Brasil. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – FEG/UNESP – Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

GONÇALVES, Diogo Jorge Pereira. Utilização de Bombas de Calor Geotérmico no Aquecimento e Climatização da Academia Militar. 2017. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão da Energia, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2017.

GOLDEMBERG E LUCON, J. Goldemberg and O. Lucon, “Energia e meio ambiente no Brasil,” *Estud.* 21, vol. 21, no. 59, pp. 7–20, 2007.

G. K. NGUSALE, Y. Luo, and J. K. Kiplagat, “Briquette making in Kenya: Nairobi and peri-urban areas,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 40, pp. 749–759, 2014.

Hans-Wilhelm, “World Energy Resources | 2016,” 2016.

SANTOS, Luis Ricardo Oliveira; PRIMIANO-FILHO, Murilo Carlos; NAKASIMA, Gabriela Tami; HANSTED, Ana Larissa Santiago; SILVA, Diego Aleixo da; ALESI, Letícia Sant'Anna; VARANDA, Luciano Donizeti; YAMAJI, Fábio Minoru. PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEL SÓLIDO A PARTIR DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR E BRAQUIÁRIA. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, Sorocaba-Sp, v. 7, n. 2, p. 266-279, 6 mar. 2018. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v7i2.58265>.

SEGUCHI, Henrique Jun Muramatsu. CUSTO DE PRODUÇÃO DO CAPIM ELEFANTE E EUCALIPTO COMPACTADO EM BRIPELLES E BRIQUETES, UTILIZANDO SECAGEM SOLAR E INDUZIDA. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 228-244, abr. 2017.

SOUZA, Frederico & Vale, Ailton. (2017). Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. *Pesquisa Florestal Brasileira*. 36. 405. 10.4336/2016.pfb.36.88.879.

S. CLARKE, P. Eng, and F. Preto, “Biomass Densification for Energy Production,” *Factsheet*, no. 11, pp. 1–8, 2011.

M. A. Brand, *Energia de Biomassa Florestal*, 1st ed. Rio de Janeiro, 2010.

NASCIMENTO, Fábio Nunes do; OLIVEIRA NETO, Odilon José de; FIGUEIREDO, Reginaldo Santana. Modelo de avaliação da viabilidade econômica da co-geração de energia no setor sucroalcooleiro utilizando bagaço de cana pela aplicação da metodologia system dynamic. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, Taubaté, Sp, v. 7, n. 1, p. 3-18, jan. 2011.

NAKASHIMA, Gabriela T. et al. Lignocellulosic Materials: Characterization and Production of Briquettes. *Revista Virtual de Química*, [s.l.], v. 9, n. 1, p.150-162, 2017.

NONES, Daniela Letícia et al. Biomassa residual agrícola e florestal na produção de compactados para geração de energia. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, [s.l.], v. 16, n. 2, p.155-164, 20 jun. 2017.

N. S. L. Srivastava, S. L. Narnaware, J. P. Makwana, S. N. Singh, and S. Vahora, “Investigating the energy use of vegetable market waste by briquetting,” *Renew. Energy*, vol. 68, pp. 270–275, 2014.

PINHEIRO, Beatriz Gabrielle de Carvalho. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTUDAR A IMPLEMENTAÇÃO DE TERMELÉTRICA A BIOMASSA NO BRASIL. 2019. 82 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade de Brasília - Unb Faculdade Unb Gama - Fga, Brasília, 2019.

REMOR, Paula Verônica. Análise de um Sistema de Aquecimento Urbano no Campus do Instituto Politécnico de Bragança. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2017.

REZENDE, Fabiana Abreu de. Biocarvão: multifuncionalidade no gerenciamento e reutilização de co-produtos agroindustriais. In: REZENDE, Fabiana Abreu de; MAIA, Claudia Maria Branco de Freitas; SANTOS, Victor Alexandre Hardt Ferreira dos; BARROS, Danieli Lazarini de. *Embrapa Agrossilvipastoril Primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável*. Brasília, Df: Embrapa Agrossilvipastoril, 2019. p. 95-103.

SILVIA, Diego A. da et al. Effect of the Particle Size on Compaction of Elephant Grass Biomass. *Revista Virtual de Química*, [s.l.], p.323-333, 2018.

V. Okudoh, C. Trois, T. Workneh, and S. Schmidt, “The potential of cassava biomass and applicable technologies for sustainable biogas production in South Africa : A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 39, pp. 1035–1052, 2014.

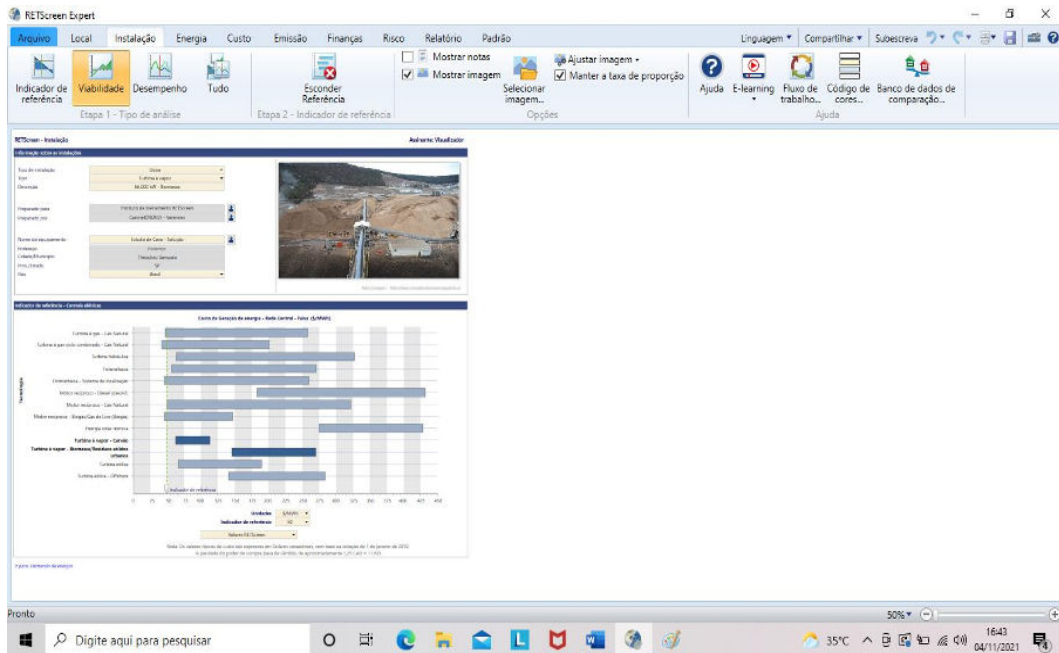
Associação brasileira de normas técnicas. Título: *NBR 8112: carvão vegetal: análise imediata: método de ensaio*. Ano de publicação: 1986.

Solid biofuels – methods for the determination of mechanical durability of pellets and briquettes – Part 2: Briquettes *CEN/TS 15210-2*: 2005.

ASTM D2015-96. Standard test method for gross caloric value of coal and coke by the adiabatic bomb calorimeter; 1996.

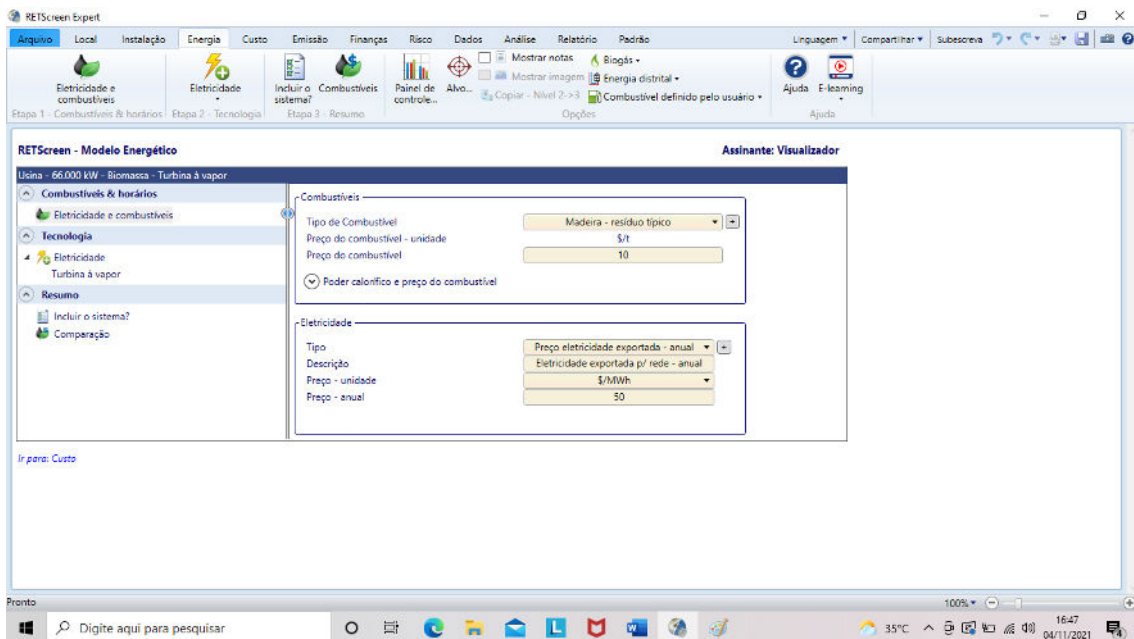
# ANEXO A

## Anexo 1A – Estudo de caso escolhido

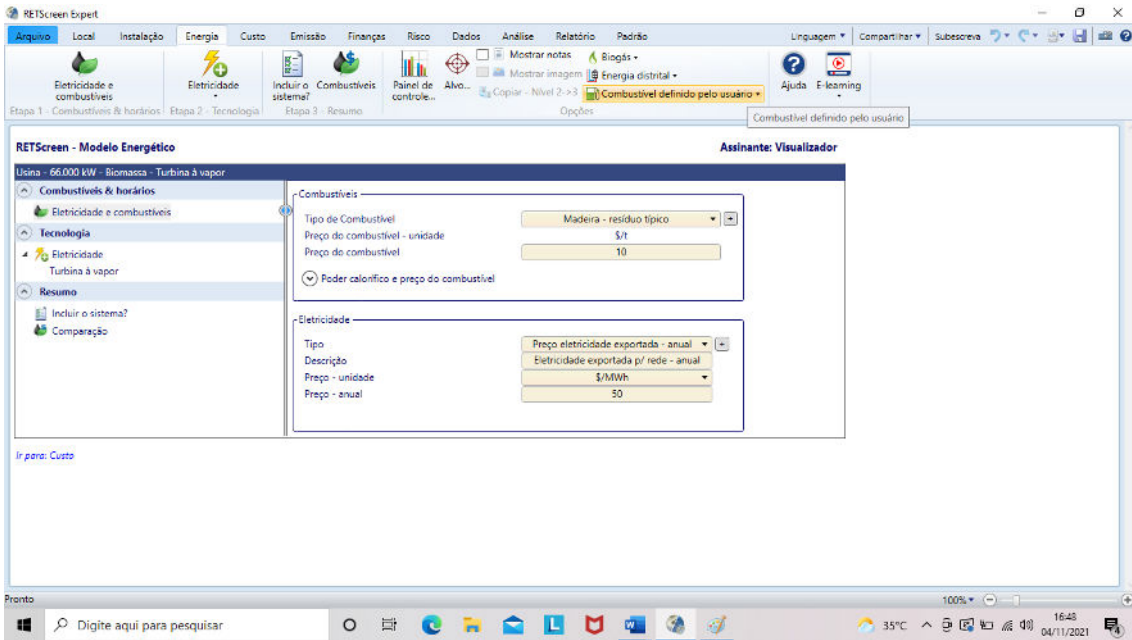


Fonte: RETScreen Expert.

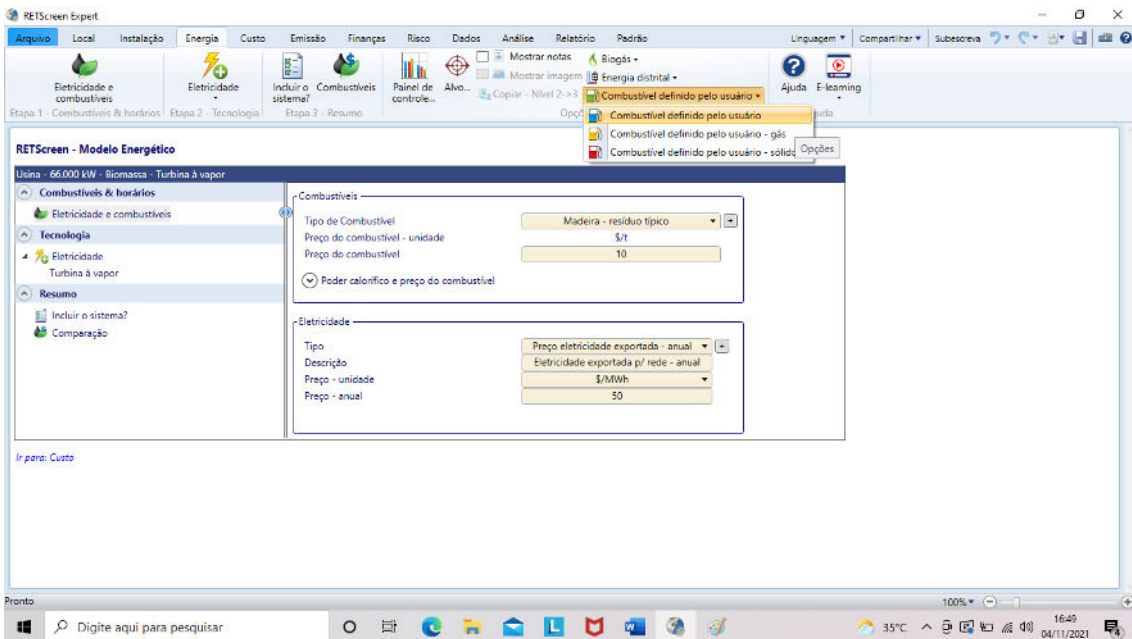
## Anexo 2A – Definição dos combustíveis



Fonte: RETScreen Expert.

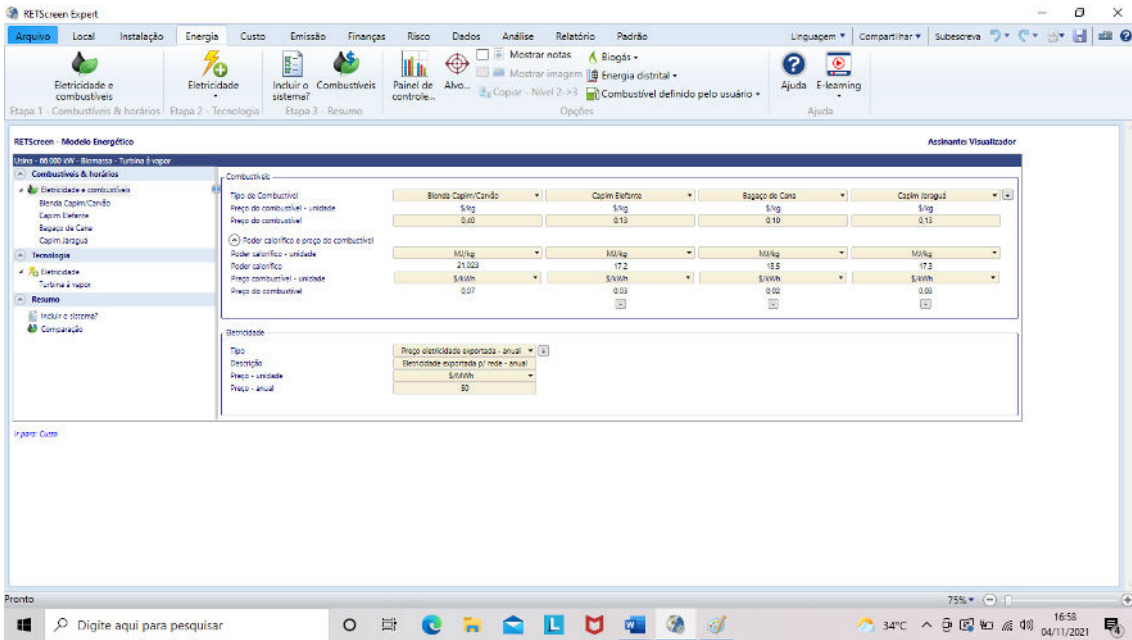


Fonte: RETScreen Expert.



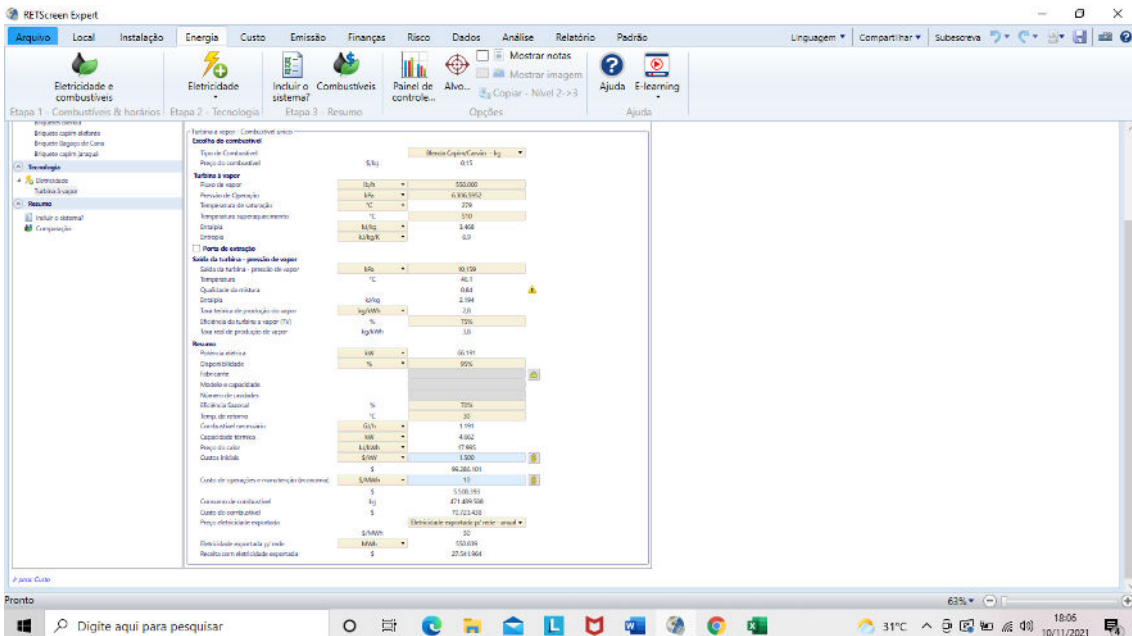
Fonte: RETScreen Expert.

### Anexo 3A – Definição dos resíduos e entrada do PCS



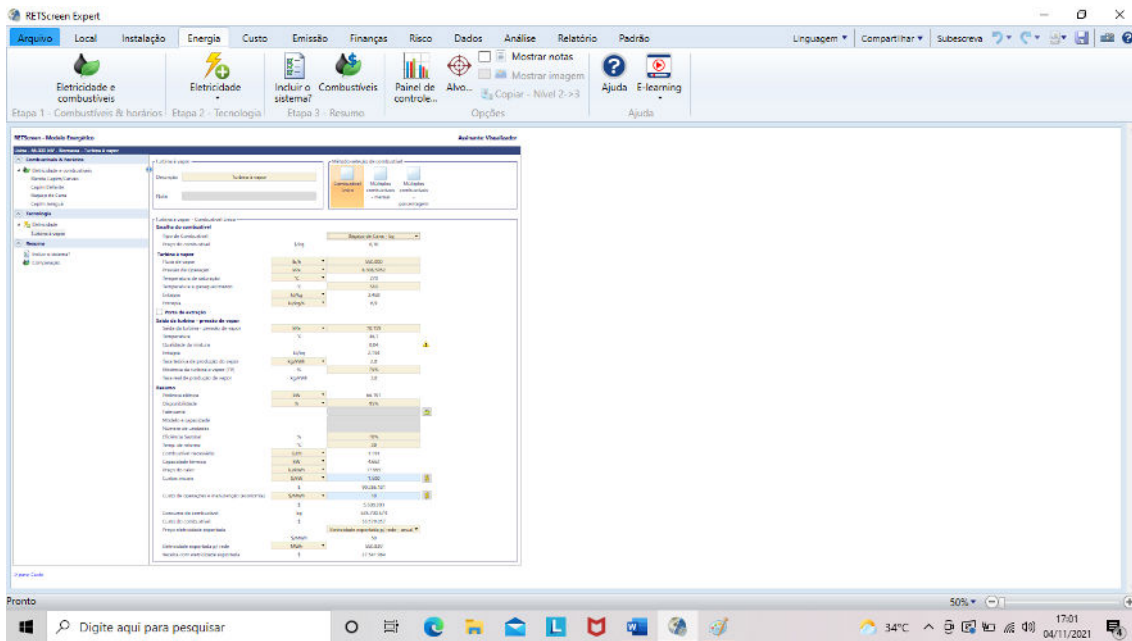
Fonte: RETScreen Expert.

### Anexo 4A– Funcionamento da usina termoeétrica com Blenda Capim/Carvão como resíduo



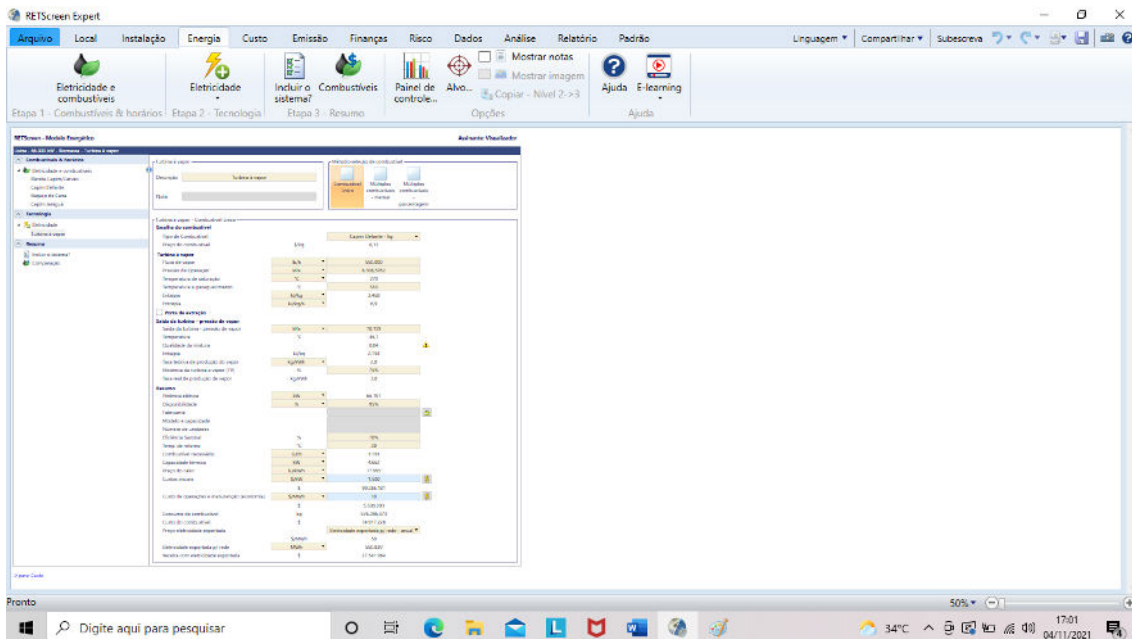
Fonte: RETScreen Expert.

## Anexo 5A – Funcionamento da usina termoeétrica com bagaço de cana como resíduo



Fonte: RETScreen Expert.

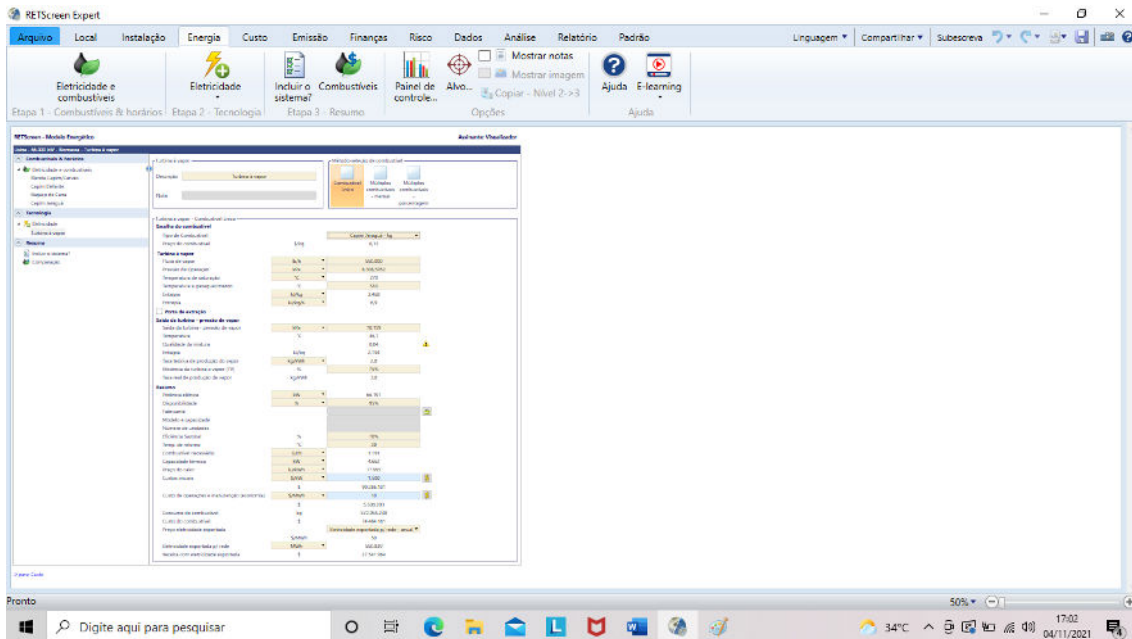
## Anexo 6 – Funcionamento da usina termoeétrica com capim elefante como resíduo



Fonte: RETScreen Expert.

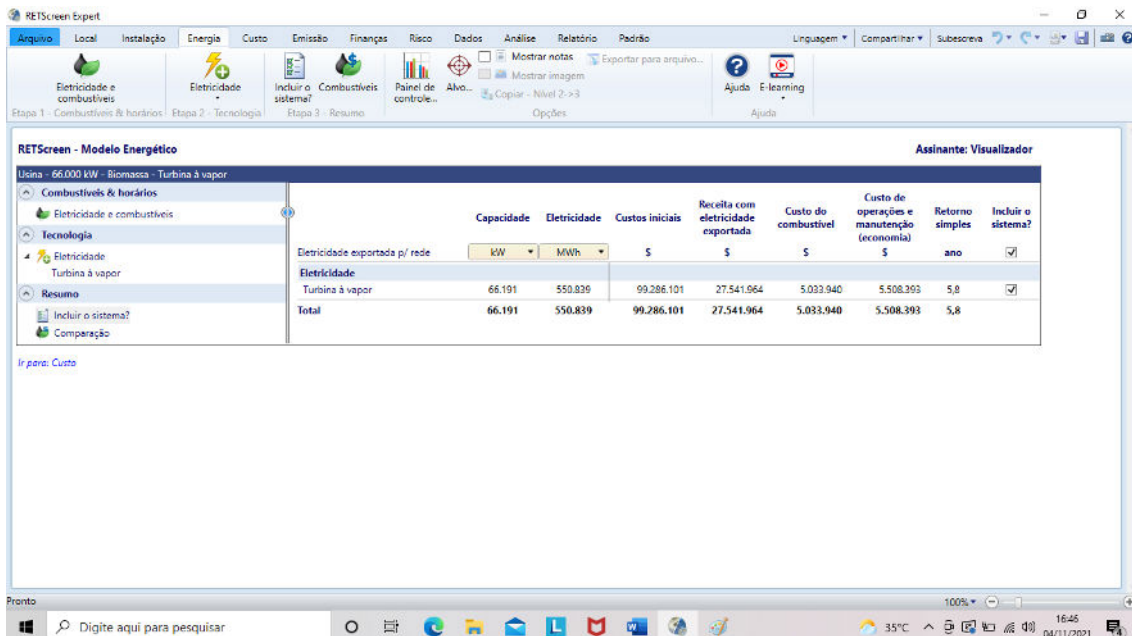


## Anexo 7A – Funcionamento da usina termelétrica com Blenda capim jaraguá como resíduo



Fonte: RETScreen Expert.

## Anexo 8A – Custos iniciais de operação da usina termelétrica



Fonte: RETScreen Expert.

**ANEXO B**  
**ARTIGO CIENTÍFICO**

**Anexo 1B** – Ebook: Agenda da sustentabilidade no Brasil: Conhecimentos teóricos, metodológicos e empíricos



Fonte: Atena editora, (2021).

## CAPÍTULO 9

### CAPIM JARAGUÁ COMO LIGANTE EM BRIQUETES DE FINOS DE CARVÃO

Data de aceite: 20/08/2021

Data da submissão: 14/07/2021

#### **Emanuel Zinza Junior**

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Departamento de Engenharia de Energia  
Rosana – SP  
<http://lattes.cnpq.br/7599354720104808>

#### **Andreas Cressoni de Conti**

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Departamento de Engenharia de Energia  
Rosana – SP  
<http://lattes.cnpq.br/8272112056458878>

#### **Gabriel Toledo Machado**

Universidade Federal de São Carlos,  
Departamento de Ciências Ambientais  
Sorocaba – SP  
<http://lattes.cnpq.br/1755345306645037>

#### **Fábio Minouru Yamaji**

Universidade Federal de São Carlos,  
Departamento de Ciências Ambientais  
Sorocaba – SP  
<http://lattes.cnpq.br/4787449634914831>

#### **Felipe Gomes Machado Cardoso**

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Departamento de Engenharia de Energia  
Rosana – SP  
<http://lattes.cnpq.br/9624565822640874>

**RESUMO:** O trabalho tem por objetivo a densificação dos resíduos, a fim de verificar a formação dos briquetes de finos de carvão utilizando o capim jaraguá (*hypharmania rufa*) como ligante e avaliar suas propriedades físicas e energéticas. Uma mistura de 75% capim jaraguá e 25% de finos de carvão foi feita obtendo-se um poder calorífico superior de 21023J/g. Com uma prensa hidráulica efetuou-se a briquetagem das amostras há uma pressão de 15.000 e tempo de um minuto. Analisou-se a expansão volumétrica, a análise química imediata e o teste de durabilidade dos briquetes. Através da expansão volumétrica observou-se uma expansão de 11% para os briquetes de capim e 8% para os briquetes produzidos a partir da blenda. Por meio da análise química imediata realizada em triplicata, observou-se que a blenda apresentou 10,3% de teor de cinzas e desvio padrão de 0,4% e 42,7% de teor de voláteis com desvio padrão de 13,4%, resultando em 47% de carbono fixo. No teste de durabilidade obteve-se uma durabilidade de 13% para a blenda e para o briquete de capim jaraguá de 93% de durabilidade. Pode-se comprovar que o capim jaraguá mostrou-se apto para utilização como ligante, pois permitiu uma estruturação e conseqüentemente a formação de briquetes utilizando finos de carvão.

**PALAVRAS - CHAVE:** Bioenergia, densificação, biomassa.