

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

Laura Hoffmann de Oliveira

**BRIQUETES PRODUZIDOS DE ENGAÇO DE UVA COMO  
ALTERNATIVA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA**

Santa Maria, RS  
2020

**Laura Hoffmann de Oliveira**

**BRIQUETES PRODUZIDOS DE ENGAÇO DE UVA COMO ALTERNATIVA PARA  
GERAÇÃO DE ENERGIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Elio José Santini

Santa Maria, RS  
2020

Oliveira, Laura  
BRIQUETES PRODUZIDOS DE ENGAÇO DE UVA COMO  
ALTERNATIVA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA / Laura Oliveira.-  
2020.  
63 p.; 30 cm

Orientador: Elio José Santini  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2020

1. Briquetes 2. Biomassa 3. Resíduo 4. Energia  
Renovável I. Santini, Elio José II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

---

© 2020

Todos os direitos autorais reservados a Laura Hoffmann de Oliveira. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: laura-hoff@hotmail.com

**Laura Hoffmann de Oliveira**

**BRIQUETES PRODUZIDOS DE ENGAÇO DE UVA COMO ALTERNATIVA PARA  
GERAÇÃO DE ENERGIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

**Aprovado em 20 de fevereiro de 2020:**

---

**Elio José Santini, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Talita Baldin, Dra. (UFMG)**

---

**Silviana Rosso, Dra. (UNIPAMPA)**

Santa Maria, RS  
2020

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família pelo apoio diário, que mesmo de longe estiveram presentes, Maria Eleni Hoffmann (Mãe), Ivo Gomes de Oliveira (Pai) e Maynara Hoffmann (Irmã).

À Anna Clara e ao Guilherme por serem os sobrinhos mais queridos do mundo e por incentivarem sempre.

Ao meu orientador professor Dr. Elio José Santini por estar sempre disposto a ajudar, orientar, por ser um mestre ético e que sempre buscou pelo certo.

À Universidade Federal de Santa Maria pela instituição séria e comprometida que és, e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal.

À CAPES, pela concessão da bolsa.

Às Vinícolas Velho Amâncio e Dalla Corte por acreditarem no trabalho e por terem cedido o material de estudo.

À minha segunda família de Santa Maria, o eterno Apto 21 e a todas as pessoas que por ele passaram.

À todo Laboratório de Produtos Florestais, em especial aos amigos Maiara, Amanda Talita e Alessadra.

Aos funcionários Fabi, Tarso e Nelson por todo auxílio no trabalho.

Ao Guilherme Valcorte, meu amigo e colega de laboratório por caminharmos juntos no último ano e por ser essa pessoa de coração enorme, obrigada por toda ajuda prática.

À minha amiga Luciane Gorski, pela paz e calma que transmite, por ter me ensinado muito, mesmo de longe, obrigada pelas aventuras gastronômicas entre um trabalho e outro.

À Camila Galvan, por dividir a alegria diária e ser calma nos momentos de dificuldade, obrigada por me ensinar tanto.

À ONG Engenheiros Sem Fronteiras por toda transformação pessoal e profissional, por me fazerem acreditar num mundo melhor e por acreditarem na minha capacidade quando eu mesma duvidei, amo cada um de vocês.

Aos meus anjos de luz (Tefi, Gui e Pedro) que me guiam a cada passo, esse trabalho é por vocês.

À todas as pessoas que estiveram comigo na caminhada, incentivando, transmitindo energias positivas, e que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui, o meu muito obrigada!

## RESUMO

### **BRIQUETES PRODUZIDOS DE ENGAÇO DE UVA COMO ALTERNATIVA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA**

AUTORIA: Laura Hoffmann de Oliveira  
ORIENTADOR: Prof. Dr. Elio José Santini

A matriz energética mundial concentra-se majoritariamente em fontes não-renováveis, no entanto, este cenário está em constante renovação, no sentido de tornar as fontes renováveis como as principais fontes energéticas. As biomassas agrícola e florestal encontram-se dispostas na natureza em grandes volumes, empregá-las em materiais que sejam capazes de agregar economicidade, qualidade energética e responsabilidade social são fundamentais para a demanda da sociedade. Uma técnica bastante utilizada no meio rural e como forma de aproveitamento da biomassa residual é o processo de briquetagem, inúmeras investigações retratam a possibilidade de utilização de resíduos agrícolas para substituir e agregar às matérias-primas comumente utilizadas na geração de calor. O setor vitivinícola é um dos mais importantes para a economia agrícola brasileira, fornecendo meios de subsistência para pequenos e médios produtores, no entanto, grande quantidade de resíduos é gerada após o beneficiamento da uva, dando destaque ao engaço, cacho lenhoso onde estão fixados os grãos da uva. As informações referentes às potencialidades energéticas desse material ainda são raras na literatura. Para tanto, com o interesse de estudar essa biomassa residual com vias a aplicá-la na geração de calor, o presente trabalho objetivou avaliar a qualidade de briquetes produzidos com engaço de uva. O estudo foi dividido em duas etapas: A primeira consiste na caracterização química e energética da biomassa residual e a segunda na avaliação do efeito da granulometria nas propriedades físicas e mecânicas de briquetes. O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Maria, as etapas de análises químicas realizadas conforme as normas TAPPI, os briquetes foram confeccionadas em planta briquetadeira laboratorial, no Laboratório de Produtos Florestais, o engaço de uva foi homogeneizado e seco a temperatura ambiente até aproximadamente 11% de umidade, foram utilizadas 40 g da biomassa para cada briquete, divididos em quatro tratamentos com sete repetições, em diferentes granulometrias. Os resultados obtidos indicam que o engaço de uva apresenta propriedades químicas e energéticas que o potencializam como biomassa energética para geração de calor, as frações de lignina (28,91%), extrativos totais (32,27%) e carbono fixo (21,17%) fornecem subsídios de que é um material que pode ser densificado. O tamanho das partículas do engaço de uva influenciou nas propriedades físico-mecânicas dos briquetes, quanto menor a granulometria, melhor a acomodação do material, tornando-o mais resistente e com maior densidade, garantindo que briquetes produzidos com a biomassa residual da viticultura são materiais compactados de qualidade e com vantagens em termos de armazenamento e transporte.

**Palavras-chave:** Biomassa. Energia Renovável. Resíduo.

## ABSTRACT

### BRIQUETTES PRODUCED FROM GRAPE STALKS AS AN ALTERNATIVE AN FOR ENERGY GENERATION

AUTHOR: Laura Hoffmann de Oliveira

ADVISOR: Prof. Dr. Elio José Santini

The global energy matrix is mainly concentrated in non-renewable sources, however, this scenario is constantly renewing, in the sense of making renewable sources as the main energy sources. Agricultural and forest biomass are found in nature in large volumes, using them in materials that are capable of adding economics, energy quality and social responsibility are fundamental to society's demand. A technique widely used in rural areas and as a way to use residual biomass is the briquetting process, numerous investigations portray the possibility of using agricultural waste to replace and add to the raw materials commonly used in heat generation. The wine sector is one of the most important for the Brazilian agricultural economy, providing means of subsistence for small and medium producers, however, a large amount of waste is generated after the processing of the grape, giving prominence to the stalk, the woody cluster where the grape grains. Information regarding the energetic potential of this material is still rare in the literature. Therefore, with the interest of studying this residual biomass with ways to apply it in the generation of heat, the present work aimed to evaluate the quality of briquettes produced with grape stalks. The study was divided into two stages, where the first consisted of the chemical and energetic characterization of the residual biomass and the second in the evaluation of the granulometry effect on the physical and mechanical properties of briquettes. The work was developed at the Federal University of Santa Maria, the stages of chemical analysis carried out according to TAPPI standards, the briquettes were made in a laboratory briquetting plant, in the Forest Products Laboratory, the grape stalk was homogenized and dried at room temperature until approximately 11% moisture, 40 g of biomass were used for each briquette, divided into four treatments with seven repetitions, in different granulometries. The results obtained indicate through descriptive statistics that the grape stalk has chemical and energetic properties that potentiate it as energy biomass for heat generation, the lignin fractions (28.91%), total extracts (32.27%) and fixed carbon (21.17%) provide subsidies that it is a material that can be used as densified material. The particle size of the grape stalk influenced the physical-mechanical properties of the briquettes, the smaller the granulometry, the better the accommodation of the material, making it more resistant and with greater density, ensuring that briquettes produced with the residual biomass of viticulture are materials quality and with advantages in terms of storage and transport.

**Keywords:** Biomass. Potential Energetic. Residue.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Propriedades química e energética da biomassa residual de engaço de uva. ....36



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz energética mundial, ano base 2017.....	14
Figura 2 – Processamento de uvas no Rio Grande do Sul, em milhões de kg. ....	21
Figura 3 – Engaço de uva .....	22
Figura 4 – Procedimentos laboratoriais para análise de extrativos totais do engaço de uva. a. Estufa para secagem da amostra, b. Pesagem do material em balança analítica, c. Extração em Soxhlet para quantificação dos extrativos. ....	31
Figura 5 – Quantificação de Lignina Klason do engaço de uva. a. Aquecimento de água em chapa aquecedora, b. Solubilização da amostra contendo os reagentes. ....	32
Figura 6 – Análise do teor de cinzas do engaço de uva. a. Preparação do material para incineração em cadinhos de porcelana, b. Mufla a altas temperaturas contendo os cadinhos. ....	33
Figura 7 – Análise do teor de materiais voláteis do engaço de uva em mufla com cadinhos contendo o material a ser analisado. a. Cadinhos na parte externa da mufla, b. Cadinhos no interior da mufla. ....	34
Figura 8 – Equipamentos para determinação do poder calorífico. a. Calorímetro marca <i>Parr</i> 6400, b. Prensa adaptada para compactação da amostra. ....	35
Figura 9 – Diferentes granulometrias de engaço de uva ( <i>Vitis</i> sp.) utilizadas na produção de briquetes. a. Partículas de 2 mm; b. Partículas de 3 mm; c. Partículas de 5 mm; d. Partículas de 8 mm.....	45
Figura 10 – Determinação da densidade a granel da biomassa em balança analítica .....	46
Figura 11 – Determinação da densidade aparente. a. Pesagem do briquete em balança analítica, b.c. medição das variáveis comprimento e diâmetro (topo, meio e base) dos briquetes com auxílio de paquímetro digital.....	47
Figura 12 – Ensaio de resistência à compressão em máquina de ensaio acelerado.....	48
Figura 13 – Características visuais dos briquetes de engaço de uva, sobre diferentes ângulos. ....	49
Figura 14 – Densidade a granel média ( $\text{g cm}^{-3}$ ) de briquetes produzidos com engaço de uva. T1 (2 mm), T2 (3 mm), T3 (5 mm) e T4 (8 mm). ....	50
Figura 15 – Densidade Aparente média ( $\text{g cm}^{-3}$ ) de briquetes produzidos com engaço de uva nos diferentes tratamentos. T1 (2 mm), T2 (3 mm), T3 (5 mm) e T4 (8 mm). ....	50
Figura 16 – Densidade à granel e aparente de briquetes produzidos nos diferentes tratamentos. ....	52
Figura 17 – Densidade Energética média de briquetes produzidos com engaço de uva nos diferentes tratamentos.....	52

Figura 18 – Variação espacial (horas) da expansão volumétrica média (%) de briquetes produzidos nos diferentes tratamentos. T1 (a), T2 (b), T3 (c) e T4 (d).....	53
Figura 19 – Resistência média à compressão de briquetes produzidos com engaço de uva nos diferentes tratamentos. ....	55
Figura 20 – Briquetes pós-ensaio de resistência mecânica nos diferentes tratamentos (T1, T2, T3 e T4). ....	56

## SUMÁRIO

<b>1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>11</b>
1.1 INTRODUÇÃO.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	13
<b>1.2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>13</b>
1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	13
1.4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	24
<b>2 CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ENERGÉTICA DO ENGAÇO DE UVA COMO BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE CALOR.....</b>	<b>29</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	29
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
<b>2.2.1 Caracterização da biomassa .....</b>	<b>30</b>
2.2.1.1 <i>Coleta e preparo do material .....</i>	30
2.2.1.2 <i>Análise química das macromoléculas .....</i>	30
2.2.1.3 <i>Análise química imediata .....</i>	33
2.2.1.4 <i>Determinação do Poder Colorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI)</i> .....	35
<b>2.2.2 Análise Estatística.....</b>	<b>36</b>
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
2.4 CONCLUSÕES .....	39
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40
<b>3 CAPÍTULO II: EFEITO DA GRANULOMETRIA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM ENGAÇO DE UVA .....</b>	<b>43</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	43
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
<b>3.2.1 Obtenção e preparo do material .....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.2 Confecção dos briquetes.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.3 Avaliação dos briquetes .....</b>	<b>46</b>
3.2.3.1 <i>Densidade a granel.....</i>	46
3.2.3.2 <i>Densidade aparente e densidade energética .....</i>	47
3.2.3.3 <i>Análise de expansão .....</i>	48
3.2.3.4 <i>Resistência à compressão .....</i>	48
<b>3.2.4 Análise estatística.....</b>	<b>49</b>

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	49
3.4 CONCLUSÕES .....	58
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>62</b>

# 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

## 1.1 INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial é composta basicamente por fontes não renováveis, tais como o petróleo, gás natural, carvão mineral. Estas que por vezes, são as principais causadoras de problemas referentes a poluição ambiental. Segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2019, ano base 2018 estima-se que apenas 45,3% referem-se a fontes renováveis. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2019). Mesmo assim estamos na frente de muitos países em se tratando de eficiência energética sustentável, os dados da Agência Internacional de Energia (IEA), indicam que o Brasil é o terceiro maior gerador de energias renováveis (BRASIL, 2018).

Atualmente, diversos países e regiões têm intensificado os investimentos nas energias renováveis como forma de redução das emissões de gases causadores de efeito estufa e como estratégia para reduzir a dependência dos combustíveis fossilizados (GARCIA MARAVER et al., 2015). Estatisticamente dos 45,3% renováveis, 6,8% correspondem à biomassa, sendo este um material orgânico de caráter renovável que captura e armazena energia solar através da fotossíntese, e que a converte em formas úteis de energia (AKPINAR et al., 2008). Nesse contexto, a biomassa vegetal tem sido considerada energia renovável de grande potencialidade, que pode contribuir consideravelmente para a redução do consumo dos combustíveis não renováveis, diversificação energética e aproveitamento dos resíduos muitas vezes abandonados no meio ambiente (KIM et al., 2010; STELTE et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2013, 2014).

Como fontes passíveis de serem utilizadas para fins energéticos, Farias et al. (2016) enfatizam os resíduos lignocelulósicos que, geralmente estão disponíveis em grandes quantidades e podem contribuir decisivamente na matriz energética brasileira.

Nesta perspectiva a demanda por produtos de qualidade que supram as necessidades energéticas utilizando a biomassa residual de culturas agroflorestais em material de valor agregado estão sendo cada vez mais requeridas.

Uma técnica bastante utilizada como forma de aproveitamento da biomassa residual é o processo de briquetagem, que transforma o resíduo na sua forma moída em blocos compactos com diversas dimensões que são comumente utilizados na cocção de alimentos, em fornos, caldeiras, lareiras. (EMPRAPA, 2012)

Inúmeras investigações retratam a possibilidade de utilização de resíduos agrícolas para substituir e agregar às matérias-primas comumente utilizadas na geração de calor. O meio agrícola gera resíduos diversos que podem ser briquetados, como aqueles que resultam da colheita do amendoim, arroz, cana-de-açúcar, coco-da-baía, feijão e milho (DIAS et al., 2014). Quanto às demais culturas agrícolas, ainda há uma grande quantidade de materiais residuais que poderiam ser utilizados como biomassa para a briquetagem tais como o setor de produção vinícola (QUIRINO & BRITO, 1991; QUIRINO & VALE, 2003; BRAND, 2010).

O setor vitivinícola é um dos mais importantes para a economia agrícola brasileira, fornecendo meios de subsistência para pequenos e médios produtores. No Brasil, ocupa uma área de aproximadamente 82 mil hectares (OIV, 2019), divididos principalmente entre as regiões sul e sudeste. Com uma produção média anual de 703.271.388,00 kg de uvas e 247.457.541, 00 L de vinho, representa cerca de 58% da produção nacional (MELLO, 2015).

No beneficiamento da uva grande quantidade de resíduo é gerada, exemplo do engaço, popularmente conhecido como o cacho lenhoso no qual estão fixados os grãos de uva. As informações referentes às potencialidades energéticas desse material ainda são raras na literatura. De acordo com Bustamante (2007) e Bertran, et al. (2004) sua utilização é limitada essencialmente ao uso como fertilizante, complemento da alimentação do gado e na remoção de metais pesados de águas residuais.

São poucas as referências sobre o engaço de uva, e, nesse sentido, é importante investigar as características do material com vistas a demonstrar ou não a sua qualidade no emprego como biomassa energética no processo de briquetagem para geração de calor. Face à problemática mencionada, busca-se através da pesquisa, proporcionar aos agricultores, uma alternativa para melhor aproveitamento dos subprodutos da viticultura.

Tendo por base o conhecimento científico sobre biomassa residual, aliada as inferências sobre as características intrínsecas do engaço de uva, o potencial energético requerido na briquetagem e o aproveitamento de um resíduo até o momento descartado na propriedade e em quantidades relativamente altas, formulou-se as seguintes hipóteses:

H0: O engaço de uva gerado do beneficiamento da uva não possui composição química e energética capazes de serem utilizados como matéria-prima de valor agregado na fabricação de briquetes.

H1: O engaço de uva gerado do beneficiamento da uva, possui composição química e energética capazes de serem utilizados como matéria-prima de valor agregado na fabricação de briquetes.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade de briquetes produzidos com engaço de uva para geração de calor.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar quimicamente a biomassa residual de engaço de uva;
- Determinar o poder calorífico da biomassa residual;
- Produzir briquetes a partir do engaço da uva em diferentes granulometrias;
- Avaliar as propriedades físico-mecânicas dos briquetes.

## 1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

Para a melhor disposição das etapas desenvolvidas ao longo do trabalho, bem como o melhor entendimento do assunto abordado, a pesquisa foi elaborada em capítulos temáticos. A primeira etapa busca contextualizar o cenário de biomassa energética no país, salientando a importância da geração de coprodutos oriundos de resíduos das culturas agrícolas, tais como o engaço de uva, e incentivar o mercado na confecção de briquetes que consigam atrelar as esferas econômica, social e ambiental no que tange o aproveitamento de resíduos sob a geração de calor.

Dessa maneira a dissertação estruturou-se da seguinte forma:

**Considerações iniciais** – Buscou a definição dos objetivos e o referencial teórico, estruturado basicamente desde a biomassa para geração de energia, a cadeia produtiva da uva e seus derivados até o processo de briquetagem propriamente dito.

**Capítulo I** – Caracterizar química e energeticamente o engaço de uva como biomassa para geração de calor, com intuito de relacionar as frações de lignina, teor de extrativos, cinzas com o poder calorífico do material lignocelulósico, inferindo sobre seu uso na confecção de materiais densificados.

**Capítulo II** – Avaliar o efeito da granulometria nas propriedades físico-mecânicas de briquetes produzidos com engaço de uva, a granulometria para confecção de briquetes torna-

se uma importante característica a ser estudada, influenciando de maneira direta a expansão volumétrica, densidade a granel e aparente, bem como resistência a compressão, que se relaciona com o empilhamento e posterior transporte do material.

Ao final dos referidos capítulos, as considerações finais, compilam informações sobre os briquetes produzidos com engaço de uva, inferindo a sua qualidade e como cada variável influenciou no processo.

## 1.4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.4.1 Biomassa

A matriz energética é composta por fontes renováveis e não renováveis. Brand (2010) considera fontes renováveis aquelas as quais a natureza supre a demanda, ao contrário das fontes não renováveis que são passíveis de esgotamento, uma vez que a velocidade com que é utilizada é maior que o período para sua formação.

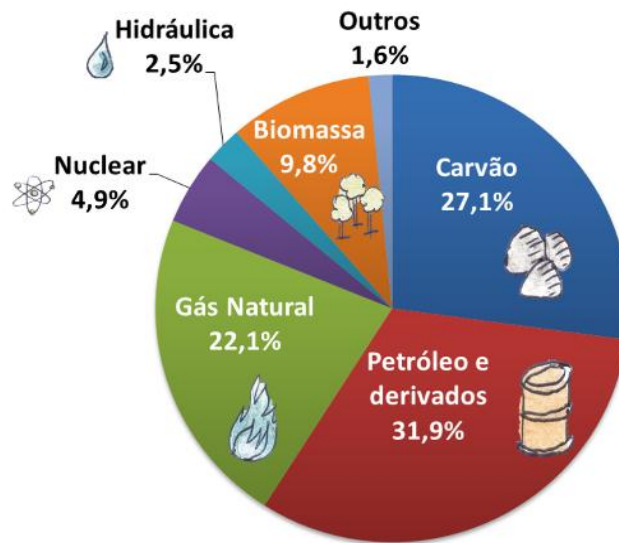
O Brasil possui lugar de destaque na geração de energia de fontes renováveis, isto é, aquelas matrizes energéticas com baixo impacto ao meio ambiente. Estamos na frente de muitos países em se tratando de eficiência energética sustentável. Segundo dados da Agência Internacional de Energia (IEA) o Brasil é o terceiro maior gerador de energias renováveis (BRASIL, 2018). Dentre as fontes destaca-se a biomassa que ocupa a quarta posição no mix energético mundial (SUGUMARAN, 2010).

A biomassa pode ser caracterizada como todo material orgânico formado através do processo de fotossíntese, onde as plantas captam e armazenam energia solar e a transformam em formas úteis de energia (AKPINAR et al., 2008), bem como resíduos gerados a partir da utilização desses materiais. Quando ocorre o processo de queima da biomassa a energia química contida é liberada em forma calor (EIA 2018).

De acordo com IEA (2018) das diferentes fontes que compõem a matriz energética mundial, a biomassa representa 9,8% (Figura 1), para movimentar os carros, preparar a comida no fogão e gerar eletricidade, a biomassa representa 9,8% (Figura 1),

Figura 1 – Matriz energética mundial, ano base 2017.





Fonte: (IEA, 2018)

As dificuldades econômicas, ambientais e sociais estão cada vez mais presentes, diversificar e fortalecer o uso de fontes renováveis nos diversos seguimentos industriais conforme destaca Gentil (2008), são importantes ferramentas para a correta gestão de resíduos. No entanto, conhecer as características que viabilizam a utilização da biomassa como fonte de energia é de extrema importância.

A biomassa lignocelulósica é oriunda da manufatura de produtos florestais (incluindo toda a cadeia de base florestal), resíduos urbanos, agroindustriais (casca de arroz, bagaço da cana), subprodutos de animais, entre outros com potencial para aproveitamento energético em larga escala. A Biomassa BR salienta algumas vantagens de usá-la como fonte de energia: o baixo custo, fato de ser renovável, permitir o aproveitamento de resíduos, ser menos poluente que outras fontes de energia.

Contudo, a mobilização das novas tecnologias de transformações de lenhas, resíduos lenhosos, industriais e agrícolas num produto de fácil manuseio, transporte, armazenamento e utilização, constitui um fator fundamental para o melhor uso da biomassa como alternativa aos combustíveis fósseis (SANTOS; COLODETTE; QUEIROZ, 2013).

Segundo Brand (2010), as propriedades físicas e químicas bem como as energéticas têm influência direta sobre a viabilidade de uso do material como combustível, manejar corretamente essas propriedades, torna a biomassa competitiva com outros combustíveis.

### *Principais características da biomassa para geração de calor*

A biomassa lignocelulósica apresenta na sua estrutura grandes variações, sua composição é relativa ao período de coleta, localização e clima, por exemplo. Segundo Brand (2010), para determinar a qualidade da biomassa no uso como combustível é fundamental a análise da sua composição química imediata que se refere ao conteúdo percentual de materiais voláteis, teor de cinzas, carbono fixo e teor de umidade; dos constituintes elementares que correspondem ao percentual em massa dos elementos Carbono (C), Nitrogênio (N) Oxigênio (O), Enxofre (S) e da análise química em termos de teor de lignina, celulose, hemicelulose e extrativos; do poder calorífico, da densidade e granulometria dos materiais.

#### Composição química imediata

Ao considerar a conversão térmica da biomassa, a análise imediata torna-se importante característica a ser levantada, tanto no comportamento da combustão quanto no projeto da planta, fornecendo a percentagem de umidade, material volátil (que se queima no estado gasoso), carbono fixo (parte sólida) e cinzas (material residual após a combustão) (ANDRADE, 2018).

O teor de umidade representa a quantidade de água contida no material, propriedade importante ao considerar a biomassa para geração de calor, além de ser onerosa em termos de transporte, apresenta correlação negativa com o poder calorífico.

O conteúdo de materiais voláteis, expressa a facilidade de um material queimar sendo determinado como a fração em massa do combustível que volatiliza durante aquecimento em altas temperaturas (BRAND, 2010). A biomassa com alto teor de voláteis apresentará maior temperatura de ignição, tendo dessa maneira maior facilidade para queimar, destacando que durante a queima tendem a se volatilizarem mais rapidamente, resultando na diminuição do tempo de residência dentro do aparelho de combustão, contribuindo para o baixo desempenho energético (LEWANDOWSKI; KICHERER, 1997; CAI et al., 2017).

O carbono fixo corresponde à fração de carbono sólido presente após a liberação dos compostos voláteis excluindo as cinzas e a umidade no final do processo de carbonização (MCKENDRY, 2002). Conforme destaca Brand (2010), altos índices de carbono fixo possuem tendência de queimar mais lentamente, requerendo dessa maneira maior tempo de

residência na fornalha para queima total, inversamente com o que ocorre com os materiais voláteis supracitados.

Os compostos químicos de análise imediata contam ainda com a fração de cinzas, que de acordo com Nogueira e Rendeiro (2008), são os resíduos resultantes do processo de combustão completa. A biomassa que tem como destino a geração de calor, requer que o percentual de cinzas seja o menor possível, uma vez que os minerais não participam do processo de combustão. Altos teores de cinzas contribuem para redução do poder calorífico, da inflamabilidade, transferência de calor e atuam ainda na corrosão dos equipamentos tornando o processo oneroso ao causar perdas de energia pelo aquecimento de óxidos minerais (BUSTAMANTE GARCÍA et al., 2013; PROTÁSIO et al., 2014).

Altos valores de umidade diminuem o rendimento da combustão, enquanto altas relações matéria volátil/carbono fixo estão relacionadas à reatividade do combustível. Por outro lado as cinzas representam custos elevados com transporte, manuseio e gerenciamento do processo, atuando de maneira direta na corrosão (GARCÍA et al., 2012). Assim, conhecer a dinâmica de comportamento da fração elementar é indispensável na determinação da potencialidade energética da biomassa.

Como mencionado, há uma grande variabilidade percentual das frações imediatas para resíduos, principalmente devido à influência das cinzas, uma vez que biomassas com maiores teores de hemiceluloses e cinzas, como é o caso das gramíneas, apresentam maior razão oxigênio/carbono do que madeiras (OASMAA et al., 2010).

### Composição química estrutural

O conhecimento sobre as macromoléculas (celulose, hemicelulose e lignina) e dos teores de extrativos são fundamentais para inferir sobre a qualidade de resíduos agrícolas e florestais na geração de calor.

Protásio et al. (2012), salientam a influencia das composições químicas no poder calorífico superior: altos de teores de lignina e extrativos apresentam baixo grau de oxidação e alto calor de combustão quando comparados com a celulose e hemicelulose.

Conforme o mesmo autor, a degradação das macromoléculas, ocorre em diferentes temperaturas, a celulose e a hemicelulose degradam a temperaturas máximas de 325 e 375 °C, respectivamente, diferente do que ocorre com a lignina (500 °C). Teores elevados de holocelulose (celulose + hemicelulose) não são indicados para produção de bioenergia.

A lignina é um componente estrutural que confere propriedades de rigidez e resistência. O conhecimento do teor deste componente é fundamental para produção de energia, pois a mesma apresenta alto poder calorífico (6.100 kcal.kg) e há fortes evidências de que contribui significativamente para a formação do carbono residual, devido à sua estrutura complexa (PETROFF e DOAT, 1978; PEREIRA et al., 2012). Esse fato pode ter relação com a alta resistência à degradação.

O mesmo autor ressalta o grande número de ligações C-C e C=C presentes na estrutura da lignina, como também à maior presença de carbono elementar e ao baixo teor de oxigênio, em comparação com as outras substâncias químicas, conferem a lignina maior poder calorífico (BRAND, 2010).

#### Poder calorífico

O poder calorífico é definido como a quantidade de energia térmica liberadas durante a combustão completa por unidade de massa ou volume, é um excelente parâmetro para se avaliar a potencialidade energética de combustíveis de biomassa (BRAND, 2010; FRIEDL et al., 2005; PARIKH et al., 2005).

Segundo Cintra (2009) o poder calorífico é expresso de duas maneiras: Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI). No poder calorífico superior (PCS), a água formada durante a combustão, na reação entre o hidrogênio elementar da biomassa e o oxigênio, é condensada e seu calor latente é recuperado, e somado à energia mensurada. O poder calorífico inferior (PCI), ao contrário do superior é a quantidade de energia disponível, não considerando o calor latente de condensação.

#### **1.4.2 Briquetes: alternativa para o aproveitamento de resíduos**

Os briquetes são uma alternativa tecnológica para o melhor aproveitamento dos resíduos de biomassa e obtenção de energia renovável, formados a partir da trituração e aglomeração de partículas lignocelulósicas com auxílio de pressão. A briquetagem é uma atividade comum de indústrias de pequeno porte, exigindo que a matéria-prima esteja próxima para se tornar economicamente viável (CALEGARI et al., 2005; FERNANDEZ et al., 2012; FLORES et al., 2010).

Nessa conjectura, a produção de briquetes tem grande destaque, os quais podem ser feitos através da compactação de resíduos lignocelulósicos, uma alternativa empregada dentro

do meio florestal e rural visando à eliminação de resíduos com potencial de queima (FLORES et al., 2009).

A briquetagem é um processo de reconstrução, ou seja, é a reconsolidação de material particulado por meio da aplicação de temperatura e pressão a uma massa de partículas, com ou sem adição de ligantes (QUIRINO e BRITO, 1991).

No Brasil são produzidos cerca de 1,2 milhão de toneladas de briquetes por ano. Destes, 77,4% são de madeira e 22,5% de resíduos agrícolas como bagaço de cana, palha e casca de arroz, resíduos de caroço de algodão entre outros (BRAZILIAN ASSOCIATION INDUSTRY BIOMASS AND RENEWABLE ENERGY, 2012).

Os briquetes são amplamente utilizados como um material de energia renovável para resolver o problema da dependência e do consumo excessivo de combustível como fonte de energia para uso humano (OLUGBADE et al., 2019). Substitutos diretos da lenha em muitas aplicações, incluindo o uso residencial, em indústrias e estabelecimentos comerciais como olarias, cerâmicas, padarias, pizzarias, laticínios, fábricas de alimentos, indústrias químicas, têxteis e de cimento dentre outros (DIAS et al., 2012). No entanto, o fato do processo ser pouco conhecido atrapalha a implantação dessa fonte energética alternativa para o uso em larga escala (FERNANDES, 2012).

A biomassa é densificada na forma de briquete com auxílio de planta briquetadeira, disponível no mercado em diferentes modelos. O processo consiste na compactação de materiais sob a ação de pressão e temperatura. Segundo Foelkel (2016), para que a aglomeração de partículas seja eficiente, o teor de umidade do material a ser densificado deve estar na faixa de 8% a 15%.

A compactação pode ocorrer com os mais diversos resíduos (madeira, bagaço e/ou palha de cana de açúcar, caroço de algodão, casca de arroz e amendoim entre outros materiais) a altas temperaturas, de forma que plastifique a lignina e transforme o pó em um cilindro homogêneo, aumentando o poder calorífico do material (SILVA, 2007).

No caso da madeira e de outros coprodutos que apresentem em sua composição teores elevados de lignina, a adição de ligantes não é necessária, pois, devido à alta temperatura aplicada, a lignina sofre um processo denominado plasticização, e passa a atuar como agente ligante, além de criar uma camada que protege o briquete de variações de umidade (FURTADO et al., 2010).

O atrito entre as partículas e a matriz da briquetadeira, promove o aquecimento, que por sua vez, contribui para a compactação, elevando a densidade e diminuindo o teor de

umidade do produto, aumentando a densidade energética destes combustíveis em comparação com a matéria-prima residual que lhes deu origem (NONES et al., 2017).

As características de qualidade consideradas no processo de briquetagem envolvem a elevada densidade, teor de umidade controlada, alto poder calorífico e resistência à compressão. Quanto maior for a densidade do material, maior é a quantidade de energia estocada por unidade de área, interferindo na logística e estoque do material, além disso, a densidade está diretamente relacionada com o conteúdo calórico do briquete, sendo possível observar que a briquetagem possibilita o aumento da densidade (QUIRINO, 2004; FLORES et al., 2010)

Materiais com elevadas densidades possuem maior quantidade de massa por volume, portanto, maior o aproveitamento do combustível para geração de calor (PROTÁSIO et al. 2012). A maior geração de energia por unidade de massa do material reduz os custos com o transporte e facilita o armazenamento, pois um mesmo volume de briquetes pode ter cinco vezes mais energia que a madeira *in natura* (QUIRINO; BRITO, 1991).

Outro fator que contribui no processo de briquetagem, segundo Brand (2010), é a granulometria do material, que pode interferir na compactação, resultando em valores diferentes da força máxima suportada pelo briquete. Dias et al. (2012) relatam que o tamanho das partículas é muito importante para determinar a qualidade e durabilidade do material densificado. Quanto menor for o tamanho de partícula, menor será a porosidade do produto final e, portanto, maior será a sua densidade.

Os briquetes devem, além das características anteriormente citadas, apresentar elevada resistência mecânica, considerando que os mesmos devem resistir a impactos e quedas nas etapas de manuseio, empacotamento, transporte e armazenamento, sem que ocorra o comprometimento do seu uso (DIAS JÚNIOR et al. 2016).

A briquetagem deve ser avaliada como uma excelente ferramenta para a correta gestão dos resíduos, que são problemas agravantes tanto para a indústria como para as propriedades rurais, proporcionando a redução de volume do material na densificação, sendo uma forma rentável de aproveitamento do resíduo como fonte de energia (BORGHI, 2012).

### **1.4.3 Viticultura**

A cultura da uva está historicamente inserida na sociedade. As primeiras videiras foram trazidas ao Brasil no ano de 1532, localizadas no Sudeste do país, porém condições

desfavoráveis de clima e solo impediram seu sucesso. Foi somente em 1626, com a entrada dos jesuítas que a vitivinicultura foi impulsionada no país, especialmente na região Sul (IBRAVIN, 2019).

Hoje a viticultura é uma atividade importante para a sustentabilidade da pequena propriedade e tem se tornado igualmente relevante no desenvolvimento de algumas regiões (MELLO, 2013).

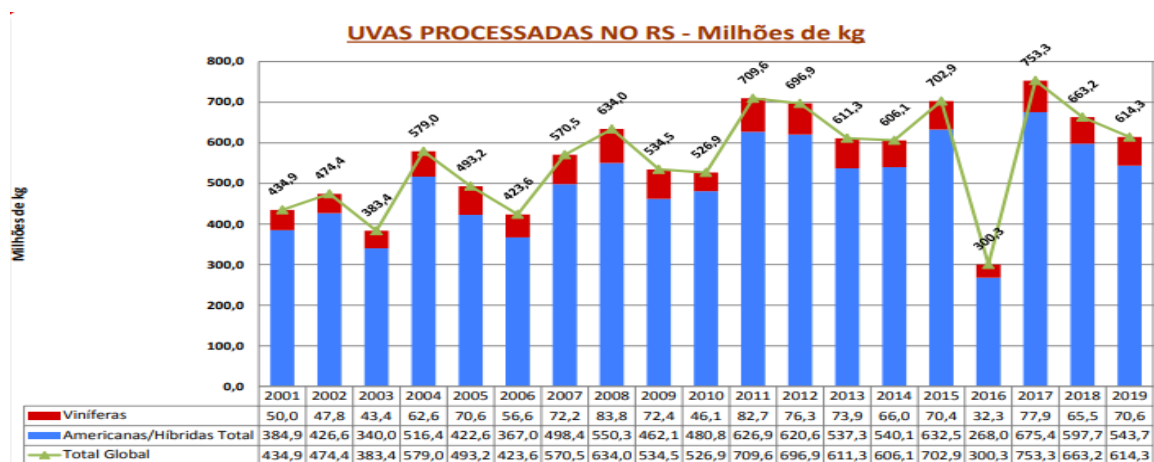
A área de produção vitivinícola no Brasil soma 82 mil hectares segundo a *International Organisation of Vine and Wine* (OIV, 2019), divididos principalmente entre a região sul e sudeste. São mais de 1,1 mil vinícolas espalhadas pelo país, a maioria instalada em pequenas propriedades (média de 2 hectares de vinhedos por família).

A uva é uma das frutas mais cultivadas no mundo e aproximadamente 80% da produção mundial destina-se à fabricação de vinhos e derivados, gerando diversos resíduos, especialmente, engaço, borra e bagaço (GRUZ et al., 2013).

No Brasil, a distribuição da safra apresenta um perfil diferenciado, 50% destinado ao processamento, sendo o suco de uva (integral e concentrado) o produto de maior destaque e em plena expansão, e o restante comercializado como uvas de mesa (MELLO, 2013; EMBRAPA, 2012).

Segundo dados levantados pelo Cadastro Vinícola do estado do Rio Grande do Sul, na safra de 2019, foram processados 614,0 milhões de kg de uva. (Figura 2).

Figura 2 – Processamento de uvas no Rio Grande do Sul, em milhões de kg.



Fonte: IBRAVIN/MAPA/SEAPDR-RS Cadastro Vinícola

*Resíduos da viticultura: fonte de biomassa para geração de energia*

As atividades agroflorestais, incluindo a indústria vitivinícola, produzem uma elevada quantidade de subprodutos, constituído prejuízos pelo seu não aproveitamento (PROZIL, 2008). Estes desperdícios não são perigosos, mas o elevado conteúdo de matéria orgânica e o fato de a produção ser sazonal podem contribuir para potenciais problemas de poluição, nomeadamente no que diz respeito à carência química e biológica de oxigénio (SPIGNO, 2008).

Se tratando de subproduto do processamento da uva, entre outros, destaca-se o engaço de uva (Figura 3), popularmente conhecido como o cacho lenhoso no qual estão fixados os grãos de uva, é constituído pelo pedúnculo e pelos pedicelos e possui funções básicas de suportar e servir como via de alimentação para os grãos (ZANELLA, 2015).

Figura 3 – Engaço de uva



Fonte: Autor (2019)

O engaço representa 30% do peso residual da indústria da uva, Segundo Zanella (2015) estima que a cada quilo de uva processada industrialmente, cerca de 60 g de engaço são gerados. O que é muito preocupante considerando os dados anteriormente apresentados sobre a grande porcentagem de uva produzida no país. A sua destinação ainda é incerta, alguns produtores utilizam como adubo em lavouras.



O engaço como subproduto da vinificação possui valorizações, tais como: compostagem (BERTRAN, 2004); remoção de metais pesados de efluentes líquidos (FARINELLA, 2007); recuperação de antioxidantes naturais (DELAUNAY, 2002) e combustível, devido ao seu poder calorífico na ordem das 2000 a 2500 Kcal.Kg (SILVA, 2002).

Estudos desenvolvidos por Prozil (2008), Spigno (2008) e Cruz (2004), encontraram no engaço de uva uma porcentagem em massa de cinzas na faixa de 5 -10 %, celulose 24-38 %, lignina 20-33 %.

Contudo, as informações referentes às potencialidades energéticas desse material ainda são raras na literatura. Salienta-se a importância de estudos para melhor utilização dos resíduos da vinificação com intuito de agregar valor a esta atividade. O engaço é um subproduto que apresenta uma valorização quase nula e a sua eliminação implica um encargo econômico substancial para o setor.

Trazer a biomassa residual da viticultura para o setor de bioenergia, ou seja, intensificar estudos sobre o melhor aproveitamento de resíduos e aplicá-los como material densificado na forma de briquetes, torna-os importantes e aceitos no mercado.

Diante dessa perspectiva e de face da problemática para o melhor aproveitamento de resíduos, busca-se através da pesquisa proporcionar uma alternativa para melhor aproveitamento dos subprodutos da viticultura, especialmente o engaço de uva.

## 1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKPINAR, A.; KÖMÜRCÜ, M. I.; KANKAL M.; ÖZÖLÇER, I. H.; KAYGUSUZ, K. Energy situation and renewables in Turkey and environmental effects of energy use. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 12, n. 8, p. 2013-2039, 2008.
- BERTRAN, E.; SORT, X.; SOLIVA, M.; TRILLAS, I. Composting winery waste: sludges and grape stalks. **Bioresource Technology**, v. 9, n. 2, p. 203-208, 2004.
- BORGHI, M. M. **Efeito da granulometria na avaliação de briquetes**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória- ES, 2012.
- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2010. 114 p.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2018: Ano base 2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2018.
- BRAZILIAN ASSOCIATION INDUSTRY BIOMASS AND RENEWABLE ENERGY. Brazil Status Report 2012: bioenergy – biomass – renewable energy.
- BUSTAMANTE, M. A.; PÉREZ-MURCIA, M. D.; PAREDES, C.; MORAL, R.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; MORENO-CASELLES, J. Short-term carbon and nitrogen mineralisation in soil amended with winery and distillery organic wastes. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 17, p. 3269-3277, 2007.
- CAI, J. et al. Review of physicochemical properties and analytical characterization of lignocellulosic biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 76, p. 309-322, set. 2017.
- CALEGARI, L.; FOELKEL, C. E. B.; HASELEIN, C. R.; ANDRADE, J. L. S.; SANTINI, E. J. Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no sul do Brasil. **Biomassa e Bioenergia**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 37-46, 2005.
- CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP**. 2009, 85 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.
- CRUZ, J. M.; DOMINGUEZ, H.; PARAJO, J. C. Assessment of the Production of Antioxidants from Winemaking Waste Solids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 18, p. 5612-5620, 2004.
- DELAUNAY, J. C.; CASTAGNINO, C.; CHÈZE, C.; VERCAUTEREN, J.. Preparative isolation of polyphenolic compounds from *Vitis vinifera* by centrifugal partition chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 964, n. 1/2, p. 123-128, jul. 2002.

DIAS JÚNIOR, F. A., ANDRADE, A. M., CARVALHO, A. M., BENICIO, E. L.; BRITO, J. O. Produção de briquetes de moinha de carvão vegetal e resíduos lignocelulósicos visando uso bioenergético; **Sci. For.**, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 453-462, jun. 2016.

DIAS, A. F. J.; ANDRADE, A. M.; COSTA, D. S. J. Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 34, n. 79, p. 225-234, jul./set. 2014.

DIAS, J. M. C. S.; SOUZA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Brasília: **EMBRAPA Agroenergia**, 132 p. 2012.

EMBRAPA. **Briquetagem e Peletização de Resíduos Agrícolas e Florestais**. Embrapa Agroenergia, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional 2019**: ano base 2018. Rio de Janeiro, 2019. 288 p.

FARIA, W. S.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; ANDRADE, C. R.; JUNIOR, J. B. G. Transformação dos resíduos lignocelulósicos da cafeicultura em *Pellets* para geração de energia térmica. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 137 - 147, jan./mar. 2016.

FARINELLA, N. V.; MATOS, G. D.; ARRUDA, M. A. Z. Grape bagasse as a potential biosorbent of metals in effluent treatments. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 10, p. 1940-1946, 2007.

FERNANDES, C. R. P. Produção de briquete industrial: energia limpa e sustentável. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2012, Goiânia/GO.

FLORES, W. P.; YAMAJI, F. M. Caracterização de briquetes através da determinação do teor de cinzas. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UFSCar, 8.; CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2009, São Carlos. **Anais...**

FLORES, W. P.; YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; COSTA, D. R. Redução do volume de biomassa no processo de briquetagem. **Revista da Madeira**. Curitiba-PR, ano 20, n. 121, p. 32 - 34, 2009.

FLORES, W. P.; YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; COSTA, D. R.; CHRISOSTOMO, W.; ALMEIDA FILHO, F. Caracterização de briquetes de *Eucalyptus* sp e *Pinus* sp. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 5., 2010, Curitiba. **Anais...**

FOELKEL, C. E. B. **Utilização da Biomassa do Eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade**. Parte I: Biomassa Florestal e Florestas energéticas, In: Eucalyptus Online Book e Newsletter, 2016.

- FURTADO, T. S.; VALIN, M.; BRAND, M. A.; BELLOTE, A. F. J. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30, n.62, p.101-106, 2010. <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.62.101>
- FRIEDL, A.; PADOUVAS, W. C.; ROTTER, H.; VARMUZA, K. Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. **Analytica Chimica Acta**. v. 554, n. 1-2, p. 191-198, 2005.
- GARCÍA, R.; PIZARRO, C.; LAVÍN, A. G.; BUENO, J. L. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. **Bioresour. Technol.**, v. 103 p. 249-258, 2012.
- GARCIA-MARAVAR, A. et al. Factors affecting the quality of pellets made from residual biomass of olivetrees. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 129, p. 1-7, 2015.
- GENTIL, L. V. **Tecnologia e economia do briquete de madeira**. 2008.196 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- GRUZ, A.P.; Gil et al. Recuperação de compostos bioativos a partir do bagaço de uva. **Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal**, v. 35, n. 4, dez. 2013.
- IBRAVIN. Instituto Brasileiro do Vinho. **Cadastro Vinícola**. 2019.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), World Energy Outlook 2018.
- INTERNATIONAL ORGANISATION OF VINE AND WINE. **Statistical report on world vitiviniculture**, 2019.
- KIM, U. J.; EOM, S. H.; WADA, M. Thermal decomposition of native cellulose: influence on crystallite size. **Polymer Degradation and Stability**. **Essex**, v. 95, n. 5, p. 778–781, 2010.
- LEWANDOWSKI, I.; KICHERER, A. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. **European Journal of Agronomy**. v. 6, n. 3, p. 163-177, 1997.
- MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 1, p. 37-46, 2002.
- MELLO, L. M. R. Vitivinicultura Brasileira: Panorama 2014. Bento Gonçalves: **Embrapa Uva e Vinho**, 2015. 6 p. (Embrapa Uva. Comunicado Técnico, 175).
- MELLO, L. M. R. Vitivinicultura Mundial: Principais Países e Posição do Brasil. Comunicado técnico 121. Bento Gonçalves, RS. Agosto, 2013.
- MENDES, J.; LOPES, S.; PROZIL, S.; EVTUGUIN, D.; CRUZ-LOPES, L. Caracterização química do folhelho branco e do folhelho tinto proveniente de castas típicas da região do Dão. **Millenium**, v. 46, p. 19-32, 2014, jul. 2017.
- NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. **Caracterização Energética da Biomassa Vegetal**. 2008.

NONES, D. L, BRAND, M. A.; MELO, C. G.; FRIEDERICHS, G. Biomassa residual agrícola e florestal na produção de compactados para geração de energia. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 2, p. 155-164, 2017.

OASMAA, A.; PEACOCKE, C. **Properties and fuel use of biomass-derived fast pyrolysis liquids – A guide**. Espoo 2010. VTT Publications. 46 p.

OLUGBADE, T.; OLUWOLE, O.; MOHAMMED, T. Influence of Binders on Combustion Properties of Biomass Briquettes: A Recent Review. **BioEnergy Research**, v. 12, n. 1, p. 241–259, jun. 2019.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. A. Correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**. V.84, n. 5, p. 487-494, 2005.

PAULA, L. E. de R.; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. N.; DE ASSIS, C. O.; BALIZA, A. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.33, n.66, p.103-112, 2011. <https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.66.103>.

PEREIRA B. L. C.; OLIVEIRA A. C.; CARVALHO A. M. M. L.; CARNEIRO A. C. O.; SANTOS L. C.; VITAL B. R. Quality of Wood and Charcoal from Eucalyptus Clones for Ironmaster Use. **International Journal of Forestry Research**, p. 1-8, 2012 <http://dx.doi.org/10.1155/2012/523025>.

PETROFF G.; DOAT J. Pyrolyse des bois tropicaux: influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation. **Revue Bois et Forêt Tropiques** v.177, p. 51-64, 1978.

PORTINHO, R. **Aproveitamento do engaço da uva para remoção de cafeína por adsorção**. 2016. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

PROTÁSIO, T. P. de.; TONOLI, G. H. D.; JÚNIOR, M. G.; BUFALINO, L.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F. Correlações canônicas entre as características químicas e energéticas de resíduos lignocelulósicos. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 433-439, jul./set. 2014.

PROTÁSIO, T. P. et al. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 11, p. 1252–1258, 2012.

PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n.68, p.273, 2011.

PROZIL, S. O. **Caracterização Química do Engaço da Uva e Possíveis Aplicações**. 2008. Dissertação (Mestrado em Química) –Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília, DF: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1991. 16 p. (IBAMA-LPF. Série técnica, n. 13).

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, São Paulo, SP, n. 89, p. 100-106, abr. 2003.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

SANTOS, F.; COLODETTE, J. L.; QUEIROZ, J. H. **Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais**. Viçosa: EMBRAPA, 2013.

SILVA, C. A. **Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos madeireiros para fins energéticos**. Campinas, SP, 2007.

SPIGNO, G.; FAVERI, D. M.. Antioxidants from grape stalk and marc: Influence of extraction procedure on yield, purity and antioxidant power of the extracts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 793-801, 2007

SPIGNO, G.; PIZZORNO, T.; FAVERI, D. M. Cellulose and hemicellulose recovery from grape stalks. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4329-4337, 2008.

STELTE, W.; HOLM, J. K.; SANADI, A. R.; BARSBERG, S.; AHRENFELDT, J.; HENRIKSEN, U. B. A study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, GB, v. 35, n. 2, p. 910 - 918, 2011.

SUGUMARAN. P.; SESHADRI, S. Biomass charcoal briquetting: Technology for alternative energy based income generation in rural areas, **Shri AMM Muragappa Chettiar Research Centre**, Taramani Chennai, India, p. 1 – 22, 2010.

ZANELLA, O. **Produção de Carvão Ativado a Partir do Engaço da Uva e Estudo da Regeneração Eletroquímica do Mesmo em um Reator Desenvolvido em Escala Laboratorial**. 2015. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

## **2 CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ENERGÉTICA DO ENGAÇO DE UVA COMO BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE CALOR**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

As fontes de energia renováveis desempenham um papel fundamental nas atuais estratégias globais para reduzir os gases de efeito estufa e, em parte, nos esforços para substituir os combustíveis fósseis (STOLARSKI, 2015).

O mercado de energias renováveis reflete o forte crescimento e investimentos em todos os setores, garantindo o desenvolvimento econômico com inclusão social sem que ocorra uma agressão maior ao meio ambiente e à saúde humana. Segundo World Energy Council - WEC, no relatório intitulado “Logistics Bottlenecks”, haverá um aumento em energia primária até 2020 e a duplicação da demanda de energia no planeta até 2050 (WEC, 2010).

Diante dessa conjectura, novas fontes renováveis que sejam capazes de suprir a demanda energética através do aproveitamento da biomassa residual são passíveis de estudos. Um diagnóstico fiável das características da matéria prima geram ganhos econômicos, sociais e ambientais, com inúmeras investigações que retratam a possibilidade de utilização de resíduos agrícolas para substituir e agregar às matérias-primas comumente utilizadas na geração de calor.

O setor vitivinícola é um dos mais importantes para a economia agrícola brasileira, fornecendo meios de subsistência para pequenos e médios produtores. Ocupa uma área de aproximadamente 82 mil hectares (OIV, 2019), divididos principalmente entre as regiões sul e sudeste com uma produção média anual de 703.271.388 kg de uvas e 247.457.541 L de vinho, o que representa cerca de 58% da produção nacional (MELLO, 2015).

No beneficiamento da uva grande quantidade de resíduo é gerado, exemplo do engaço, popularmente conhecido como o cacho lenhoso no qual estão fixados os grãos de uva. As informações referentes à constituição química e a potencialidade energética desse material ainda são raras na literatura, De acordo com Bustamante (2007) e Bertran, et al. (2004) sua utilização é limitada essencialmente ao uso como fertilizante, complemento da alimentação do gado e na remoção de metais pesados de águas residuais.

Conhecer as características químicas e energéticas da biomassa, pode torná-la fonte de matéria prima para confecção de materiais densificados, fontes primárias de calor. Por

exemplo, altos índices de carbono fixo tornam a queima da biomassa mais lenta, sendo este inversamente proporcional ao teor de materiais voláteis (BRAND, 2010).

Dias, et al. (2014) salientam que o alto poder calorífico de uma maneira simples acaba por apresentar alta eficiência energética, mantendo assim o fornecimento de energia por período maior. Altos teores de lignina e extrativos contribuem para essa elevação, conforme descreve Brand (2010). O mesmo autor salienta ainda, que altos teores de cinzas contribuem para a redução do poder calorífico, por unidade de massa, visto que os minerais não participam do processo de combustão.

Com vista a uma melhor compreensão a respeito do potencial energético do engaço de uva para geração de calor, este estudo teve como objetivo a caracterização química e energética deste material.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Caracterização da biomassa

#### 2.2.1.1 *Coleta e preparo do material*

O presente estudo foi desenvolvido junto ao laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria. Foram utilizados engaços de uva. A biomassa residual foi cedida por viticultores do município de Santa Maria, RS.

O engaço foi previamente selecionado, retirando-se materiais de origem desconhecida, resultantes do processo de colheita e moagem da uva. Após a pré-seleção, o mesmo foi seco a temperatura ambiente, com a finalidade de reduzir o alto teor de umidade inicial, em seguida foram armazenados em sacos de polietileno, e alocados em sala climatizada, com a temperatura e umidade controladas (20°C e 65% UR), até sua utilização.

#### 2.2.1.2 *Análise química das macromoléculas*

A composição química do engaço de uva foi analisada no laboratório de química da madeira (LAQUIM) da Universidade Federal de Santa Maria. Para amostragem e preparo do material seguiram-se as recomendações da norma TAPPI (T 264 om-88). Utilizando material



da fração 40/60, ou seja, fração de material que atravessou a peneira de 40 mesh e ficou retida na de 60 mesh.

Para caracterização química do engaço de uva foram realizadas as seguintes análises: Extrativos totais, lignina e holocelulose.

#### Extrativos Totais

Para quantificação de extrativos totais utilizou-se como referência a norma TAPPI (T264 CM-97). A Figura 4 apresenta as práticas laboratoriais durante a análise, feita em triplicata, conforme recomendações da norma. O teor final de extrativos foi calculado de acordo com a equação:

$$TE \% = \frac{P1-P2}{P1} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

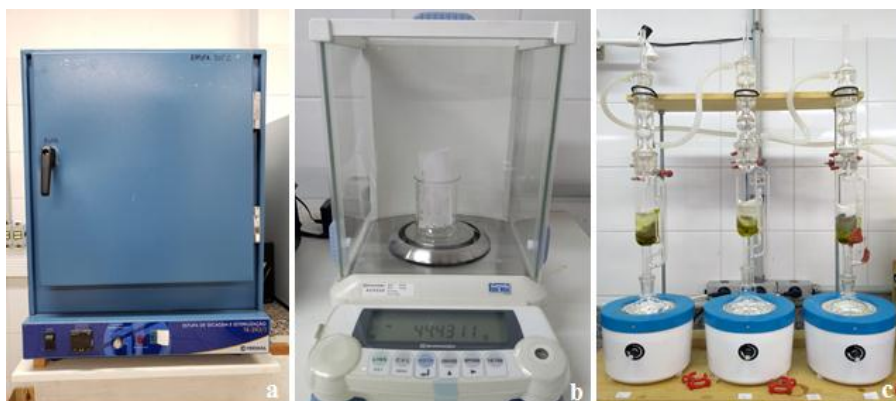
TE%: Teor de extrativos totais;

P1: Peso absolutamente seco antes da secagem em estufa, em gramas;

P2: Peso absolutamente seco depois da secagem em estufa, em gramas;

Sendo que: P2= (Peso da placa + engaço de uva) – peso da placa vazia.

Figura 4 – Procedimentos laboratoriais para análise de extrativos totais do engaço de uva. a. Estufa para secagem da amostra, b. Pesagem do material em balança analítica, c. Extração em Soxhlet para quantificação dos extrativos.



Fonte: Autor (2019)

#### Lignina Klason

Para quantificação da Lignina Klason, utilizou-se como referência a norma TAPPI (T222 om-98). A Figura 5 apresenta as etapas da análise desenvolvidas no laboratório de química da madeira, os reagentes utilizados no processo foram água deionizada e ácido sulfúrico na concentração de 72%. O cálculo da porcentagem total de lignina Klason foi obtido conforme equação 2:

$$L\% = \frac{P1}{P2} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

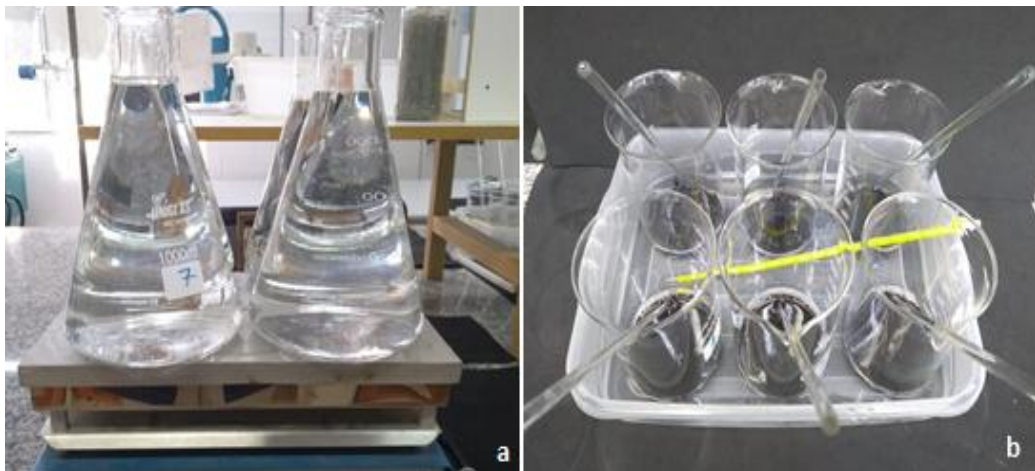
Onde:

L%: Teor de lignina Klason da amostra (%);

P1: Peso do resíduo. (g);

P2: Peso inicial da amostra, livre de extrativos. (g).

Figura 5 – Quantificação de Lignina Klason do engaço de uva. a. Aquecimento de água em chapa aquecedora, b. Solubilização da amostra contendo os reagentes.



Fonte: Autor (2019)

## Holocelulose

A fração de holocelulose da biomassa foi analisada por diferença de componentes, em relação ao teor de extrativos totais e da lignina Klason.

$$\text{Holocelulose (\%)} = 100 - (\text{Teor de Lignina} + \text{Teor de extrativos totais}) \quad \text{Equação (3)}$$

### 2.2.1.3 Análise química imediata

A composição química imediata do engaço de uva foi aferida conforme os padrões descritos nas normas TAPPI, referindo-se ao conteúdo percentual de teor de umidade, teor de cinzas (C), materiais voláteis (V) e carbono fixo (F). Todas realizadas em triplicata.

Para a determinação da umidade utilizou-se a norma TAPPI (T210 cm-93), que estabelece método para determinação da umidade em estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

$$\text{TU} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad \text{Equação (4)}$$

Onde: TU: Teor de umidade;

P1: Peso da amostra seca ao ar (peso inicial da amostra), em gramas;

P2: Peso da amostra seca em estufa, em gramas;

Sendo que: Peso seco das amostras = (Peso da vidraria + madeira seca) – peso da vidraria vazia.

#### Teor de cinzas

O teor de cinzas das amostras foi aferido de acordo com a norma TAPPI (T 211 om-93), onde é determinada a taxa de minerais presentes no material por incineração a altas temperaturas. Utilizou-se 2g de engaço de uva, triturado e classificado em peneira de 40/60 mesh, absolutamente secos, os mesmos foram acomodados em cadinhos de porcelanas e introduzidos na mufla até atingir  $526^{\circ}\text{C}$  (Figura 6).

$$\text{Teor de cinzas (\%)} = (m_1/m_2) \times 100 \quad \text{Equação (5)}$$

Onde: m1 é a massa de cinzas (em gramas) e m2 é a massa da amostra seca, também em gramas.

Figura 6 – Análise do teor de cinzas do engaço de uva. a. Preparação do material para incineração em cadinhos de porcelana, b. Mufla a altas temperaturas contendo os cadinhos.

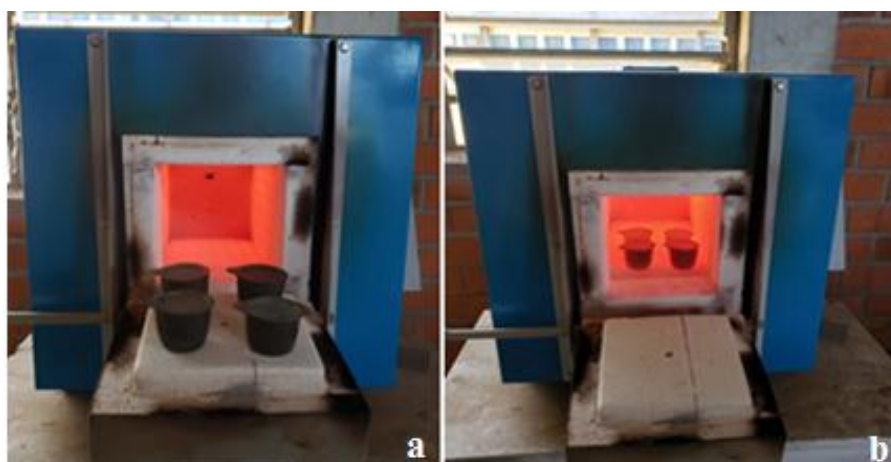


Fonte: Autor (2019).

### Materiais Voláteis

Os materiais voláteis foram quantificados conforme as recomendações da norma D1184-84 (ASTM, 2013b) utilizando mufla pré-aquecida a uma temperatura de  $900 \pm 10^\circ\text{C}$ . As amostras contendo aproximadamente 1 g (absolutamente seco) foram colocadas em cadinhos com massa conhecida e alocadas na porta da mufla pelo tempo estimado de 3 minutos, posteriormente os cadinhos contendo as amostras foram incinerados por 7 minutos no interior da mufla. O procedimento foi realizado em triplicata. (Figura 7).

Figura 7 – Análise do teor de materiais voláteis do engaço de uva em mufla com cadinhos contendo o material a ser analisado. a. Cadinhos na parte externa da mufla, b. Cadinhos no interior da mufla.



Fonte: Autor (2019)

## Carbono Fixo

A porcentagem de carbono fixo da biomassa foi calculada pela diferença entre o teor de materiais voláteis e de cinzas, de acordo com equação 6.

$$CF= 100 (MV + CZ) \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

CF : Teor e carbono fixo (%)

MV: Teor de materiais voláteis (%)

CZ: Teor de cinzas (%)

### 2.2.1.4 Determinação do Poder Colorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI)

A determinação do PCS foi realizada conforme metodologia adaptada da NBR 8633/84 (ABNT, 1984) que prescreve o método de determinação do PCS do carvão vegetal a volume constante. A análise calorimétrica foi realizada no laboratório de Bromatologia e Nutrição de Ruminantes, UFSM (LABRUMEN), em calorímetro marca Parr 6400 (Figura 8a).

As amostras na fração 40/60 mesh foram compactadas com auxílio da prensa *Parr* adaptada (Figura 8b), com o peso do material ficando na faixa de 0,5 a 0,9 g, afim de evitar o aumento excessivo de temperatura durante a combustão. Os mesmos foram alocados em uma cápsula de combustão e acoplados no suporte da bomba calorimétrica, utilizando um fio de algodão para conectar o filamento de metal à amostra. O processo de queima foi iniciado após a informação do peso do compactado com a base de metal já inserida no calorímetro, o processo teve duração média de aproximadamente 15 minutos, obtendo então a quantidade e energia liberada por grama de amostra.

Foram realizadas três repetições. O valor do PCI, que considera o teor de umidade da amostra, foi calculado posteriormente de acordo com a Equação:

$$PCI= PCS - m \cdot lv \quad \text{Equação (7)}$$

Sendo: *PCI* o poder calorífico inferior (kJ/kg), *m* a massa total de água nos produtos de combustão (g), o *lv* é o calor latente de vaporização da água que vale 2,26 kJ/kg, e o *PCS* é o poder calorífico superior (kJ/kg).

Figura 8 – Equipamentos para determinação do poder calorífico. a. Calorímetro marca *Parr* 6400, b. Prensa adaptada para compactação da amostra.



Fonte: Autor (2019)

### 2.2.2 Análise Estatística

Os resultados da análise química e energética perfazem uma estatística descritiva, e são apresentados em valores médios, com seus respectivos desvios padrões.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise química e energética da biomassa residual do engaço de uva são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Propriedades química e energética da biomassa residual de engaço de uva.

Propriedades	Unidades	Valores <sup>(1)</sup>
Teor de Extrativos	(%)	32,27 ± 0,15
Lignina	(%)	28,91 ± 0,64
Holocelulose	(%)	38,82 ± 0,50
Materiais Voláteis	(%)	70,45 ± 2,06
Teor de cinzas	(%)	8,38 ± 0,19
Carbono fixo	(%)	21,17 ± 1,95
Poder Calorífico Superior	(cal.g)	3944,10 ± 20,46

(1) Valores indicam média (n = 3) ± desvio padrão.

Os resultados obtidos na análise química imediata para produção de briquetes já comercializados no mercado são compatíveis com outras biomassas agrícolas utilizadas na densificação (Tabela 2).

Rocha, Pérez e Cortez (2004) ao analisarem quimicamente o bagaço da cana encontraram teores de materiais voláteis na faixa de 79,7%. De acordo com os mesmos autores o teor de voláteis para a biomassa casca de arroz foi de 70,01%, próximo ao identificado no estudo, Barbosa et al. (2016) encontraram valores de 71,5% de voláteis para biomassa agrícola e 79,52% para madeiras. O teor de materiais voláteis em resíduos agrícolas, de acordo com a literatura, é menor quando comparados com resíduos florestais. Conforme Brand (2010) o índice de voláteis expressa a capacidade de queima do material, sendo a parte do combustível que se volatiliza a elevadas temperaturas.

O teor de cinzas obtido no presente estudo encontra-se acima do indicado para biomassa energética, porém, semelhante a algumas biomassas agrícolas, uma vez que, os minerais não participam do processo de combustão, conforme García et al. (2013). As cinzas, comentam Protásio et al. (2014) reduzem o poder calorífico, a transferência de calor, e ainda danificam equipamentos devido a ação corrosiva que possuem.

Prozil et al. (2013) ao avaliarem quimicamente o engaço de uva encontraram teores de cinzas abaixo do obtido pelo presente estudo (7,0%), esse valor deve-se provavelmente, a maneira como o material foi preparado para análise, bem como a região de origem da biomassa.

O teor de cinzas estudado por Quirino (2002) e Chrisostomo para bagaço de cana de açúcar também foi elevado, 9,79% e 8,62% respectivamente. O último autor ainda salienta que teores maiores que os acima destacados podem inviabilizar a utilização do material como resíduo combustível em alguns sistemas de aquecimento.

Os percentuais de carbono fixo atendem aos padrões para biomassas com potencial energético. Paula et al. (2011) ao analisarem cana de açúcar o valor obtido foi de 17,76 % de carbono fixo. Comparando os teores de carbono fixo do engaço de uva analisado no estudo, com madeiras de coníferas apresentados por Brand (2010); Nogueira e Lora (2003), o mesmo mostrou-se superior.

Shen et al. (2010) enfatizam que os teores de materiais voláteis e carbono fixo para madeiras estão na faixa de 70 - 87 % e 15 - 30%, respectivamente. Dessa maneira infere-se que a biomassa agrícola de engaço de uva, apresenta boas características, semelhantes aquelas apresentadas por madeiras, que são as principais fontes de matéria-prima atualmente utilizadas para confecção de briquetes

Demirbas (2003) estabelece uma ligação direta entre carbono fixo e o teor de lignina, ou seja, o elevado teor de lignina contribui para elevação do carbono fixo. Uma vez que, a lignina de acordo com o mesmo autor, possui na sua estrutura carbono o que confere

resistência à decomposição térmica. Essa relação direta é evidenciada no presente estudo, o engajo apresenta teores de carbono fixo elevados e o mesmo ocorre com os teores de lignina.

A estreita relação dos constituintes químicos elementares da biomassa permite que se façam inferências sobre o potencial energético do engajo de uva, uma vez que se pode estimar o grau de combustão, ou seja, altos índices de carbono fixo, baixos teores de voláteis garantiram uma queima mais lenta e maior tempo de residência (BRAND, 2010).

A geração direta de calor é influenciada pelos constituintes macromoleculares (celulose, hemicelulose e lignina) e pelos extrativos presentes no material de estudo. Para Hansted et al. (2016) os teores de extrativos totais e lignina apresentam relação direta com o potencial energético. Singh et al. (2017) salienta ainda, que o alto teor de lignina aumenta o valor de aquecimento.

Pereira (2014) ao caracterizar biomassas para produção de material densificado na forma pellets, obteve valores de lignina na faixa de 20,50 % e 30,35% para espécie agrícola e florestal, respectivamente. Indicando que os resultados obtidos neste estudo encontram-se próximos aos teores encontrados em espécie florestal.

Prozil et al. (2012) ao avaliar a composição química do engajo de uva constataram valores de 17,4% de lignina, já para Spigno et. al. (2008) e para Ping et al. (2011) o engajo apresentou valores de 33-47% e 34,00%, respectivamente. Estes resultados corroboram com os encontrados neste estudo (28,91%).

O teor de extrativos mostrou-se elevado e de acordo com Castro et al. (2013); Demirbas, (2004), estes constituintes afetam de maneira positiva o conteúdo energético das biomassas.

Entretanto o poder calorífico obtido neste estudo para o engajo de uva foi relativamente inferior ao esperado, uma vez que é influenciado pelos constituintes químicos do material e pelo teor de umidade.

O elevado teor de cinzas (8,38%) pode ter afetado negativamente o Poder Calorífico como também mencionado por Protásio et al. (2011)

Silva et al. (2015), ao verificar o desempenho energético através do poder calorífico para a palha de cana de açúcar, obtiveram valores de 3732 kcal.kg, com teor de cinzas de 12,19%. Nogueira e Lora (2003) adaptado por Brand (2010) obtiveram poder calorífico em madeiras de coníferas (teor de cinzas de 0,29%) de 4700 kcal.kg em base seca, explicando dessa maneira a influência das cinzas na capacidade energética. Porém ressalta-se que mesmo com o alto teor de cinzas o engajo de uva se mostrou superior a outras biomassas agrícolas, levando em consideração que ao determinar o poder calorífico da biomassa a mesma não se



encontrava a 0% como indicado em algumas metodologias. Esse fato deu-se por na prática ser inviável a secagem prévia, devido à energia consumida no processo, optando então, por deixar o material como seria usado nas empresas ou pelos produtores, com teor de umidade na faixa de 11% indicada para produção de materiais densificados.

## 2.4 CONCLUSÕES

O engaço de uva possui propriedades químicas e energéticas que o potencializam como biomassa energética para geração de calor.

As frações de lignina, extrativos totais e carbono fixo fornecem subsídios de que o engaço pode ser empregado como material densificado na geração de calor.

No entanto, deve-se ater aos teores de cinzas relativamente elevados, que pode contribuir para o baixo desempenho, e por vezes danificar equipamentos onde a biomassa será empregada.

O poder calorífico está na faixa das demais biomassas agrícolas, porém sugere-se que o mesmo seja avaliado com diferentes teores de umidade, no intuito de melhorar a característica energética.

## 2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 36 p.
- BERTRAN, E.; SORT, X.; SOLIVA, M. & TRILLAS, I. Composting winery waste: sludges and grape stalks. **Bioresource Technology**, v. 95, n. 2, p. 203-208, 2004
- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência. 2010.
- BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; BRITO, J. O.; QUIRINO, W. F. Influência das dimensões da biomassa estocada de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden na qualidade do combustível para geração de energia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 175-183, 2014.
- BURG, P.; LUDÍN, D.; RUTKOWSKI, K.; KRAKOWIAK-BAL, A.; TRÁVNÍČEK, P.; ZEMÁNEK, P.; TURAN, J.; VIŠACKI, V. Calorific evaluation and energy potential of grape pomace. **Int. Agrophys.** v. 30, p. 261–265, 2016.
- BUSTAMANTE, M. A.; PÉREZ-MURCIA, M. D.; PAREDES, C.; MORAL, R.; PÉREZ ESPINOSA, A.; MORENO CASELLES, J. Short-term carbon and nitrogen mineralisation in soil amended with winery and distillery organic wastes. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 17, p. 3269-3277, 2007.
- CASTRO, A. F. N. M. et al. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 48, n. 6, p. 627-635, 2013.
- CHRISOSTOMO, W. **Estudo da compactação de resíduos lignocelulósicos para utilização como combustível sólido**. 56 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2011.
- CRUZ, J. M.; DOMINGUEZ, H.; PARAJO, J. C. Assessment of the Production of Antioxidants from Winemaking Waste Solids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 18, p. 5612-5620, 2004.
- DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. Progress in energy and combustion science. Turquia: **Elsevier**, v. 30, p. 219-230, 2004.
- DEMIRBAS, A. Relationship between lignina contentes and heating values of biomass. **Energy Conversion and Management**, v. 44, n. 9, p. 1481-1489, 2003.
- DIAS, A. F. J.; ANDRADE, A. M.; COSTA, D. S. J. Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agrofloretais. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 34, n. 79, p. 225-234, jul./set. 2014.
- GARCÍA, R. et al. Biomass proximate analysis using thermogravimetry. **Bioresource Technology**, v. 139, p. 1-4, 2013.
- HANSTED A. L. S.; NAKASHIMA, G. T.; MARTINS, M. P.; YAMAMOTO, H. ;YAMAJI, F. M. Comparative analyses of fast growing species in different moisture content for high

quality solid fuel production. *Fuel*, n. 184, p. 180- 184, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.06.071>.

MELLO, L. M. R. Vitivinicultura Brasileira: Panorama 2014. Bento Gonçalves: **Embrapa Uva e Vinho**, 2015. 6 p. (Embrapa Uva. Comunicado Técnico, 175).

MENDES, J.; LOPES, S.; PROZIL, S.; EVTUGUIN, D.; CRUZ-LOPES, L. Caracterização química do folhelho branco e do folhelho tinto proveniente de castas típicas da região do Dão. *Millenium*, v. 46, p. 19-32, jul. 2017.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

NORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R. **Geração termelétrica: planejamento, projeto, e operação**. Rio de Janeiro: Interciência, v. 2, 1296 p, 2004.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for 237 use in energy generation. *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, abr./jun. 2011.

PEREIRA, B. L. C. et al. Correlações entre a relação cerne/alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 217-225, 2014.

PING, L.; BROSSE, N.; SANNIGRAHI, P. & RAGAUSKAS, A. Evaluation of grape stalks as a bioresource. *Industrial Crops and Products*, v. 33, n. 1, p. 200-204, 2011.

PROTÁSIO, T. P. de.; TONOLI, G. H. D.; JÚNIOR, M. G.; BUFALINO, L.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F. Correlações canônicas entre as características químicas e energéticas de resíduos lignocelulósicos. *Cerne*, Lavras, v. 18, n. 3, p. 433-439, jul./set. 2014.

PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de combustíveis sólidos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011.

PROZIL, S.; MENDES, J.; EVTUGUIN, D.; LOPES, L. P. C. Caracterização química e estrutural do engaço da uva e avaliação do seu potencial como matéria-prima lenhocelulósica. *Millenium*, v. 44, p. 23-40, jan/jun. 2013.

PROZIL, S. O.; EVTUGUIN, D. V.; LOPES, L. P. C. Chemical composition of grape stalks of *Vitis vinifera* L. from red grape pomaces. *Industrial Crops and Products*. v. 3, n.1, p.178-184, 2012

QUIRINO, W. F.; PINHA, I. V. O.; MOREIRA, A. C.O.; SOUZA, F.; TOMAZELLO, M. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 525 - 536, 2012.

ROCHA, J. D.; PÉREZ, J. M. M.; CORTEZ, L. A. B. Aspectos Teóricos e Práticos do Processo de Pirólise de Biomassa. **Curso** —Energia na Indústria de Açúcar e Alcool UNIFEI, Itajubá, p. 12-16 de jul. 2004.

SHEN, J. et al. The prediction of elemental composition of biomass based on proximate analysis. **Energy Conversion and Management**, v. 51, n.5, p. 983-987, 2010.

SILVA, D. A.; YAMAJI, F. M.; BARROS, J. L.; RÓZ, A. L.; NAKASHIMA, G. T. Caracterização de biomassas para a briquetagem. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 713 - 722 , out./ dez. 2015

SINGH, Y. D.; MAHANTA, P.; BORA, U. Comprehensive characterization of lignocellulosic biomass through proximate, ultimate and compositional analysis for bioenergy production. **Renewable Energy**, v. 103, p. 490-500, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.039>.

SPIGNO, G.; PIZZORNO, T.; DE FAVERI, D. M. Cellulose and hemicelluloses recovery from grape stalks. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 10, p. 4329-4337, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.044>

STOLARSKI, M.J.; KRZYZANIAK, M.; WARMIŃSKI, K.; TWORKOWSKI, J.; SZCZUKOWSKI, S. Willow biomass energy generation efficiency and greenhouse gas reduction potential. **Pol. J. Environ. Stud.** v. 24, p. 2627–2640, 2015.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 204 om-88**. Solvent extractives of wood and pulp. Tappi Standards, 1996.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 211 om-93**. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 degrees Celsius, Tappi Standards, 1993.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 264 cm-97**. Sampling and preparing wood for chemical analysis, Tappi Standards, 1997.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Testing Procedures of Technical Association of the Pulp and Paper Industrial. In: **TAPPI Standard Method**. Atlanta, USA. 2001. CD-ROM.

WILD, P. J. et al. Biomass valorisation by staged degasification: a new pyrolysis-based thermochemical conversion option to produce value-added chemicals from lignocellulosic biomass. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, New York, v. 85, n. 1/2, p. 124- 133, 2009.

WORLD ENERGY COUNCIL – WEC. United Kingdom, 2010.

## **3 CAPÍTULO II: EFEITO DA GRANULOMETRIA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM ENGAÇO DE UVA**

### **3.1 INTRODUÇÃO**

O engaço de uva é um resíduo oriundo do beneficiamento da uva, conhecido popularmente como a parte lenhosa do cacho, tem como funções dar suporte e servir como via de alimentação às bagas. Ele é formado por tecidos lignificados, exibindo um elevado teor de fibras, tais como lignina, celulose e hemicelulose (DEIANA et al., 2009; ZANELLA, 2015). O engaço, como indica Schumacher (2007) representa de 3 a 7 % da massa da vindima, porém seu volume chega a 30% do total, tornando-o um dos principais resíduos do vinhedo, dificultando seu armazenamento.

Quando comparado ao bagaço e às sementes, o engaço é provavelmente o resíduo de menor utilidade atualmente, justificando uma maior exploração sobre novas aplicações deste material (PORTINHO, 2016).

No Brasil, a viticultura é uma atividade importante para a sustentabilidade de pequenas propriedades e tem se tornado igualmente relevante no desenvolvimento de algumas regiões (MELLO, 2013). A correta gestão dos resíduos acarreta ganhos econômicos e ambientais para o viticultor. O desafio é transformar o subproduto de um determinado processo em matéria-prima de outro, proporcionando o aproveitamento integral dos recursos, gerando renda e trabalho, diminuindo a pressão sobre o meio ambiente e aumentando a lucratividade do empreendimento (BELLOTE, 2018).

Uma das alternativas de aproveitamento de resíduos é através da valorização energética como material densificado em forma de briquetes. A briquetagem é um processo de reconstrução, ou seja, é a reconsolidação de material particulado por meio da aplicação de temperatura e pressão a uma massa de partículas, com ou sem adição de ligantes (QUIRINO e BRITO, 1991).

Os briquetes são amplamente utilizados como um material de energia renovável para resolver o problema da dependência e do consumo excessivo de combustível de madeira como fonte de energia para uso humano (OLUGBADE, 2019). Os briquetes, junto aos pellets são substitutos diretos da lenha em muitas aplicações, incluindo o uso residencial, em indústrias e estabelecimentos comerciais como olarias, cerâmicas, padarias, pizzarias,

laticínios, fábricas de alimentos, indústrias químicas, têxteis e de cimento dentre outros (DIAS, 2012).

No Brasil são produzidos cerca de 1,2 milhão de toneladas de briquetes por ano. Destes, 77,5% são de madeira e 22,5% de resíduos agrícolas como bagaço de cana, palha e casca de arroz, resíduos de caroço de algodão entre outros (BRAZILIAN ASSOCIATION INDUSTRY BIOMASS AND RENEWABLE ENERGY, 2012).

As características de qualidade consideradas envolvem a elevada densidade, teor de umidade, alto poder calorífico e resistência à compressão. A densidade é a quantidade de material por unidade de volume, portanto quanto maior, mais concentrada a energia.

O atrito entre as partículas e a matriz da briquetadeira, promove o aquecimento, que por sua vez, contribui para a compactação, elevando a densidade e diminuindo o teor de umidade do produto, aumentando a densidade energética destes combustíveis em comparação com a matéria-prima residual que lhe deu origem. (NONES, 2017). Dentre as características requeridas, a granulometria é a variável fundamental quando se utiliza a biomassa para uso energético. Segundo Brand (2010) é a granulometria do material que pode interferir na compactação, resultando em valores diferentes da força máxima suportada pelo mesmo, sendo também uma característica que influencia diretamente na densidade a granel dos resíduos.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da granulometria do engaço de uva nas propriedades físicas e mecânicas de briquetes para geração de calor.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Obtenção e preparo do material

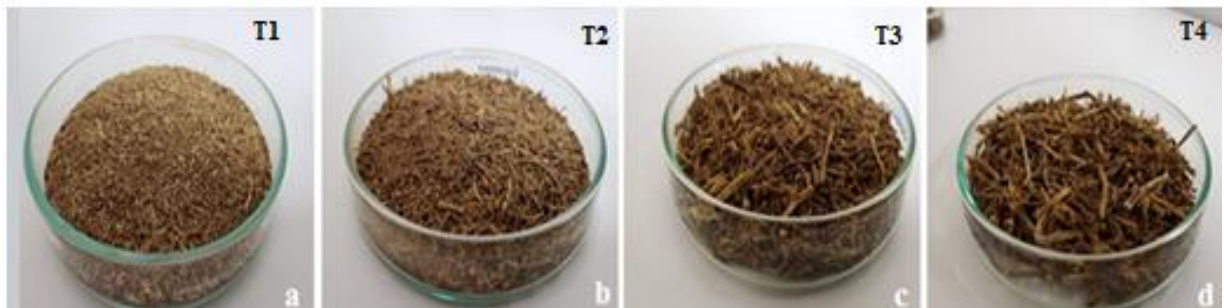
O trabalho foi desenvolvido no laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria. O engaço de uva foi obtido em vinícolas localizadas no município de Santa Maria, RS.

O engaço foi previamente selecionado, retirando-se materiais de origem desconhecida, resultantes do processo de colheita e moagem da uva. Após a pré-seleção o mesmo foi seco a temperatura ambiente, com a finalidade de reduzir o alto teor de umidade inicial (TU final na faixa de 11%) O material foi homogeneizado para confecção das amostras de trabalho em suas diferentes granulometrias.

### 3.2.2 Confeção dos briquetes

Para a confecção dos briquetes, foram utilizados diferentes tamanhos de partículas de engaço (Figura 9). A moagem da biomassa foi realizada separadamente utilizando dois tipos de moinho: moinho do tipo Willey TE – 680 Tecnal e moinho de Martelo (peneiras de 3, 5 e 8 mm).

Figura 9 – Diferentes granulometrias de engaço de uva utilizadas na produção de briquetes. a. Partículas de 2 mm; b. Partículas de 3 mm; c. Partículas de 5 mm; d. Partículas de 8 mm.



Fonte: Autor (2019).

No tratamento T1 a amostra foi processada no moinho tipo Willey TE – 680 Tecnal com malha de abertura de 2 mm, os demais tratamentos (T2, T3 e T4) foram processados em moinho de martelo, em peneiras de 3, 5 e 8 mm, respectivamente (Figura 9)

O processo de briquetagem do resíduo foi realizado em briquetadeira marca LIPPEL, modelo LB 32. A mesma possui no seu interior molde metálico cilíndrico aproximadamente de 32 mm, conforme as especificações do manual. Durante a fabricação de cada briquete, o volume do molde foi preenchido com 40 g do material homogeneizado. Para a prensagem, adotou-se uma pressão de compactação de 100 Bar, mantida por um período de cinco minutos, e um tempo de resfriamento de três minutos.

Para cada tratamento foram confeccionados sete briquetes, os briquetes apresentaram após a compactação uma altura média de 35 mm e diâmetro de 32 mm. Após as amostras foram alocadas em sala de climatização a 20°C e 65% de umidade relativa para posterior análise dos briquetes.

Os mesmos foram analisados de acordo com a densidade aparente e energética, análise de expansão volumétrica e resistência à compressão.

### 3.2.3 Avaliação dos briquetes

#### 3.2.3.1 Densidade a granel da biomassa

A densidade a granel da biomassa foi calculada para cada fração de material utilizado na produção dos briquetes. Utilizou-se um recipiente com volume conhecido (250 mL) e o peso de cada amostra. Com valores do peso do material e volume do recipiente conhecidos, calculou-se a densidade a granel pela razão das duas variáveis. Realizando três repetições para cada tratamento. A Figura 10 ilustra a metodologia desenvolvida.

$$\text{Densidade} = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}}$$

Figura 10 – Determinação da densidade a granel da biomassa em balança analítica



Fonte: Autor (2019).



### 3.2.3.2 Densidade aparente e densidade energética

A densidade aparente foi calculada por meio da relação de massa/volume, o volume aferido por meio da medição dos diâmetros em três pontos (topo, meio, base) e altura, com o auxílio de paquímetro digital marca Digimess, e a massa determinada em balança analítica com precisão de 0,001 g. Obteve-se a densidade média aparente por tratamento (Figura 11).

A densidade energética foi calculada com base nas informações obtidas do poder calorífico útil e da densidade aparente, conforme descrito abaixo.

$$DE = \frac{PCU \cdot DA}{1000}$$

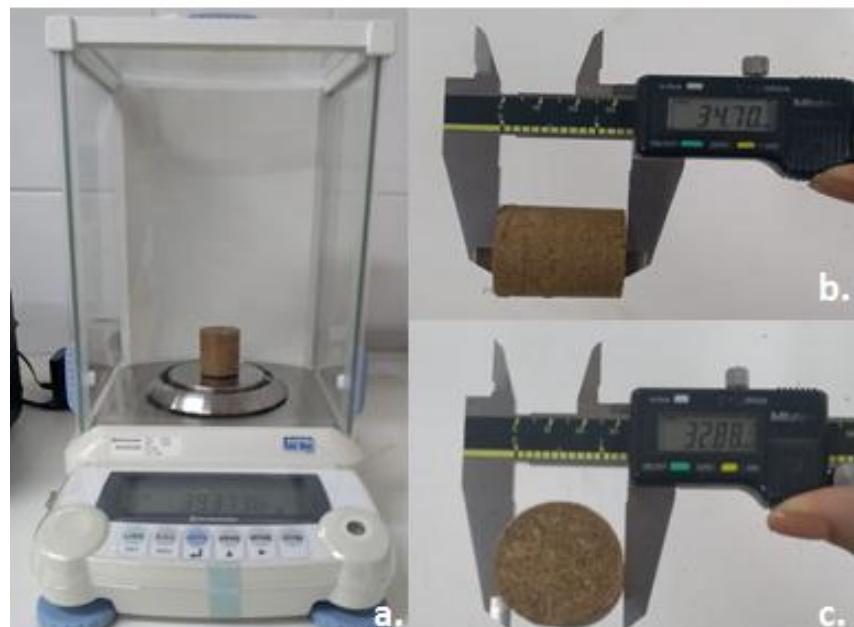
Onde:

DE: densidade energética;

PCU: Poder Calorífico Útil;

DA: Densidade aparente.

Figura 11 – Determinação da densidade aparente. a. Pesagem do briquete em balança analítica, b.c. medição das variáveis comprimento e diâmetro (topo, meio e base) dos briquetes com auxílio de paquímetro digital.



Fonte: Autor (2019).

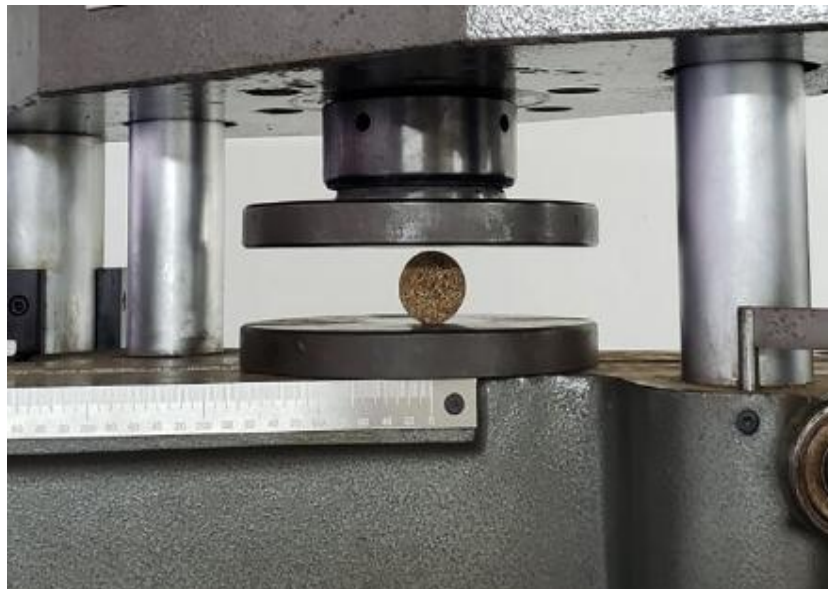
### 3.2.3.3 Análise de expansão

Para fins de análise de expansão mediu-se o diâmetro e altura de cada briquete com auxílio do paquímetro digital, com intuito de calcular volume para posterior formação da curva de dilatação. As medições ocorreram imediatamente após a fabricação dos mesmos, 1, 2, 3, 4, 5, 12, 24, 48, 72 horas após a produção.

### 3.2.3.4 Resistência à compressão

Os briquetes produzidos foram alocados em ambiente climatizado, após a análise de expansão, os mesmos foram submetidos a ensaios mecânicos de resistência a compressão em máquina de ensaio acelerado modelo EMIC DL 30000N com velocidade de  $3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  a fim de obter-se uma força máxima suportada pelo briquete até o seu rompimento total (Figura 12). Utilizou-se como metodologia para teste a norma ABNT NBR 11093-9.

Figura 12 – Ensaio de resistência à compressão em máquina de ensaio acelerado.



Fonte: Autor (2019).

### 3.2.4 Análise estatística

Para análise dos dados, o modelo experimental utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado, e analisados estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% do nível de significância, com a utilização do pacote estatístico SAS.

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Densidade a granel e densidade aparente

Os briquetes confeccionados com engaço de uva nas suas diferentes granulometrias apresentaram boas características visuais (Figura 13), sua estrutura permaneceu íntegra, sem imperfeições durante todas as etapas que precederam a metodologia destrutiva. Indicativo de que esteticamente é um material que pode ser utilizado, pois não houve desintegração das partículas após a compactação.

Informações técnicas da biomassa densificada na forma de briquetes serão explanadas ao decorrer com análises estatísticas, e comparações com outros materiais.

Figura 13 – Características visuais dos briquetes de engaço de uva, sobre diferentes ângulos.

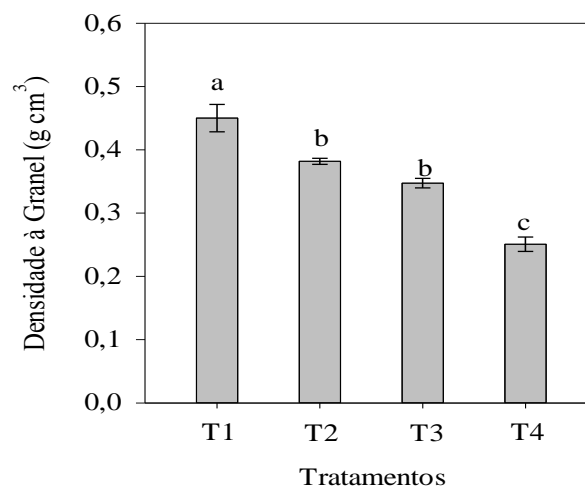


Fonte: Autor (2019).

Os valores médios de densidade a granel da biomassa para os diferentes tratamentos estão dispostos na Figura 14. Os tratamentos 2 e 3 não apresentaram diferença estatística,

enquanto o T1 ( $0,4500 \text{ g cm}^{-3}$ ) e T4 ( $0,2508 \text{ g cm}^{-3}$ ) com partículas de 2 mm e 8 mm, respectivamente, diferiram a nível de 5% de probabilidade, sendo que, aqueles com partículas menores, resultaram em maior densidade de biomassa residual. Brand (2010) destaca que, quanto menor o tamanho de partícula, maior acomodação do material e conseqüentemente maior peso, gerando densidade elevada, corroborando com os resultados obtidos neste estudo.

Figura 14 – Densidade a granel média ( $\text{g cm}^{-3}$ ) de briquetes produzidos com engaço de uva. T1 (2 mm), T2 (3 mm), T3 (5 mm) e T4 (8 mm).

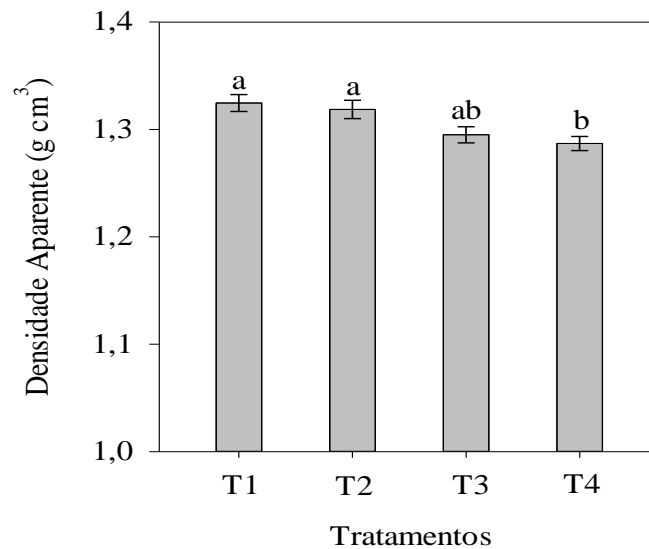


Barras horizontais representam o erro padrão ( $n = 3$ ). Médias seguidas pela mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Vale et al. (2011) apresentam uma classificação da densidade a granel, valores inferiores a  $0,1 \text{ g cm}^{-3}$  são consideradas leves, não sendo indicadas no emprego de materiais que necessitam esforços, como no caso de briquetes, no transporte, armazenamento e na própria resistência mecânica o que influencia no tempo queima do material.

A Figura 15 apresenta os valores médios de densidade aparente dos briquetes nos diferentes tratamentos. Os tratamentos 1 e 2, não apresentaram diferenças estatísticas.

Figura 2 – Densidade Aparente média ( $\text{g cm}^{-3}$ ) de briquetes produzidos com engaço de uva nos diferentes tratamentos. T1 (2 mm), T2 (3 mm), T3 (5 mm) e T4 (8 mm).



Barras horizontais representam o erro padrão ( $n = 7$ ). Médias seguidas pela mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ); ns = não significativo.

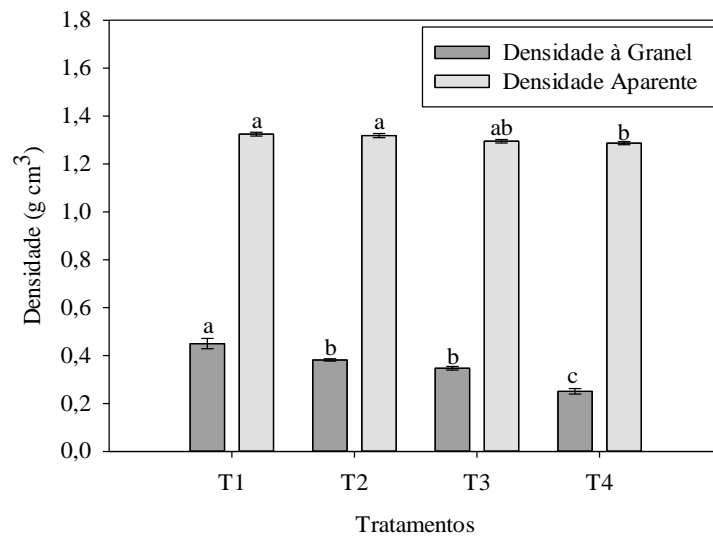
O aumento da densidade aparente dos briquetes gerou a redução do volume de biomassa a granel, o que conforme Silva et al. (2015) demonstra a eficiência do processo de briquetagem em termos de estocagem e transporte.

Dentre os resíduos agrícolas de destaque na utilização de biomassa para geração de calor destacam-se os derivados da cultura da cana de açúcar. Yamaji et al. (2013) ao utilizarem o bagaço da mesma, obtiveram densidade aparente média de  $0,66 \text{ g cm}^{-3}$ , já nos estudos de Brasil et al. (2015), os valores foram superiores,  $0,9 \text{ g cm}^{-3}$ , utilizando granulometria na faixa 0,4 mm. Brunerová et al. (2018) encontraram valores de densidade aparente para briquetes produzidos com casca de cana e fibra de bambu de  $1,067 \text{ g cm}^{-3}$  e  $0,98 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente.

A densidade aparente é um dos fatores que contribuem para que um determinado material possua alta qualidade como combustível biológico. Pesquisas desenvolvidas estabelecem uma faixa de  $1,0 \text{ g cm}^{-3}$  de densidade, para que o mesmo apresente boa qualidade (OBI et al. 2016; KALIYAN et al. 2009; WAKCHAURE et al. 2009). Diante dessa perspectiva, pode-se inferir em termos de densidade aparente, que os briquetes produzidos com engaço de uva, possuem elevada qualidade e podem ser empregados na geração de calor, pois todos os tratamentos apresentaram densidade aparente superiores a  $1 \text{ g cm}^{-3}$ , corroborando com valores encontrados por Protásio et al. (2011), Paula et al. (2011b), Quirino et al. (2012).

Considerando-se os valores médios de densidade a granel e aparente do engaço de uva, antes e após o processo de briquetagem (Figura 16) evidencia-se a tendência do aumento da densidade pós-compactação, posto que, o tratamento T1 apresentou o maior valor de densidade a granel consequentemente o mesmo aconteceu com a densidade aparente.

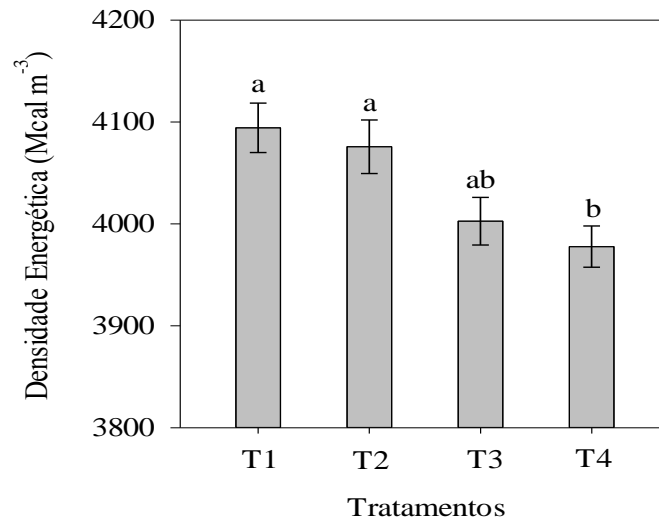
Figura 16 – Densidade a granel e aparente de briquetes produzidos nos diferentes tratamentos.



Barras horizontais representam o erro padrão ( $n = 7$ ). Médias seguidas pela mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ); ns = não significativo.

A Figura 17 apresenta valores médios de densidade energética (Mcal m<sup>-3</sup>) para as diferentes granulometrias de biomassa densificada. O maior valor de densidade aparente gerou também a maior densidade energética, corroborando com resultados encontrados na literatura. Valores altos de densidade aparente contribuem para elevação da densidade energética (DE), esta que possui influência significativa na qualidade do material densificado.

Figura 17 – Densidade Energética média de briquetes produzidos com engaço de uva nos diferentes tratamentos.



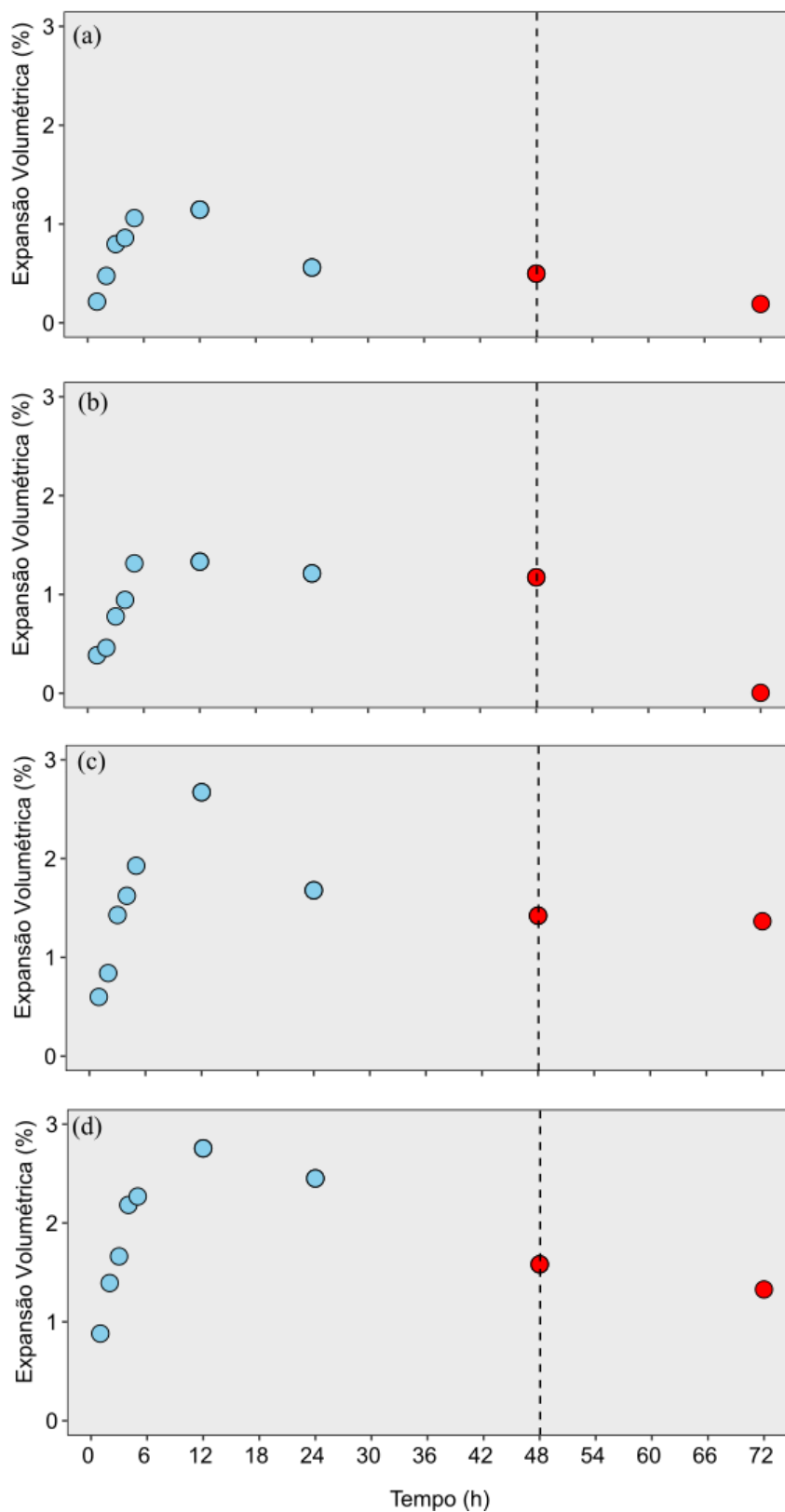
Barras horizontais representam o erro padrão ( $n = 7$ ). Médias seguidas pela mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Para Souza e Vale (2016) a densidade energética se relaciona com a energia contida em um dado volume. Os mesmos autores ao avaliarem a densidade energética de briquetes com biomassa de origem florestal *Dipteryx odorata* Aubl. Willd., encontraram densidade energética  $4,61 \text{ Gcal m}^{-3}$ , já para biomassas de origem agrícola, casca de arroz e o bagaço-decana, a densidade foi de  $3,55$  e  $4,33 \text{ Gcal.m}^{-3}$  respectivamente. Estes estão próximos aos encontrados no presente estudo de  $4,094 \text{ Gcal.m}^{-3}$  para o tratamento 1 e  $3,977 \text{ Gcal.m}^{-3}$  para o tratamento 4..

### Expansão volumétrica

A Figura 18 apresenta a expansão volumétrica em função do tempo nos tratamentos estudados. Partículas maiores apresentaram maiores valores médios de expansão volumétrica.

Figura 18 – Variação espacial (horas) da expansão volumétrica média (%) de briquetes produzidos nos diferentes tratamentos. T1 (a), T2 (b), T3 (c) e T4 (d).



Médias seguidas pela mesma cor não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A expansão máxima nos diferentes tratamentos ocorreu nas primeiras 12 horas após o processo de briquetagem. Após esse período, pequenas oscilações foram observadas, a partir



das 48 horas ocorreu a estabilização dos briquetes, uma vez que não houve diferença significativa após esse período. Para Protásio et al. (2011) a variação volumétrica tende a ser maior nas primeiras horas após densificação do material.

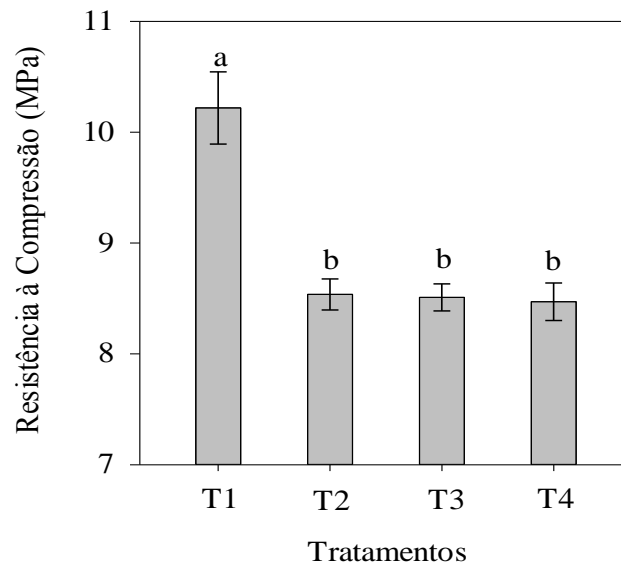
A relação entre as diferentes granulometrias mostrou-se proporcional. À medida que aumentou o tamanho das partículas houve o aumento na sua expansão. Os tratamentos representados pelas menores dimensões de material, T1 e T2 apresentaram expansão média de 0,49% e 0,63% respectivamente, no tratamento (T4), onde a biomassa densificada apresentava maiores dimensões, o valor médio de expansão volumétrica foi de 1,63%. Os valores encontrados neste estudo são inferiores aos obtidos por Brasil et al. (2015) onde briquetes de cana de açúcar apresentaram expansão média de 22%.

Contudo, o comportamento da expansão volumétrica assinala que os briquetes produzidos com o engaço de uva apresentam uma boa estabilidade, sendo que os valores baixos, comparado com outras biomassas empregadas para mesma finalidade, assumem uma estabilidade dimensional satisfatória.

### **Resistência à compressão**

A Figura 19 apresenta os resultados de resistência à compressão dos briquetes de engaço de uva nas suas diferentes granulometrias. Apenas o tratamento T1 se mostrou superior, diferindo estatisticamente dos demais, apresentando resistência por compressão diametral de 10,21 Mpa, evidenciando a maior adesão das partículas de menor granulometria.

Figura 19 – Resistência média à compressão de briquetes produzidos com engaço de uva nos diferentes tratamentos.



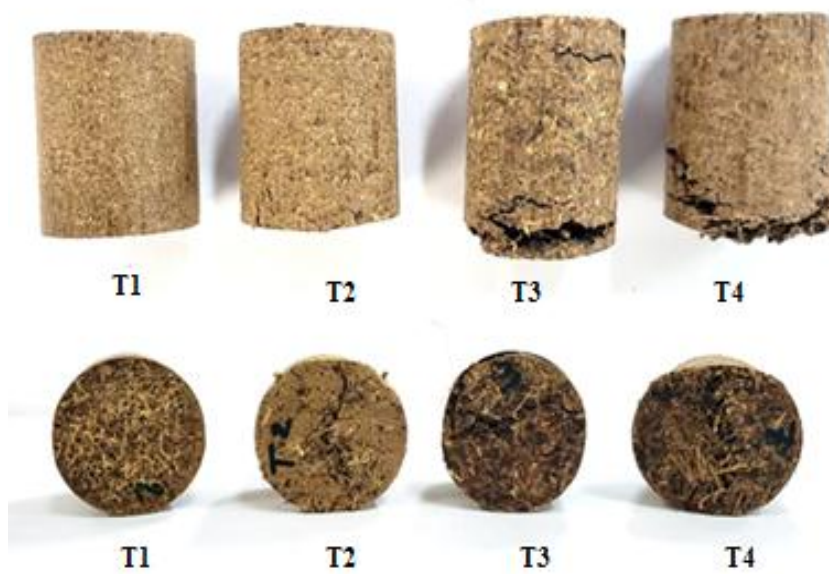
Barras horizontais representam o erro padrão ( $n = 7$ ). Médias seguidas pela mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Para Obi et al. (2016), Kaliyan et al. (2009) e Wakchaure et al. (2009) a qualidade mecânica de briquetes é proporcional à densidade aparente, o que corrobora com resultados obtidos neste estudo. No tratamento (T1) a maior densidade de  $1,3246 \text{ g cm}^{-3}$  também resultou na maior resistência (10,21 Mpa).

A resistência mecânica apresentada neste estudo para briquetes de engaço de uva é considerada elevada, assim como sua densidade. Para Shaw (2008) granulometrias menores tendem a possuir elevada densidade e resistência mecânica, sendo que o inverso também ocorre, ocasionando o aparecimento de fissuras que comprometem a qualidade do material.

Outro fator a destacar é o elevado teor de lignina presente no engaço de uva (28,91%). Zobel (1989) enfatiza que a lignina é uma macromolécula que garante resistência à parede celular. No processo de briquetagem a lignina passa a atuar como agente ligante natural, formando pontes sólidas, aumentando a resistência mecânica, que é acentuada devido à transição vítrea que ocorre na macromolécula quando exposta a altas temperaturas (KALIYA E MOREY 2010). A Figura 20 mostra o aspecto visual dos briquetes pós-ensaio de resistência mecânica, denotando os resultados quantitativos obtidos no ensaio destrutivo.

Figura 20 – Briquetes pós-ensaio de resistência mecânica nos diferentes tratamentos (T1, T2, T3 e T4).



Fonte: Autor (2019).

### 3.4 CONCLUSÕES

O uso do engaço de uva densificado em forma de briquetes pode ser uma alternativa para geração de energia.

Partículas menores apresentam resultados mais eficientes, quando comparados com granulometrias maiores.

A elevada densidade aparente e energética bem como a resistência mecânica encontrada no estudo são características físico-mecânicas aptas para tornar o briquete de engaço de uva um material com potencial energético, com vantagens em termos de transporte e armazenamento.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTRAN, E.; SORT, X.; SOLIVA, M.; TRILLAS, I. Composting winery waste: sludges and grape stalks. **Bioresource Technology**, v. 95, n. 2, p. 203-208, 2004.
- BRAND, M. A. **Energia de Biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114 p.
- BRASIL, D. S.; MARTINS, M. P.; NAKASHIMA, G. T.; YAMAJI, F. M. Use of sugarcane bagasse and candeia waste for solid biofuel production. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 185 - 192, 2015.
- BRAZILIAN ASSOCIATION INDUSTRY BIOMASS AND RENEWABLE ENERGY. Brazil Status Report 2012: bioenergy biomass renewable energy.
- BRUNEROVÁ, A.; HYNEK ROUBÍK, H.; BROŽEK, M. Bamboo Fiber and Sugarcane Skin as a Bio-Briquette Fuel. **Energies**, Vv. 11, n. 2186, 2018.
- BUSTAMANTE, M. A.; PÉREZ-MURCIA, M. D.; PAREDES, C.; MORAL, R.; PÉREZ ESPINOSA, A.; MORENO CASELLES, J. Short-term carbon and nitrogen mineralisation in soil amended with winery and distillery organic wastes. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 17, p. 3269-3277, 2007.
- DEIANA, A. C. et al. Use of grape stalk, a waste of viticulture industry, to obtain activated carbon. **Journal of Hazardous Materials**, v. 172, p. 13-19, 2009.
- DIAS, J. M. C. S. et al. **Produção de briquetes e pèletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012.
- KALIYA, N.; MOREY, R. V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. **Biomass and Bioenergy**. v. 33, n. 3, p. 337-359, 2009.
- KALIYA, N.; MOREY, R. V. Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from com stover and switchgrass. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 3, p. 1082-1090, 2010.
- MELLO, L. M. R. Vitivinicultura Mundial: Principais Países e Posição do Brasil. Comunicado técnico 121. Bento Gonçalves, RS. Agosto, 2013.
- NONES, D. L., BRAND, M. A.; MELO, C. G.; FRIEDERICHS, G. Biomassa residual agrícola e florestal na produção de compactados para geração de energia. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 2, p. 155-164, 2017.
- OBI, O.F.; OKONGWU, K. C. H. Characterization of fuel briquettes made from a blend of rice husk and palm oil mill sludge. **Biomass Convers. Biorefinery**, v. 6, p. 449–456. 2016.
- OLUGBADE, T.; OLUWOLE, O.; MOHAMMED, T. Influence of Binders on Combustion Properties of Biomass Briquettes: A Recent Review. **BioEnergy Research**, v. 12, n. 1, p. 241–259, jun. 2019

PAULA, L. E. e R.; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. N.; ASSIS, C. O.; BALIZA, A. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 103- 112, 2011.

PORTINHO, R. **Aproveitamento do engaço da uva para remoção de cafeína por adsorção**. 2016. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

PROTÁSSIO, T. DE P.; ALVES, I. C.N., TRUGILHO; P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E.R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 31, n. 38. p. 273-283. Colombo, 2011.

PROZIL, S. O. **Caracterização Química do Engaço da Uva e Possíveis Aplicações**. 2008. Dissertação (Mestrado em Química) –Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1991. Série Técnica, n. 13.

QUIRINO, W. F.; PINHA, I. V. O.; MOREIRA, A. C.O.; SOUZA, F.; TOMAZELLO, M. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 525 - 536, 2012.

SCHUMACHER, W. A desengaçadeira e o gosto de engaço. **Adega**, v. 23, 2007.

SHAW, M. D. **Feedstock and process variables influencing biomass densification**.2008 MSc Dissertation. University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada, 2008

SILVA, D. A.; YAMAJI, F. M.; BARROS, J. L.; RÓZ, A. L.; NAKASHIMA, G. T. Caracterização de biomassas para a briquetagem. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 713 - 722 , out. / dez. 2015

SOUZA, F. de; VALE, A. T. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 36, n. 88, p. 405-413, out./dez. 2016

VALE, A. T.; MENDES, R.M.; AMORIM, M.R.S.; DANTAS, V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, Lavras v.17, n.2, p.267-273, 2011.

WAKCHAURE, G.C.; MANI, I. Effect of binders and pressures on physical quality of some biomass briquettes. **Journal of Agricultural Engineering**. v. 46, p. 24–30, 2009.

YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; CHRISOSTOMO, W.; FLORES, W. P.; Análise do comportamento higroscópico de briquetes. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 18, 2013.

ZANELLA, O. **Produção de Carvão Ativado a Partir do Engaço da Uva e Estudo da Regeneração Eletroquímica do Mesmo em um Reator Desenvolvido em Escala Laboratorial**. 2015. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control.** 1a. ed., Springer-Verlag. USA, p. 363,1989.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os briquetes produzidos com o engaço de uva, uma das biomassas residuais oriunda da viticultura mostraram-se eficientes nos aspectos químicos, energéticos e estruturais. Desse modo, a hipótese H1 torna-se válida, podendo o engaço ser utilizado como matéria-prima na confecção de briquetes.

Com vias a fornecer subsídios aos produtores e fomentar o desenvolvimento regional, empregar o engaço de uva na fabricação de briquetes garantirá ao setor vitivinícola à otimização da cadeia produtiva, uma vez que, tornará a biomassa residual geradora de energia.

Para tanto, é preciso que a pesquisa seja expandida, avaliando outras características como índice de combustão, tempo de queima e buscar alternativas para que a potencialidade energética seja cada vez mais eficiente.

Sugere-se também, pesquisas in loco com produtores de determinada região com levantamentos econômicos que possam ser atrelados aos aspectos já estudados.

Em se tratando de um material residual natural, com uso viável na escala industrial, a pesquisa torna-se pioneira e de grande importância tanto para pequenos e médios produtores, quanto como um valioso ganho ambiental e social.