

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL DE USO RESIDENCIAL  
COMERCIALIZADO EM VITÓRIA DA CONQUISTA – BA**

**TIAGO SILVA PESSOA**

**VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA-BRASIL  
MAIO – 2022**

**TIAGO SILVA PESSOA**

**QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL DE USO RESIDENCIAL  
COMERCIALIZADO EM VITÓRIA DA CONQUISTA – BA**

**ORIENTADOR: DALTON LONGUE JÚNIOR**

Monografia apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA-BRASIL  
MAIO – 2022**

**TIAGO SILVA PESSOA**

**QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL DE USO RESIDENCIAL  
COMERCIALIZADO EM VITÓRIA DA CONQUISTA – BA**

Monografia apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovada em 16 de maio de 2022

Comissão Examinadora:



---

Douglas Batista da Costa (Engenheiro Florestal) – UESB



---

Dra. Maria Fernanda Vieira Rocha (D.Sc., Ciência e Tecnologia da Madeira) - Bracell



---

Prof. Dalton Longue Júnior (D.Sc., Ciências Florestais) – UESB Orientador

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>5</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
1.1. OBJETIVOS.....	7
Objetivo Geral: .....	7
Objetivos Específicos: .....	7
<b>2.- REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 Carvão vegetal e suas propriedades tecnológicas.....	8
2.2 Desempenho energético e econômico do carvão vegetal nos setores industrial e comercial.....	14
2.3 Uso residencial de carvão vegetal no Brasil.....	16
2.4 Qualidade do carvão vegetal e a importância de sua avaliação.....	16
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
3.1. Coleta das embalagens de carvão vegetal.....	18
3.2. Informações obtidas das embalagens dos produtos.....	18
3.3. Avaliação da granulometria do carvão vegetal .....	18
3.4. Determinação das propriedades físicas do carvão vegetal .....	20
3.5. Determinação das propriedades químicas do carvão vegetal.....	22
3.6. Critérios para a avaliação da qualidade do carvão vegetal de uso residencial.....	23
3.7. Análises estatísticas do experimento .....	24
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
4.1 Informações obtidas nas embalagens de carvão vegetal industrializado .....	26
4.2 Avaliação granulométrica do carvão vegetal.....	32
4.3 Determinação das propriedades físicas do carvão vegetal .....	33
4.4. Propriedades químicas do carvão vegetal.....	38
4.6 Avaliação global da qualidade do carvão vegetal de acordo com o selo <i>Premium</i> .....	43
4.6 Análise estatística multivariada.....	44
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>48</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>49</b>

## RESUMO

PESSOA, Tiago Silva. Discente do curso de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, maio de 2022. **Qualidade do carvão vegetal de uso residencial comercializado em Vitória da Conquista – BA.** Orientador: Dalton Longue Júnior.

O carvão vegetal é um importante insumo energético utilizado no setor residencial e siderúrgico. A falta de informação sobre a qualidade do carvão vegetal consumido nas residências, em particular na cidade de Vitória da Conquista – BA, prejudica o consumidor final na escolha do produto. O objetivo foi avaliar a qualidade de diferentes marcas de carvão vegetal comercializadas em Vitória da Conquista, a partir das análises de suas propriedades físicas e químicas. Foram coletadas 10 marcas de carvão comercializadas nos mercados locais, em três períodos diferentes (repetição), totalizando 30 amostras. Foram anotadas as informações dos rótulos e realizadas análises das propriedades físicas (densidade, umidade e granulometria) e químicas (composição química imediata) para avaliação da qualidade. Todos os carvões apresentaram ao menos uma das propriedades fora dos padrões do selo *Premium* do estado de São Paulo (referência). O carvão que mais se aproximou de ser classificado como de qualidade satisfatória por atender quatro das cinco propriedades testadas foi o carvão da marca E. As análises estatísticas multivariadas confirmaram que os carvões podem ser agrupados em 3 grupos, em que cada grupo sofreu influência de diferentes propriedades do carvão. A análise de agrupamento apresentou um ponto de corte de 55,8% na separação dos 3 grupos.

**Palavras-chave:** densidade; composição química; ACP.

## ABSTRACT

Charcoal is an important energy source used in the residential and steel industry. The lack of information on the charcoal quality consumed in residences, particularly in the city of Vitória da Conquista – BA, prejudices the final consumer in the choice of the product. The objective was to evaluate the quality of different brands of charcoal commercialized in Vitória da Conquista, based on the analysis of their physical and chemical properties. Ten brands of charcoal sold in local markets were collected in three different periods (repetition), totaling 30 samples. The information on the labels were took note. Analyzes of physical properties (density, moisture and granulometry) and chemical properties (immediate chemical composition) were carried out to evaluate the quality. All the charcoals presented at least one property outside to the standard, considering of the *Premium* seal of the São Paulo state (reference). The charcoal closest to being rated as satisfactory quality for satisfying four of the five properties tested was brand E. The multivariate statistical analyses confirmed that the charcoals can be grouped into 3 groups, where each group was influenced by different charcoal properties. The cluster analysis showed a cut-off point of 55.8%, to separate the 3 groups.

**Keywords:** density, chemistry composition, PCA.

## 1. INTRODUÇÃO

O carvão vegetal tem seu uso descrito desde épocas remotas da história humana, é um produto originado do submetimento da madeira a um processo denominado carbonização, onde a madeira é exposta a altas temperaturas – na faixa de 300 a 500° C (MENDES et al., 1982; MACHADO et al., 2014) e atmosfera com pouco ou nenhum oxigênio. Por ser um material renovável e, tido como neutro em emissões atmosféricas, tem sido cada vez mais utilizado pelos setores industriais para geração de energia, principalmente, o setor siderúrgico brasileiro.

O Brasil é o maior produtor e consumidor de carvão vegetal a nível mundial (IBÁ, 2021), com cerca de 6,2 milhões de toneladas produzidas em 2020 sendo grande parte da sua produção (83,1%) destinada à indústria siderúrgica para a redução do minério (EPE, 2021). Entretanto, desse total, uma menor e importante parcela, de aproximadamente 10,2%, é destinada para geração de energia/calor nas residências (EPE, 2021).

Para que se tenha um melhor aproveitamento energético, uma caracterização adequada e uma avaliação da qualidade do carvão vegetal são imprescindíveis. São muitos os estudos na literatura que estão focados na qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico, enquanto poucos são encontrados com destaque na qualidade do carvão para uso residencial. Também não há na literatura referência sobre as características do carvão vegetal comercializado em Vitória da Conquista ou na Bahia, sendo poucos também os estudos na região Nordeste do país.

Além das qualidades do produto, importante para produtor e consumidor, as informações contidas nas embalagens de carvão vegetal muitas vezes são imprecisas, devendo o consumidor ficar atento ao local de procedência, quantidade e umidade, selos/rótulos de importância social e ambiental, e principalmente, à origem (se florestas nativas, resíduos ou florestas plantadas para fins energéticos). O carvão vegetal mesmo para uso doméstico deve ser produzido com base na sustentabilidade do negócio.

## 1.1. OBJETIVOS:

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo foi avaliar a qualidade do carvão vegetal para uso residencial comercializado na cidade de Vitória da Conquista, a partir da determinação e análise de suas propriedades físicas e químicas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar a origem da produção de carvão vegetal comercializado na cidade de Vitória da Conquista;
- Adaptar uma metodologia para avaliação da qualidade do carvão vegetal (densidade aparente e a granel, granulometria em comprimento e largura, e composição química imediata), no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia;
- Desenvolver a linha de pesquisa sobre Energia da Madeira do Grupo de Estudos de Produtos Florestais (Woodtech) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Carvão vegetal e suas propriedades tecnológicas

No momento da carbonização da madeira, diversos fatores devem ser levados em conta quando se deseja produzir carvão vegetal de boa qualidade. As características físicas, químicas e anatômicas da madeira são de extrema relevância para obtenção de um bom carvão, e, juntamente com as variáveis do processo de carbonização, influenciam diretamente na qualidade do material a ser produzido (PROTASIO et al., 2015; VALE et al., 2010).

Podem ser citadas como importantes características do carvão vegetal a serem determinadas: umidade, granulometria, composição química, densidade, porosidade, poder calorífico superior, resistência mecânica e reatividade (BRITO, 1993; MENDES et al., 1982).

### 2.2. Propriedades físicas do carvão vegetal

#### Umidade

A literatura aponta a umidade como uma propriedade indesejada no carvão vegetal, atuando de maneira negativa e diminuindo a produção energética do carvão (BRITO, 1993; ROSA et al., 2012; BRAND et al., 2015; ANATER et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019; SILVA et al., 2019). Brito (1993) ao publicar uma circular técnica sobre a qualidade do carvão vegetal destinado ao uso siderúrgico, apontou a umidade como uma propriedade que atua diminuindo a eficiência da combustão ao absorver parte do calor para vaporização da água.

Quanto maior a umidade no carvão vegetal, mais calor é demandado para a vaporização da água, gerando diminuição do poder calorífico do material (BRITO, 1993, BASSO et al., 2020). Nesse sentido, é recomendado que seus teores sejam os menores possíveis (BRITO, 1993).

Devido à alta higroscopicidade do carvão vegetal, além da preocupação acerca da obtenção de uma baixa umidade no carvão, cuidados devem ser tomados posteriormente à sua produção para a manutenção de uma umidade mais constante

possível, associado ao transporte e armazenamento adequado (BRITO, 1993, DIAS JÚNIOR et al., 2016).

De acordo com a Resolução nº 10/2003 da Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo (SSA-SP), que indica os parâmetros mínimos da qualidade do carvão vegetal (PMQ) para o recebimento do selo carvão *Premium* no estado de São Paulo, o carvão vegetal necessita ter umidades inferiores a 5% para obter qualidade satisfatória para uso residencial (SÃO PAULO, 2003).

### Densidade a granel

Por conta de sua praticidade, a densidade a granel acaba sendo a propriedade mais importante entre os produtores e consumidores de carvão vegetal (MENDES et al., 1982).

Dentre os tipos de densidades utilizadas na avaliação da qualidade do carvão vegetal (aparente, granel e real), visando a operação dos fornos na siderurgia, a densidade a granel é apontada como a mais importante entre as demais por estar relacionada com o espaço útil ocupado por carvão vegetal dentro dos fornos (BRITO et al., 1982). Ao se traçar um paralelo com o setor residencial, percebe-se da densidade a granel um papel semelhante ao anteriormente visto no desempenho do biorredutor, mesmo sendo empregado um volume bem inferior de carvão vegetal.

Brito et al. (1982) explicam que a densidade aparente e densidade real do carvão vegetal ficam quase que estritamente limitados a trabalhos acadêmicos de laboratório, já que envolvem peças pequenas e, portanto, sem muita aplicação prática.

Para fins residenciais, a referência empregada para densidade a granel é a constante na norma do selo *Premium*, que informa que para obter qualidade satisfatória, o carvão vegetal necessita apresentar valor superior a  $230 \text{ kg.m}^{-3}$  (SÃO PAULO, 2003).

### Densidade aparente

Ao trabalhar com madeiras ou com os produtos advindos de sua transformação, como o carvão vegetal, a densidade aparente é sem dúvida uma propriedade física muito estudada (MENDES et al., 1982; DIAS JÚNIOR et al., 2015a;

DIAS JÚNIOR et al., 2015b; PROTÁSIO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2010; FIGUEIREDO et al., 2018; ANATER et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019, PEREIRA, 2021). Na busca pela diversificação do uso de carvão vegetal, a densidade aparente juntamente com a densidade a granel adquirem um caráter de maior destaque.

Segundo Oliveira et al. (1982), a densidade aparente sofre pouca influência da granulometria do carvão vegetal em que peças menores apresentam valores similares a peças maiores. Por outro lado, a granulometria exerce uma forte influência na densidade a granel, em que peças menores ocasionam um aumento da massa de carvão vegetal contido em um recipiente de volume especificado.

Para os carvões destinados ao setor residencial, a alteração da densidade a granel promove mudanças principalmente no tamanho das embalagens, uma vez que aumentando a densidade, menores volumes são necessários para conter a mesma massa de carvão vegetal.

Devido à uma maior concentração de massa, peças de carvão vegetal com maior densidade aparente tendem a liberar mais energia quando queimadas (maior poder calorífico), aumentando o rendimento produtivo para um mesmo volume de carvão (Assis et al., 1982, Damásio et al., 2013). Vale ressaltar que tal constatação, feita para o biorredutor direcionado ao abastecimento do setor siderúrgico, também é válida para o setor residencial, uma vez que, para uma queima em ambiente residencial haverá uma menor necessidade de reposição ao se utilizar um carvão mais energético.

Há diversos trabalhos na literatura, como o de Neves et al. (2011), Protásio et al. (2015) e Vale et al. (2010) em que os autores encontraram relação positiva entre a densidade aparente do carvão vegetal e a densidade básica da madeira utilizada na carbonização, bem como, com outras propriedades de relevante importância, como o teor de lignina.

## Granulometria

O tamanho das peças de carvão vegetal, ou seja, sua granulometria, possui importante participação durante o processo de queima. Peças menores proporcionam maior superfície específica, uma maior área de transferência de calor e, faz com que o carvão queime mais rápido gerando maiores temperaturas que peças de tamanhos maiores (DIAS JÚNIOR et al., 2015a).

A granulometria do carvão vegetal é uma propriedade de difícil controle e alta variabilidade, devido uma série de fatores, tais como: heterogeneidade das madeiras, transporte, manuseio e resistência mecânica do carvão, e tecnologia dos fornos empregados (BRITO, 1993). No entanto, é uma propriedade passível de gerenciamento através da adoção de peneiramentos com limite de tolerância preestabelecidos, tal como ocorre com o carvão vegetal destinado a abastecer o setor siderúrgico (BRITO, 1993).

Em embalagens de carvão vegetal consumidos no setor residencial, é notável a presença de peças com diferentes granulometrias, incluindo o pó, que recebe o nome de “fino” (DIAS JÚNIOR et al., 2015a).

### Friabilidade

A friabilidade consiste na suscetibilidade do carvão vegetal em fragmentar-se e produzir pó, processo esse que ocorre naturalmente por consequência de seu manuseio (carregamento, embalagem, transporte e peneiramento) e que sofre influência da umidade, diâmetro e comprimento da madeira (SOBRINHO, 2016; CARNEIRO et al., 2013). Segundo Machado et al. (2014), altas temperaturas de carbonização tendem a produzir um carvão vegetal de menor resistência mecânica e maior geração de finos ao longo da cadeia produtiva.

De acordo o selo *Premium*, o teor de finos gerados pelo carvão assim que embalado deve ser igual ou inferior a 3% do peso líquido contido na embalagem (SÃO PAULO, 2003). A mesma resolução adota como material fino aquele de tamanho inferior a 12 mm.

### 2.2. Propriedades químicas do carvão vegetal

Como a madeira é um material heterogêneo quanto a sua composição química, é de se esperar que o carvão vegetal apresente também considerável variação em seus componentes químicos, sendo necessário o conhecimento de suas propriedades para um melhor aproveitamento (MACHADO et al., 2014). De acordo Brito (1993), a composição química é considerada como uma das propriedades mais importantes e valorizadas quando se trata da qualidade do carvão vegetal.

## Carbono fixo

A carbonização da madeira é um processo que visa a concentração do elemento carbono e liberação do oxigênio. O carbono fixo corresponde à quantidade de carbono estrutural que permanece fixo no carvão vegetal após o desprendimento dos gases e possui relação positiva com a densidade energética do material (MENDES et al., 1982). Segundo Brito (1993); Assis et al., (2012) e Machado et al. (2014), quanto maior o conteúdo de carbono fixo no carvão vegetal, mais energia ele produzirá.

Teores mais elevados de carbono fixo são também recomendados porque dessa forma o biorredutor queima mais lentamente, gerando energia por mais tempo (ASSIS et al., 2012), sendo essa uma característica apreciável tanto para siderurgia como para uso residencial.

O carbono fixo, além de ser uma característica química de grande influência na qualidade e utilização do carvão vegetal, possui relação com a densidade básica e o teor de lignina da matéria-prima utilizada (BRITO, 1993; PROTASIO et al., 2014).

Por estar associada com uma maior ou menor liberação de gases da madeira durante a produção do carvão vegetal, a temperatura final de carbonização é uma das variáveis de processo que mais se correlacionam com o carbono fixo: o carvão vegetal tende a apresentar maiores conteúdos de carbono fixo conforme é aumentada a temperatura final da carbonização (MENDES et al., 1982; DEMIRBAS, 2001; ASSIS et al., 2012; PEREIRA, 2021; PROTÁSIO et al., 2021).

Segundo a norma reguladora do selo *Premium*, o valor mínimo de carbono fixo desejável no carvão vegetal para que ele obtenha qualidade satisfatória é de 75% (base seca).

## Materiais voláteis

Juntamente com o teor de carbono fixo, é uma das características químicas a nível de composição química imediata mais valorizada para a qualidade do carvão vegetal (BRITO, 1993). Quando presente em quantidades consideráveis no carvão, é responsável pela liberação de gases (fumaça), que podem ocasionar uma maior liberação de substâncias tóxicas à saúde humana (BRAND et al., 2015) e alteração do sabor de alimentos durante a cocção (OLIVEIRA et al., 2019).

O percentual de materiais voláteis é normalmente inverso ao teor de carbono fixo (OLIVEIRA et al., 2010), e justamente por isso, altos valores de voláteis são indesejados do ponto de vista de qualidade do carvão vegetal. Em relação ao poder calorífico, este apresenta correlação negativa com o teor de materiais voláteis, com diminuição da geração de energia à medida que esses componentes são aumentados (MENDES et al., 1982).

Apesar do informado no parágrafo anterior, os materiais voláteis também apresentam importância na degradação térmica do carvão vegetal, principalmente durante as etapas iniciais onde ocorre a ignição e os gases liberados atuam alimentando e estabilizando a chama (MENDES et al., 1982; PROTÁSIO et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2019). Portanto, ocorre aumento do poder calorífico com a elevação dos materiais voláteis até valores próximos de 13%, a partir do qual os voláteis passam a ter influência negativa na geração de energia do carvão vegetal (MENDES et al., 1982).

Segundo o selo *Premium*, o carvão vegetal necessita apresentar valores inferiores a 23,5% de materiais voláteis para uma qualidade satisfatória para uso residencial (SÃO PAULO, 2003).

## Cinzas

Representa uma porção minoritária que resta após a queima completa do carvão vegetal (BRITO, 1993), podendo também conter possíveis contaminações (KURAUCHI, 2014). É esperado que esteja presente em quantidades baixíssimas, porém, tal característica não torna o teor de cinzas menos importante que as outras propriedades químicas já mencionadas (BRAND, 2010).

O percentual de cinzas geralmente apresenta correlação positiva com a taxa de aquecimento, dessa forma, conforme eleva-se essa taxa, maiores teores de minerais são obtidos no carvão vegetal ao final do processo (OLIVEIRA et al., 2010). Para o setor residencial, o uso de carvão vegetal com elevado teor de cinzas tende a causar inconveniências aos consumidores, devido a fusão dos inorgânicos absorver parte da energia que é liberada no processo, diminuindo o poder calorífico, e aumentar a frequência de limpeza das churrasqueiras, lareiras, fornos (BRAND, 2010; ASSIS et al., 2012; MACHADO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2019).

Segundo o selo *Premium*, o teor máximo admissível para o carvão vegetal obtenha qualidade satisfatória é de 1,5%, sendo almejado os menores valores possíveis para essa propriedade.

#### Poder calorífico

Poder calorífico é definido como a quantidade de calorias liberadas por uma unidade de massa do combustível, após ser queimado completamente (MENDES et al., 1982; MACHADO et al., 2014). É expresso em quilocalorias por quilo de combustível (kcal/kg), no caso de combustíveis sólidos ou gasosos.

Cada elemento químico que compõem a estrutura da madeira e do carvão vegetal possui determinada importância ao se tratar do poder calorífico e geração de energia, assim, a análise elementar também possui grande utilidade para uma boa compreensão dessa propriedade. Segundo Rosa et al. (2012) os átomos de carbono e hidrogênio influenciam positivamente o poder calorífico, enquanto os de oxigênio agem de maneira inversa. O poder calorífico é também uma propriedade que se relaciona com a análise química imediata do carvão vegetal, onde quanto maior o teor de carbono fixo e menor o teor de cinzas, maior tende a ser o seu poder calorífico (MACHADO et al., 2014).

Madeiras com alto teor de lignina são fundamentais para geração de energia, graças a correlação positiva entre essa variável e o rendimento energético do carvão (DEMIRBAS, 2001). Os extrativos também contribuem positivamente com o poder calorífico da madeira e do carvão vegetal, isso ocorre porque esses compostos possuem um elevado teor de carbono em sua estrutura (FREDERICO, 2009).

## 2.2 Desempenho energético e econômico do carvão vegetal nos setores industrial e comercial

O setor florestal brasileiro é um amplo setor solidificado e em crescente expansão, responsável por gerar 2,8 milhões de empregos, entre postos de trabalho direto, indireto e induzido; e por um investimento produtivo total de R\$12 bilhões no ano de 2020 (24% acima do ano anterior). Este setor, tem sido um importante participante para o atendimento da demanda de ações que visam a sustentabilidade no setor energético, como por exemplo, a substituição na siderurgia do coque (carvão

mineral) pelo carvão vegetal oriundo de florestas plantadas e manejadas para essa finalidade (IBÁ, 2021).

O uso de carvão vegetal proveniente de florestas plantadas vem aumentando gradativamente nas últimas décadas, representando uma evolução positiva para o setor energético. Na década de 1990, apenas 30% do total produzido deste recurso tinha como fonte as florestas plantadas, enquanto que, no ano de 2020, a participação evoluiu para 94% (IBÁ, 2021).

O Brasil responde atualmente por 12% de toda produção mundial de carvão vegetal, onde o principal impulsionador de tamanha demanda pelo material é o setor siderúrgico que o utiliza como biorredutor (IBÁ, 2021). O valor de produção deste insumo na silvicultura alcançou, em 2020, R\$ 5,4 bilhões, representando um crescimento de 37,8% em comparação com o ano anterior. Esse crescimento na receita deve-se quase que exclusivamente ao aumento do preço do produto, já que o crescimento em produção foi de apenas 2,7% (IBGE, 2020).

Há no Brasil dois importantes polos de produção de ferro gusa: o polo de Carajás (inclui-se neste, os estados do Maranhão e Pará) e outro na região Sudeste, em Minas Gerais. Somente neste último, foram consumidos em 2020 aproximadamente 12,9 milhões de m<sup>3</sup> de carvão vegetal pela indústria para produção ferro-gusa (SINDIFER, 2021).

Apesar de ser um item de grande importância econômica, com participação em diversos processos produtivos, o carvão vegetal não desempenha importância significativa no que diz respeito às importações e exportações para o país (EPE, 2021). Isso se deve ao fato do Brasil ser um país autossuficiente com relação a esse insumo, sendo sua produção voltada ao abastecimento das demandas internas e a inviabilidade econômica de importação e exportação de carvão vegetal frente ao preço do seu concorrente, o coque mineral como aponta dados do EPE (2021).

O setor comercial, que engloba as padarias, churrascarias, pizzarias, foi responsável por um consumo no ano de 2020 de 115 mil toneladas, o que representou 2,2% do total de carvão vegetal produzido nacionalmente. Observa-se que, o consumo de carvão desse setor vem mantendo-se constante ao longo dos últimos anos, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021).

### 2.3 Uso residencial de carvão vegetal no Brasil

Apesar do setor residencial ser um dos mais importantes a consumir o carvão vegetal, pouca ou nenhuma atenção é dada aos assuntos relacionados ao controle da qualidade do produto para essa finalidade. As pesquisas realizadas no Brasil são voltadas quase que totalmente ao atendimento das exigências do setor siderúrgico, devido ao forte poder econômico envolvido nessa cadeia produtiva (DIAS JÚNIOR et al., 2015a).

De acordo com EPE (2021), do total de volume de carvão vegetal produzido no Brasil, apenas uma pequena parte é consumida no setor residencial (pouco mais que 10%, representando um total de 628 mil toneladas). A partir de 2005, houve uma drástica redução dos valores referentes à produção total de carvão vegetal no Brasil, sendo o setor industrial quem mais teve seu consumo reduzido, enquanto que, foi observado pouca alteração na participação do consumo total do setor residencial (EPE, 2015; 2019; 2021).

Nas residências, o carvão é utilizado basicamente para geração de energia na forma de calor, usado amplamente no aquecimento de fogões para cocção de alimentos e no abastecimento de lareiras e churrasqueiras, tendo essa última, maior uso em alguns estados do Brasil, por conta de seu caráter cultural (BRAND, 2015; ANATER et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019).

Não foi encontrado na literatura disponível nenhum estudo sobre qualificação do carvão vegetal de uso residencial na cidade de Vitória da Conquista ou região. Tal situação evidencia a necessidade de estudos sobre o tema, o que geraria mais informações do produto que é comercializado para a sociedade.

### 2.4 Qualidade do carvão vegetal e a importância de sua avaliação

A determinação da qualidade, bem como, os impactos negativos ou positivos do consumo de um certo produto, é uma prática bem comum para qualquer atividade que vise a produção sustentável, como o caso do carvão vegetal, e o atendimento ao cliente. Nesse sentido, faz-se muito importante a definição do que é um produto ou serviço de qualidade, que segundo Campos (1992), é aquele que atende com perfeição, de forma confiável, de maneira acessível, com segurança e no tempo certo às necessidades do cliente.

Estando entre as formas mais importantes de uso da madeira, o carvão vegetal recebe destaque em relação ao monitoramento de sua qualidade. Os fornos utilizados para carbonização da madeira, na maioria das vezes fornos artesanais, possuem sérias dificuldades quanto ao controle de qualidade do produto obtido (carvão vegetal), principalmente nos processos mais rústicos, que são responsáveis por cerca de 70% do material produzido (CARNEIRO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2017, COSTA et al., 2019; BASSO et al., 2020).

Estudos indicam que para o carvão vegetal possuir boa qualidade no uso residencial, deve apresentar algumas características como: cor negra brilhante, alta densidade relativa aparente; alto teor de carbono fixo; alto poder calorífico; baixa umidade; baixo teor de materiais voláteis, baixo teor de cinzas, não deve ser um material muito duro; deve ser facilmente inflamável; emitir o mínimo de fumaça e não emitir odores desagradáveis (SÃO PAULO, 2003; BRITO, 1993; RIBEIRO e VALE, 2006; ANATER, 2017).

Buscando uma padronização do carvão e estabelecimento de limites de tolerância, o estado de São Paulo se destacou ao promulgar a primeira, e até então única, normatização para controle de qualidade do carvão vegetal que é comercializado no estado através da Resolução nº 10/2003 SAA-SP (ROSA et al., 2012). Diversos trabalhos já publicados na literatura utilizam a resolução como referência de qualidade (ROSA et al., 2012, BRAND et al., 2015; DIAS JÚNIOR et al., 2015a; OLIVEIRA et al., 2015; ANATER et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019).

Segundo Rosa (2012), quando o processo de carbonização não é bem conduzido ou a madeira empregada é muito heterogênea entre si (diferentes idades, espécies, umidades), pode ocorrer o aparecimento de peças que não carbonizaram completamente, que por sua vez recebem o nome de “tiços”, causando diminuição da qualidade do carvão vegetal.

Por apresentar uma carbonização parcial, os tiços ainda possuem muitas estruturas não modificadas da madeira e por isso, ainda apresentam um alto teor de materiais voláteis que não foram expulsos em sua constituição. Essa presença elevada de voláteis acaba conferindo ao material má qualidade. Como apontado por Anater et al. (2019), Brand et al. (2015) e Brahan (2002), conteúdos elevados dessa propriedade no carvão vegetal acaba por gerar grande liberação de substâncias tóxicas, desprendidas durante a queima, tornando-o prejudicial ao ambiente e a quem o manuseia.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Coleta das embalagens de carvão vegetal**

Foram avaliadas dez diferentes marcas de carvão vegetal (produtos industrializados) comercializadas nos mercados da cidade de Vitória da Conquista. As coletas aconteceram uma vez por mês, durante três meses, totalizando três repetições para a avaliação da variabilidade entre os lotes dos produtos.

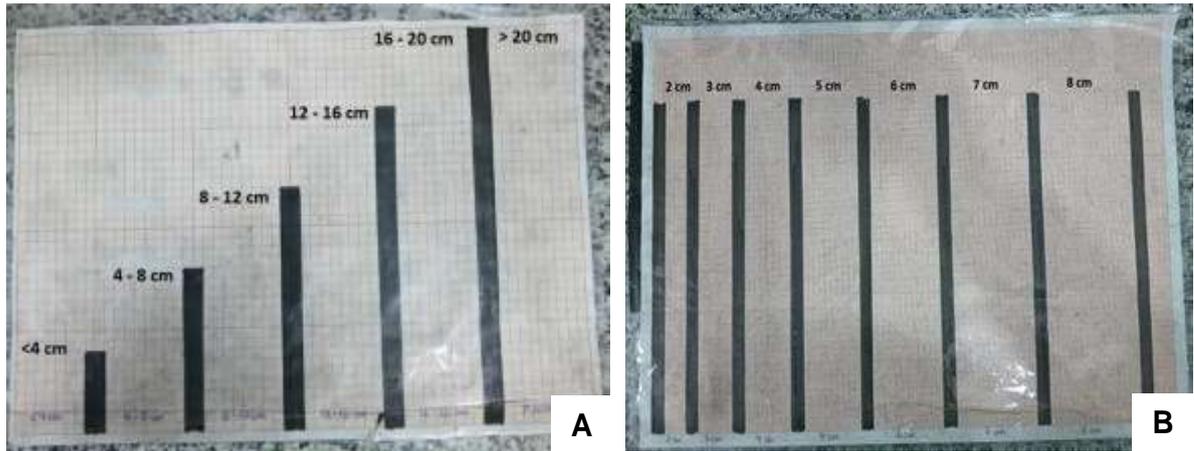
Carvão vegetal comercializado sem nenhum tipo de informação técnica ou de identificação do produto não foi considerado como produto industrializado, e dessa forma, não foi avaliado neste trabalho.

#### **3.2. Informações obtidas das embalagens dos produtos**

Procedeu-se o registro de todas as informações contidas nas embalagens de carvão vegetal industrializado (informações técnicas e de marketing), sobre a procedência do produto, local de fabricação, espécie florestal de origem, dados da empresa, preço e quantidade do produto.

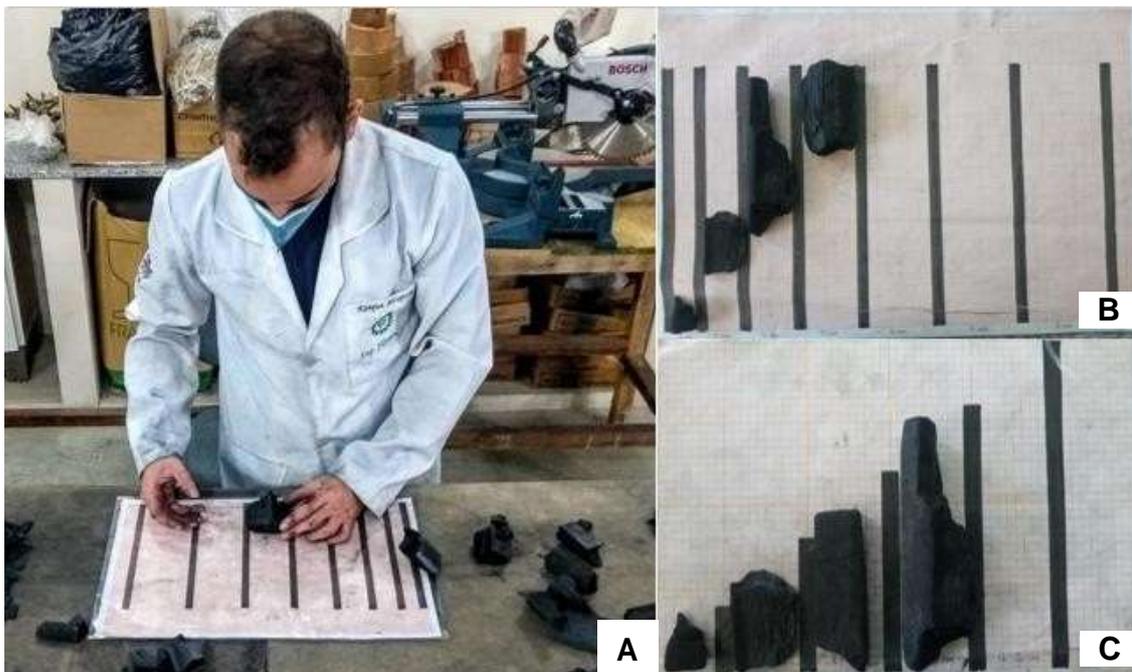
#### **3.3. Avaliação da granulometria do carvão vegetal**

A distribuição granulométrica do carvão vegetal para uso residencial foi avaliada considerando o comprimento e a largura das peças (Figuras 1A e 1B). Para essa classificação foi considerado o tamanho, a maior dimensão das peças e, a largura, a dimensão perpendicular à primeira, conforme gabaritos definidos pelo Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais da UESB, local de realização dos testes.



**Figura 1** – Gabarito para determinação da granulometria considerando o tamanho (A) e a largura (B).

A classificação das peças seguiu de forma manual e o material foi despejado sobre uma bancada forrada por papel para impedir a contaminação e perda de material (Figura 2 A - C).



**Figura 2** – Aplicação manual da metodologia em laboratório (A) para medição de largura (B) e tamanho (C).

Todo o conteúdo foi separado de acordo com os gabaritos e colocados em béqueres para serem pesados. O gabarito utilizado na classificação granulométrica está apresentado no Quadro 1.

**Quadro 1** – Critérios de classificação proposto para distribuição granulométrica de carvão para uso residencial

<b>Granulometria para tamanho</b>	<b>Granulometria para largura</b>
< 4 cm (pequenos)	< 3 (estreitos)
4 - 8 cm	3 - 4 cm
8 - 12 cm	4 - 5 cm
12 - 16 cm	5 - 6 cm
16 - 20 cm	6 - 7 cm
> 20 cm (grandes)	7 - 8 cm
-	> 8 cm (grossos)

### 3.4. Determinação das propriedades físicas do carvão vegetal

A umidade do carvão vegetal foi avaliada de acordo com a NBR 14929 (ABNT, 2003).

A determinação da densidade a granel seguiu uma adaptação da norma NBR 6922 (ABNT, 1981). As propriedades físicas, assim como as químicas, foram determinadas no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, campus de Vitória da Conquista.

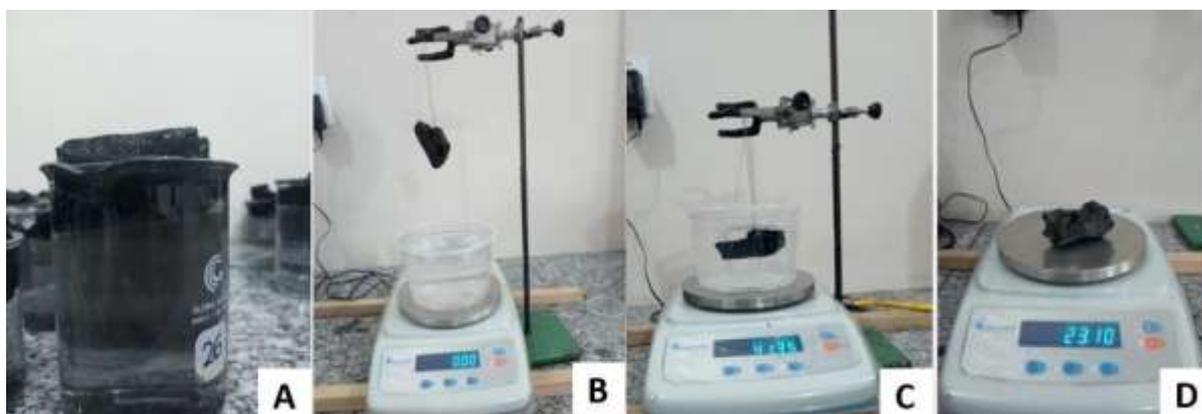
Inicialmente, o conteúdo das embalagens foi despejado dentro de uma caixa com volume conhecido (6 litros - Figura 3A e 3B). O recipiente foi levemente batido por três vezes contra a superfície da bancada para que ocorresse o assentamento das peças. Logo em seguida, foram retiradas com o auxílio de uma régua as peças que estavam ultrapassando o limite superior imposto pelo recipiente. Foi pesado o conteúdo de carvão vegetal que permaneceu dentro da caixa.



**Figura 3** – Caixa de madeira utilizada para determinação da densidade a granel, no início do teste (A) e no final do teste (B).

Para a determinação da densidade aparente do carvão vegetal foi utilizado o método da balança hidrostática com imersão em água (Figura 4), conforme disposto pela NBR 11941 (ABNT, 2003).

Para a realização do ensaio foram utilizadas cinco peças de carvão vegetal de cada uma das embalagens. Para a garantia da não ocorrência da absorção de água durante a determinação do volume aparente procedeu-se a saturação prévia das peças com água (Figura 4A).



**Figura 4** - Imersão das peças de carvão vegetal até saturação (A); Posicionamento das peças acima da balança, com uso de linha e suporte (B); Determinação do volume aparente das peças (C); Determinação da massa seca após secagem em estufa (D).

As peças foram colocadas sobre a superfície da água, erguidas com o auxílio de uma linha, sem que houvesse contato entre as bordas do recipiente conforme Figura 4B. Posteriormente a peça foi submersa até sua total imersão em água (Figura 4C). O valor de fluido deslocado foi anotado para que fosse calculado o volume aparente da amostra. Posteriormente, as peças foram levadas para serem secas em

estufa à temperatura de  $105 \pm 2$  °C até peso constante para determinação da massa seca (Figura 4D).

A densidade aparente (0% umidade) foi calculada a partir da relação entre a massa seca da amostra e seu volume aparente, conforme as Equações 1 e 2:

$$VA = \frac{m_i}{\rho_{H2O}} \times 100 \text{ (Equação 1)}$$

$$DA = \frac{m_s}{VA} \text{ (Equação 2)}$$

Em que: VA = volume aparente ( $\text{cm}^3$ );  $m_i$  = massa imersa (g);  $\rho_{H2O}$  = densidade da água ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )  $\approx 1$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $m_s$  = massa de carvão após secagem; DA = Densidade Relativa Aparente do carvão vegetal ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 3.5. Determinação das propriedades químicas do carvão vegetal

Para a análise química imediata do carvão vegetal (Figura 5), as amostras foram trituradas em cadinho de porcelana e classificadas em peneiras de 40/60 mesh conforme norma NBR 6923 (ABNT, 1981). Posteriormente, as frações retidas na peneira de 60 mesh foram secas em estufa a  $103 \pm 2$  °C. Foram adotados os procedimentos da NBR 8112 (ABNT, 1986), com algumas adaptações, para a determinação dos teores de carbono fixo (CF), materiais voláteis (MV) e cinzas (CZ), em base seca, de acordo com as Equações 3 a 5.

Foi depositado 1 g de carvão em cadinhos (Figura 5A), que depois foram tampados e levados à porta do forno por dois minutos para aclimação (Figura 5B) e posteriormente, para o interior por mais nove minutos (Figura 5C), totalizando onze minutos. Em seguida, as amostras foram retiradas e colocadas em dessecador onde foram resfriadas, durante trinta minutos, sendo logo em seguida pesadas em balança analítica e então determinado o conteúdo de materiais voláteis (MV).

$$MV(\%) = \frac{m_3 - m_2}{m_2} \times 100 \text{ (Equação 3)}$$

Em que: MV = Teor de materiais voláteis no carvão vegetal (%);  $m_2$  = massa inicial da amostra seca em estufa (g);  $m_3$  = massa final da amostra após mufla (g).



**Figura 5** - Pesagem de aproximadamente 1 grama de carvão vegetal moído, peneirado e seco (A); Aclimação dos cadinhos em mufla, a 950°C, durante dois minutos (B); Transferência dos cadinhos para o interior da mufla, a 950°C, por nove minutos para determinação de materiais voláteis(C); Calcinação do carvão vegetal, a 600°C, durante seis horas, para obtenção das cinzas (D); Resíduos (cinzas) da decomposição térmica do carvão vegetal (E).

Após determinação do teor de materiais voláteis, a amostra retornou ao forno mufla por mais 6 horas em 600 °C (Figura 5D) para que ocorresse a calcinação (Figura 5E). Em seguida foi determinado o teor de cinzas (CZ – Equação 4), sendo o carbono fixo (CF) obtido por diferença conforme equação 5.

$$CZ(\%) = \frac{m_4 - m_1}{m_2} \times 100 \text{ (Equação 4)}$$

Em que: CZ = Teor de cinzas no carvão vegetal (%);  $m_1$  = massa do cadinho vazio;  $m_2$  = massa inicial da amostra seca em estufa (g);  $m_4$  = massa do resíduo – cinzas (g).

$$CF (\%) = 100 - (CZ(\%) + MV(\%)) \text{ (Equação 5)}$$

Em que: CF = Teor de carbono fixo no carvão vegetal (%); CZ = Teor de cinzas (%); MV = Teor de materiais voláteis (%).

### 3.6. Critérios para a avaliação da qualidade do carvão vegetal de uso residencial

Para discussão das propriedades do carvão vegetal foram utilizados os padrões presentes no selo *Premium* do Estado de São Paulo. A Tabela 1 apresenta os limites estabelecidos pelo selo *Premium* para a classificação do carvão vegetal quanto a sua qualidade, se satisfatória ou não (SÃO PAULO, 2003).

**Tabela 1** - Critérios físico-químicos para avaliação da qualidade do carvão vegetal informados no Selo *Premium*.

Propriedades	Limites
Umidade	Inferior a 5%
Densidade a granel	Superior a 230 kg.m <sup>-3</sup>
Carbono Fixo	Superior a 75%
Materiais Voláteis	Inferior a 23,5%
Cinzas	Inferior a 1,5%

FONTE: SÃO PAULO (2003)

### 3.7. Análises estatísticas do experimento

Para a análise estatística descritiva das propriedades do carvão vegetal foi utilizada a média aritmética como medida de tendência central, bem como, o coeficiente de variação (CV) como medida de dispersão para determinação da variabilidade interna do carvão vegetal.

Foi realizado o Teste de Grubbs (1%) para detecção e remoção de valores discrepantes. A verificação da normalidade e homogeneidade da variância dos dados ocorreu através dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett (5% de probabilidade), respectivamente. Para comparação e agrupamento de médias, foi utilizado o teste de Scott-Knott também a 5% de probabilidade.

#### 3.7.1 Análise estatística multivariada

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada a partir das propriedades tecnológicas do carvão vegetal, onde os dados foram normalizados a partir de uma matriz de correlação. Foram selecionadas as componentes principais que explicaram acima de 70% da variação dos dados e apresentaram relevância à avaliação dos carvões vegetais. Por meio da dispersão dos escores das componentes principais, foi realizada a análise de similaridade entre as embalagens de carvão vegetal.

O agrupamento das marcas em grupos homogêneos procedeu-se através da análise de agrupamentos hierárquicos aglomerativos, utilizando os resultados obtidos na redução da dimensionalidade dos dados na ACP. Segundo Silva et al. (2010), a análise de agrupamentos é uma ferramenta eficiente na complementação dos resultados da análise de componentes principais. Essa análise é utilizada com o objetivo de obter padrões em um conjunto de dados por meio do agrupamento das observações (FIALHO, 2018). Ainda segundo Fialho (2018), uma das maneiras mais comuns de agrupar observações são os agrupamentos hierárquicos aglomerativos. Nessa metodologia, a análise é iniciada com  $n$  agrupamentos, sendo um para cada observação, e ao final é obtido um único grupo contendo todas as  $n$  observações.

A distância euclidiana quadrática foi empregada como medida de similaridade e o método da ligação média (UPGMA) como técnica hierárquica aglomerativa, conforme realizado por Protásio et al. (2015).

Para avaliar a qualidade do dendrograma adquirido, foi utilizado o coeficiente de correlação cofenética, que mensura a correlação entre as distâncias recuperadas do dendrograma com a matriz de distâncias originais obtida dos carvões das diferentes embalagens.

Todas as análises estatísticas foram realizadas a partir do *software* R, versão 4.0.3, pacotes *stats* (R CORE TEAM, 2020).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Informações obtidas nas embalagens de carvão vegetal industrializado

As principais informações obtidas das embalagens de carvão industrializados faziam referência ao local de produção, peso do produto, preço, selos, registros em órgãos ambientais estaduais e/ou federais e espécie florestal carbonizada, conforme pode ser observado nas Tabelas 2 e 3.

De acordo com o explicitado na Tabela 2, é possível perceber que a massa de carvão vegetal contida nas embalagens varia entre 2 e 3 kg e o preço cobrado entre R\$ 3,95 e R\$ 12,63. A variação de peso entre as amostras foi de 50%, ou seja, 1 kg em relação a amostra de menor peso (2 kg). Isso aponta que a quantidade de carvão vegetal comercializada por embalagem é pequena (máximo 3 kg) e que não existem muitas opções para compra de diferentes quantidades, por embalagem. Com relação ao preço entre as marcas, este apresentou uma variação de quase 220%. Não existe uma explicação para essa variação devido a quantidade de produto e nem mesmo pela qualidade, pois não são apresentadas essas informações nas embalagens. Entretanto, as três marcas consideradas mais baratas (D, G e I) não apresentam registro em nenhum órgão ambiental (estadual ou federal), o que colabora com a redução do valor cobrado pela falta de formalidade de documentação.

**Tabela 2** - Informações obtidas exclusivamente nas embalagens: peso, preço, selos, presença de acendedor e registros em órgãos ambientais (estadual e/ou federal)

<b>Marcas</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Preço (R\$)</b>	<b>Selos</b>	<b>Presença acendedor</b>	<b>Registro</b>
A	2	5,62	NP	NP	F
B	2	4,95	P	NP	E
C	3	9,63	NP	NP	F
D	2	4,32	NP	NP	NP
E	3	12,63	NP	NP	F e E
F	2,5	8,02	NP	P	F e E
G	2	3,95	NP	NP	NP
H	2	6,66	NP	NP	F
I	2	3,98	NP	NP	NP
J	2,5	8,39	NP	NP	F e E

Em que: P= possui; NP= não possui; F= registro em órgão federal; E= registro em órgão estadual.

A distância entre o local de fabricação e de comercialização (Tabela 2), para os carvões com registro, não explica a variação de preço, uma vez que dentre os carvões mais caros (carvão C, E, F e J), alguns apresentam locais de fabricação próximos a Vitória da Conquista (carvão E = 141 km e carvão F = 116 km) enquanto outros dois são fabricados em locais bastante distantes (carvão C = 714 km e carvão J = 1048 km).

**Tabela 3** - Informações obtidas exclusivamente nas embalagens: local de fabricação, origem e distância entre localidade produtora e consumidora

<b>Marcas</b>	<b>Local de fabricação</b>	<b>Origem</b>	<b>Distância (km)</b>
A	Vitória da Conquista - BA	EU	0
B	Cachoeira do Pageú – MG	EU	164
C	Itabaiana – SE	EU	714
D	Não identificado	EU	-
E	Ninheira – MG	EU	141
F	Manoel Vitorino – BA	A	116
G	Teixeira de Freitas - BA	EU	483
H	Itabela - BA	EU	350
I	Não identificado	NI	-
J	Tuparetama - PE	MSN	1048
Média	-	-	430,9

Em que: A=algaroba; Eu= Eucalipto; NI= Não Informado; MSN= Manejo Sustentável de Floresta Nativa.

Como poder ser observado na Tabela 3, é possível afirmar que a maior parte dos carvões analisados têm como origem as florestas plantadas de Eucalipto. Tal fato é tido como importante do ponto de vista da preservação florística da região, uma vez que, diminui a pressão sob áreas de vegetação nativa.

As exceções quanto à origem de madeira de eucalipto foram os carvões das marcas F, I e J, sendo o primeiro de origem de madeira de algaroba; o segundo isento de informações quanto a espécie empregada no processo e o terceiro, que emprega madeira nativa advinda de manejo sustentável. O fato do carvão I não apresentar quaisquer informações acerca da origem e localidade produtora faz com que seja questionada a qualidade desse produto, bem como, a transparência com o cliente, uma vez que há omissão de informações de grande relevância técnica e ambiental.

Quanto à presença de selos, percebe-se que apenas uma das marcas analisadas apresentou certificação (carvão B). Quanto à necessidade de registros em órgãos ambientais a maioria das marcas possuíam registros estaduais, federais ou ambos visto a importância para se comercializar de maneira legal esse produto. Os únicos carvões a não apresentarem nenhum dos registros foram os carvões D e I.

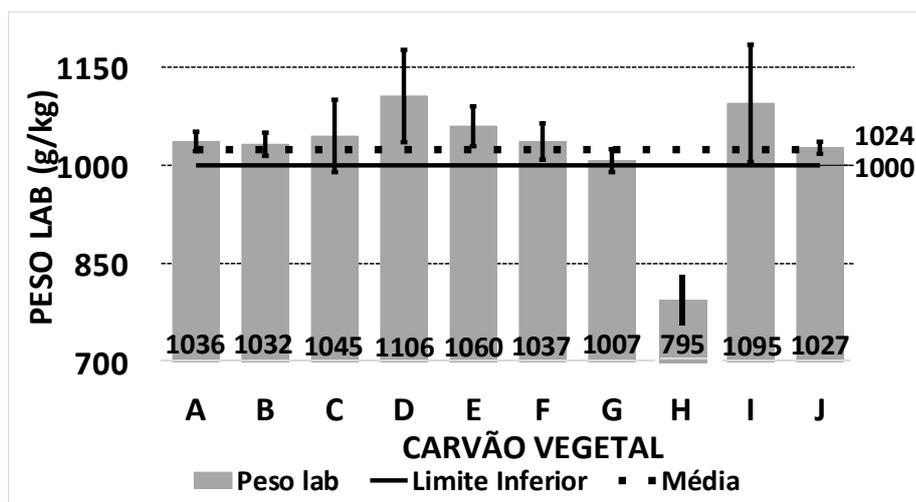
Quanto à distância entre consumidor e produtor, foi encontrado um valor médio de 431 km, sendo que os carvões J e C foram tratados como exceções devido à grande distância da localidade produtora (1048,2 km e 714,3 km, respectivamente). Nota-se que, entre os carvões que apresentaram informação de localidade, a maior parte foi produzido em território baiano ou em suas proximidades, apresentando uma distância média de 250 km de transporte e sugerindo que o carvão vegetal consumido em Vitória da Conquista vem, em grande parte, de uma produção regional.

Visando a padronização dos dados, optou-se pela representação dos pesos e preços por quilo de produto informado na embalagem. As informações sobre o peso medido em laboratório (Peso lab) e do peso após o desconto da umidade (Peso seco), bem como, os preços em cada uma dessas medidas estão apresentados nas Figuras 6 a 9.

Os pesos determinados em laboratório (Peso lab - Figura 6) apresentaram média geral de 1024 g.kg<sup>-1</sup>. O maior valor encontrado foi para o carvão D com 1106 g.kg<sup>-1</sup>, enquanto o menor foi para o carvão H com 795 g.kg<sup>-1</sup>. Para a massa de carvão contida em cada embalagem, percebeu-se que apenas o carvão H apresentou massa inferior a 1000 g.kg<sup>-1</sup>, o que demonstra que essa marca apresentava em sua embalagem uma massa inferior a indicada em rótulo. As demais embalagens, por apresentarem valores superiores a 1000 g.kg<sup>-1</sup>, continham massa superior ao informado e, uma vantagem para o consumidor que recebe mais carvão do que o especificado na embalagem, e ao mesmo tempo, um sinal de falta de controle na etapa de embalagem do produto.

Quanto ao coeficiente de variação apresentado entre as marcas, variação total entre os carvões A - J, este foi de 8,9%. Tal variação foi considerada como pequena devido ser menor que 10%, valor limite considerado, que foi de acordo classificado por Pimentel-Gomes (1985) citado por Garcia (1989). Uma baixa variação no carvão vegetal consiste em benefício tanto para produtor quanto para consumidor, uma vez que, padroniza o produto e aumenta sua qualidade.

A marca que apresentou a maior variação de peso entre as repetições foi o carvão D e I, com 6,4 e 8,2%, respectivamente, e os carvões A, B e J foram os que apresentaram menor coeficiente de variação entre as repetições (variação interna), com 1,4; 1,7 e 0,8%.



**Figura 6** – Massa de carvão determinada no laboratório para cada marca coletada.

Ao se proceder a correção da massa pelo desconto da umidade e determinação do peso seco, foram obtidos os valores constantes na Figura 7. Merece ser destacado que de acordo a Norma PMQ 3-03 (SÃO PAULO, 2003), o carvão vegetal necessita apresentar umidade máxima de 5% para ser classificado, nesse quesito, como de qualidade satisfatória. Dessa forma, para atender esse requisito, cada quilo (kg) de carvão vegetal deve apresentar um máximo de 50 g de água e mínimo de 950 g de carvão seco, podendo esses valores serem tomados como limites.

Para o Peso seco (Figura 7) foi obtido uma média, entre as dez marcas, de  $954 \text{ g.kg}^{-1}$ , e uma variação externa, entre as dez marcas, de 8,7% que foi considerado baixo pelo valor de tolerância adotado. A homogeneidade do produto é uma estratégia interessante tanto para produtor como para consumidor, uma vez que, diminui a variação e possibilita o comércio de um produto que atenda melhor a ambos, evitando quantidades muito acima ou abaixo da que são rotuladas em embalagem.

O maior valor foi apresentado pelo carvão D ( $1033 \text{ g.kg}^{-1}$ ), enquanto que o menor valor foi pelo carvão H ( $747 \text{ g.kg}^{-1}$ ). A maior variação entre as repetições foi observada pelo carvão I ( $1011 \text{ g.kg}^{-1}$ ), com CV igual a 8%, enquanto que a menor pelos carvões A e J ( $968 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $962 \text{ g.kg}^{-1}$ , respectivamente) ambos com CV igual a 2%.

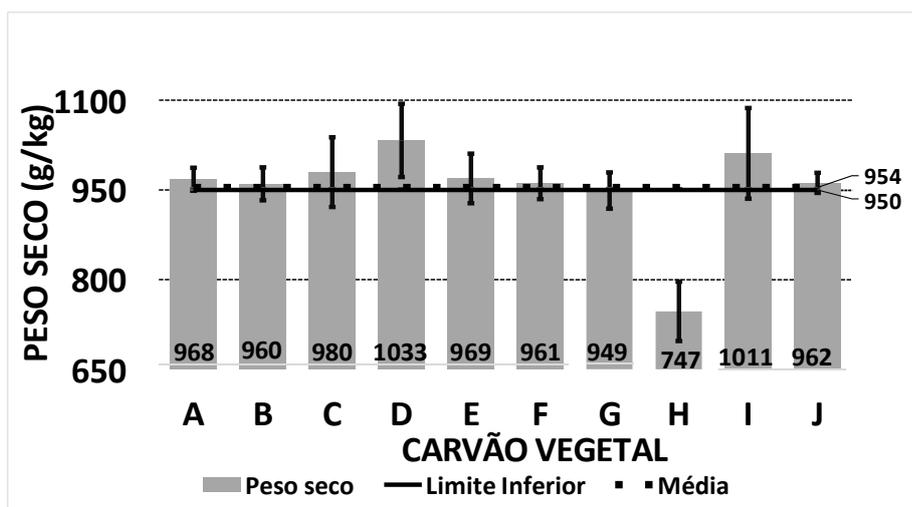


Figura 7 – Massa seca de carvão determinada no laboratório para cada marca coletada.

Portanto, todos os carvões apresentaram valores acima do recomendado com exceção dos carvões G ( $949 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e H ( $747 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Com relação ao atendimento da maioria das marcas a esse pressuposto, isso se deve à massa excedente que é adquirida no momento da compra e não pela umidade, como será visto mais a frente.

Para as dez marcas de carvão, foi determinado um preço médio (Preço lab) de R\$  $2,85 \text{ .kg}^{-1}$  com um coeficiente de variação de 7%. O maior preço encontrado foi para o carvão H com R\$  $4,20 \text{ .kg}^{-1}$  enquanto o menor foi pelo carvão I com R\$  $1,85 \text{ .kg}^{-1}$ , conforme Figura 8. A maior variação foi encontrada pelo carvão I, com CV igual a 30%, enquanto a menor pelo carvão J, com CV igual a 1%.

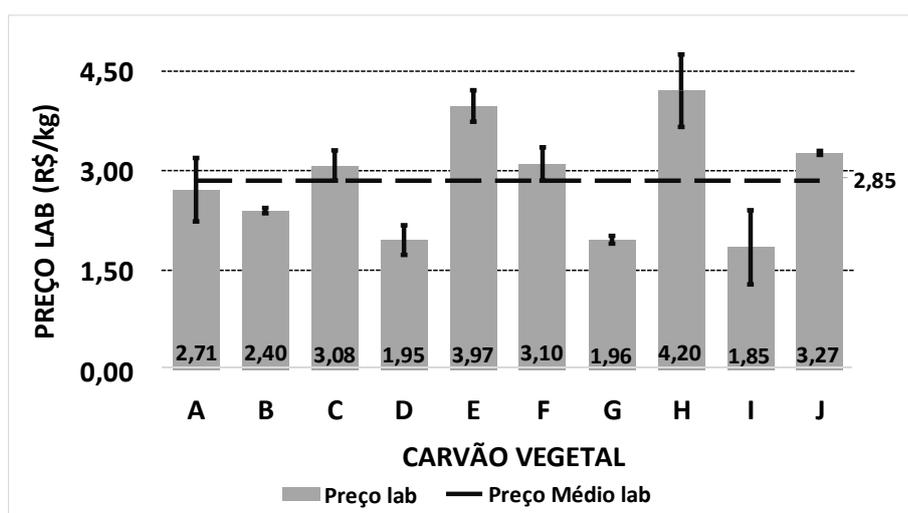


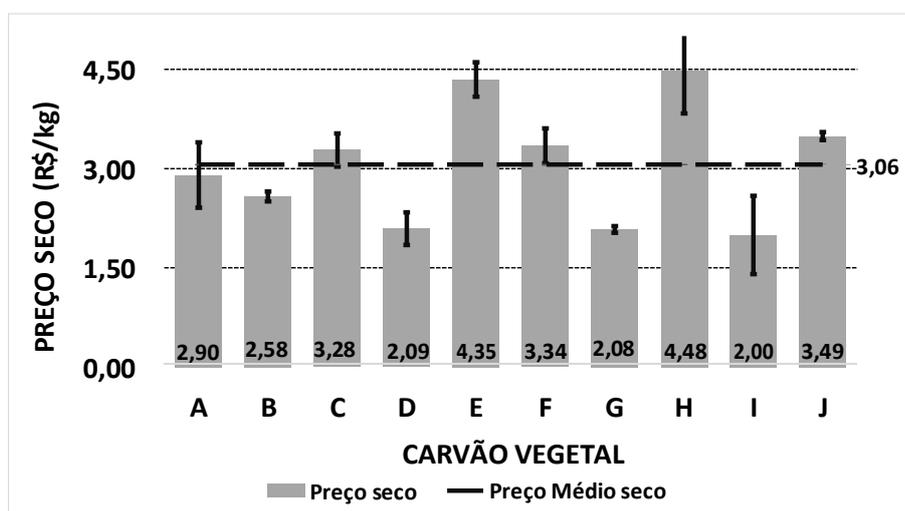
Figura 8 – Média dos preços obtidos em laboratório para cada marca coletada.

Destaque deve ser dado para os carvões H e E que apresentaram os preços mais elevados do presente estudo (R\$  $3,97$  e R\$  $4,20$ ; respectivamente). Isso é

explicado pelo fato de o carvão H apresentar uma massa inferior ao informado na embalagem, o que causou a elevação de seu preço por quilograma, enquanto o alto preço do carvão E pode ser explicado, supostamente, pela maior quantidade de registros (Estadual e Federal). Ao comparar os carvões F e E, em que ambos apresentaram dois registros e distâncias de transporte próximas, percebe-se o efeito da matéria prima no preço do produto final, onde o carvão F apresentou um preço menor por utilizar madeira de algaroba, supostamente madeira de desbaste, e o carvão E apresentou maior preço por utilizar madeira de eucalipto, oriunda de plantios comerciais com elevado custo de produção.

Percebeu-se também valores muito abaixo do preço médio das embalagens, para os casos dos carvões D, G e I, sendo iguais a R\$1,95.kg<sup>-1</sup>; R\$1,96.kg<sup>-1</sup>; R\$1,85.kg<sup>-1</sup>; respectivamente, demonstrando a grande variabilidade entre os preços das diferentes embalagens de carvão vegetal.

Para o Preço seco, foi obtido uma média de R\$3,06.kg<sup>-1</sup>. O maior preço foi obtido pelo carvão H (R\$4,48.kg<sup>-1</sup>) enquanto o menor foi obtido pelo carvão I (2,00 R\$.kg<sup>-1</sup>), conforme Figura 9. A maior variação foi observada pelo carvão I (CV igual a 30%, enquanto o menor pelo carvão J (CV igual a 2%).



**Figura 9** –Média dos preços corrigidos em massa seca para cada marca coletada.

Após o desconto da massa de água naturalmente ocorre um aumento do preço por quilograma do produto seco. As maiores elevações observadas entre preços por quilo lab e seco foram obtidas pelos carvões E, H e F; com R\$ 0,38; R\$ 0,28 e R\$ 0,24 por quilo de carvão seco, respectivamente.

## 4.2 Avaliação granulométrica do carvão vegetal

Como pode ser observado na Tabela 4, a distribuição granulométrica das peças com base na metodologia de medição do tamanho apresentou comportamento mais concentrado que a metodologia de medição de largura, com maior quantidade das peças na granulometria média.

**Tabela 4** – Média dos valores percentuais obtidos nas distribuições granulométricas.

Marcas	Tamanho			Largura		
	Pequeno (< 4 cm)	Médio (4–16 cm)	Grande (> 16 cm)	Estreito (< 3 cm)	Médio (3-6 cm)	Grosso (> 6 cm)
A	20 (41%)	76 (13%)	4 (105%)	22 (27%)	47 (26%)	31 (20%)
B	8 (12%)	88 (3%)	4 (61%)	38 (38%)	60 (26%)	2 (62%)
C	18 (26%)	76 (4%)	7 (71%)	19 (28%)	52 (13%)	28 (4%)
D	21 (37%)	66 (11%)	13 (27%)	52 (14%)	43 (7%)	5 (97%)
E	27 (53%)	66 (16%)	6 (110%)	39 (41%)	50 (26%)	11 (24%)
F	25 (16%)	75 (5%)	0 (-%)	37 (16%)	58 (7%)	5 (31%)
G	21 (50%)	71 (25%)	9 (88%)	29 (46%)	61 (11%)	10 (65%)
H	22 (39%)	66 (13%)	12 (16%)	31 (27%)	56 (2%)	13 (75%)
I	15 (69%)	81 (8%)	4 (130%)	47 (6%)	42 (22%)	10 (62%)
J	14 (44%)	79 (6%)	7 (91%)	35 (27%)	52 (11%)	13 (29%)
Média	19	74	7	35	52	13
CV (%)	29	10	61	30	13	75

Valores percentuais, entre parênteses, são referentes ao coeficiente de variação interna (entre amostras) das marcas.

A classe “tamanho médio” concentrou a maior quantidade de carvão vegetal entre as embalagens, com 74,4% e uma variação entre marcas de 10% (fração intermediária). Por ter apresentado menor coeficiente de variação entre as classes e uma maior concentração de peças de carvão vegetal, essa granulometria configura o produto como mais homogêneo. Foram observados valores máximos para “tamanho médio” de 88% (carvão B), com variação de 3%, e mínimos de 66% para os carvões D, E e H, com variação de 7, 11 e 9%, respectivamente.

Peças de maiores tamanhos não necessariamente apresentarão as maiores larguras, por isso, resultados diferentes foram obtidos pelas diferentes metodologias. Visando a qualidade do produto para o setor residencial, uma maior homogeneidade dos resultados numa dada granulometria é o mais adequado.

No tocante à distribuição granulométrica pela largura do carvão vegetal, percebeu-se um comportamento um pouco diferente da metodologia que avaliou o

tamanho, tendo sido os resultados mais dispersos entre as classes. Houve uma maior distribuição das peças de carvão vegetal entre as frações média (52% e variação de 7%), estreita (35% e variação de 30%) e grossa (13% e variação de 133%).

O maior valor obtido para a fração média de largura foi de 61%, no carvão G, com variação de 11% e o menor valor de 42%, no carvão I, com variação de 22%. Foram observados maiores coeficiente de variação em todas as frações granulométricas das classes de largura, demonstrando maior heterogeneidade entre as marcas quando comparada com a metodologia de medição de tamanho.

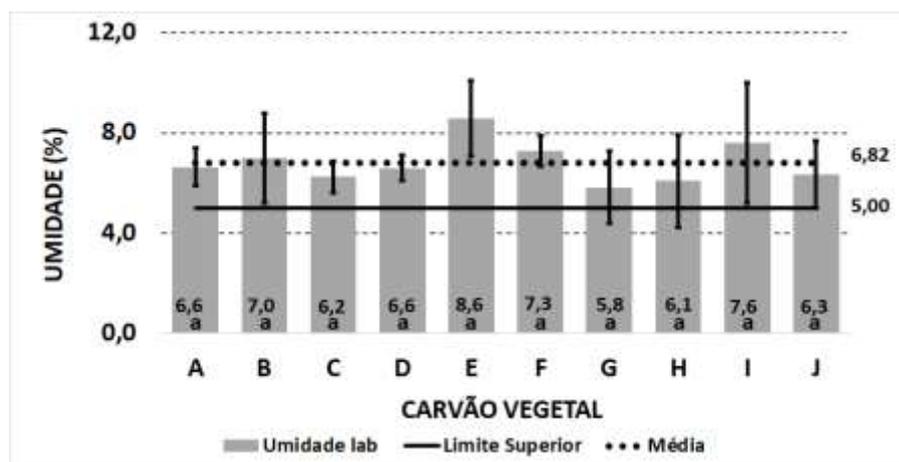
As maiores concentrações das peças de carvão vegetal nas frações médias, possibilitam que os carvões comercializados possuam um maior tempo de queima, uma vez que, peças maiores que 5 cm contribuem aumentando o tempo e queima do carvão, porém com temperatura inferior as peças de granulometria menor (DIAS JÚNIOR et al., 2015a; OLIVEIRA et al., 2019). Peças de carvão vegetal com menores dimensões, medindo 1,6 cm, fornecem maiores temperaturas durante a queima (320 °C), favorecendo a cocção dos alimentos que, porém, possuem um tempo reduzido de geração de energia (DIAS JÚNIOR et al., 2015a; OLIVEIRA et al., 2019).

Com base da norma do selo *Premium*, uma embalagem de carvão vegetal de 3,0 kg deve apresentar 90% das peças com granulometria de 20 – 80 mm (SÃO PAULO, 2003). Aplicando esse mesmo critério para as embalagens no presente estudo, com 2; 2,5 e 3 kg; percebe-se que nenhum dos carvões analisados apresentou qualidade satisfatória.

#### 4.3 Determinação das propriedades físicas do carvão vegetal

##### Umidade

A média de umidade obtida para as dez marcas de carvão vegetal foi de 6,8%, com um coeficiente de variação de 12%. O menor valor foi observado no carvão G (5,8%), enquanto que o maior pelo carvão E (8,6%) conforme Figura 10. Pelo teste de média não foram obtidas diferenças significativas entre as marcas analisadas, dessa forma apenas um grupo de médias foi formado.



**Figura 10** – Umidade das dez diferentes marcas de carvão vegetal. Médias seguidas de mesmas letras, minúsculas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Limite superior com base no selo *Premium*. Barras acima das colunas representam o desvio padrão das marcas.

Com relação à variabilidade interna, entre as repetições das diferentes embalagens de carvão, o menor coeficiente de variação foi obtido pelo carvão F (8,3%) com umidade de 7,3%, enquanto que o maior coeficiente de variação foi obtido pelo carvão I (31,8%) que apresentou umidade de 7,6%. Para ser considerado de boa qualidade, além de valores reduzidos de umidade um carvão vegetal deve apresentar homogeneidade em suas propriedades.

O selo *Premium* estipula que para apresentar qualidade satisfatória para uso residencial (Tabela 1), o carvão vegetal deve apresentar umidade abaixo de 5% (SÃO PAULO, 2003). O uso desse critério, classifica todos os carvões analisados pelo presente estudo como de qualidade insatisfatória.

Vários autores, tais como Nunes et al. (2020), Oliveira et al. (2019), Anater (2017), Oliveira et al. (2015), Brand et al. (2015) e Rosa et al. (2012) encontraram diversas embalagens com valores elevados de umidade, com a minoria dos carvões apresentando teores abaixo de 5%, em diferentes cidades do País.

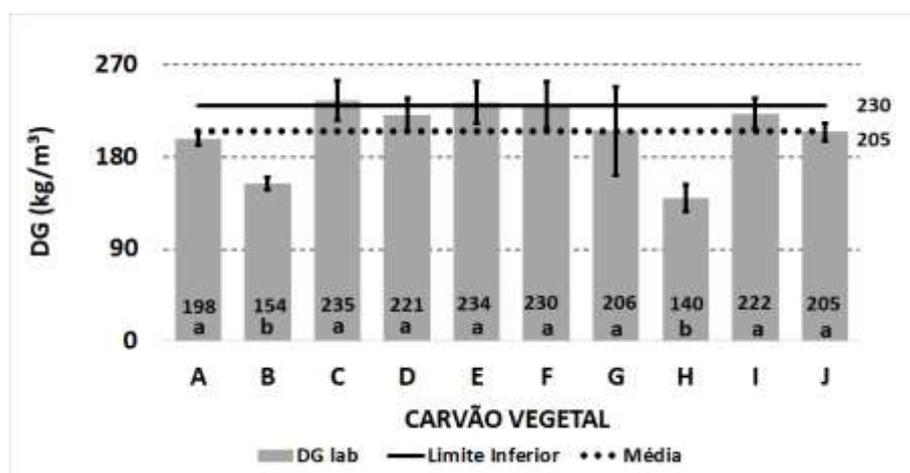
A presença de elevada umidade no carvão vegetal é indesejável por diversos motivos, podendo causar uma maior geração de fumaça, comprometimento da ignição e diminuição do rendimento energético do material (ROSA et al., 2012; BRAND et al., 2015; OLIVEIRA et al.; 2015; DIAS JÚNIOR et al., 2016; ANATER et al., 2019; OLIVEIRA et al.; 2019; SILVA et al., 2019).

A emissão de maior volume de fumaça, segundo Oliveira et al. (2019) pode prejudicar o preparo de alimentos (principal uso na região de estudo) pois pode influenciar no sabor do alimento.

Por se tratar de um material altamente higroscópico, a obtenção de um nível adequado de umidade, bem como sua manutenção, são dois desafios ao se trabalhar com este produto, devendo o segundo ter tanta atenção quanto o primeiro (BRITO, 1993). No caso de Vitória da Conquista – BA, o armazenamento inadequado das embalagens pode ter contribuído para obtenção de elevadas umidades, uma vez que, é comum na cidade que as embalagens estejam depositadas diretamente sob o chão ou expostas na frente dos mercados, onde a possibilidade de contato com umidade é maior. Situação semelhante foi constatada por Anater (2017).

### Densidade a granel

A média da densidade a granel encontrada nas dez marcas de carvão vegetal foi de 205 kg.m<sup>-3</sup>, com um coeficiente de variação de 16%. O valor máximo foi observado no carvão D (235 kg.m<sup>-3</sup>) e o valor mínimo (140 kg.m<sup>-3</sup>) no carvão H (Figura 11).



**Figura 11** – Densidade a granel das diferentes marcas de carvão vegetal. Médias seguidas de mesmas letras, minúsculas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Limite inferior com base no selo *Premium*. Barras acima das colunas representam o desvio padrão das marcas.

Nota-se pelo teste de médias Scott-Knott (5%) que houve a formação de dois grupos distintos para densidade a granel, onde os carvões B e H apresentaram valores muito abaixo que os demais (140 - 154 kg.m<sup>-3</sup>).

Considerando a variabilidade interna, entre as repetições de cada marca de carvão, o carvão A apresentou o menor coeficiente de variação (3%) e densidade a granel 198 kg.m<sup>-3</sup>, enquanto o carvão G apresentou o maior coeficiente de variação (21%) e densidade a granel de 206 kg.m<sup>-3</sup>. Independentemente do valor da densidade

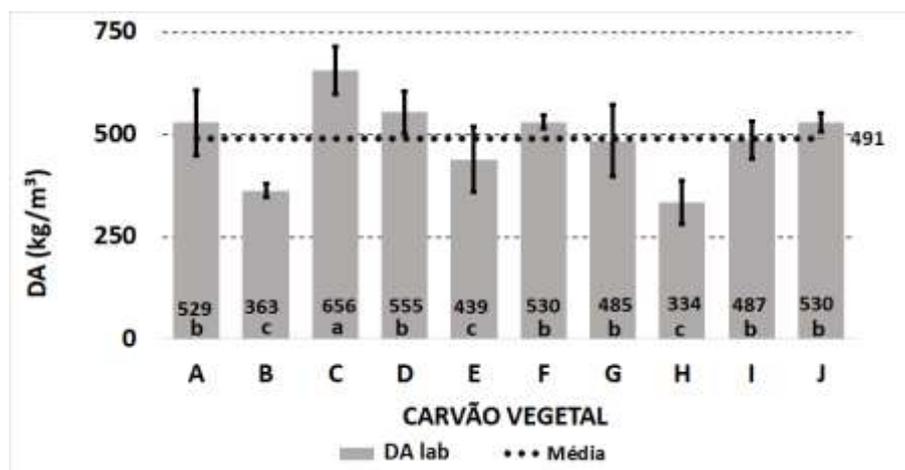
a granel, um bom carvão vegetal deve ser homogêneo em suas características (coeficiente de variação menor que 10%).

O selo *Premium* considera um carvão de boa qualidade para uso residencial aquele com densidade a granel superior a  $230 \text{ kg.m}^{-3}$  (Tabela 1). Assim, a adoção desse critério classifica três dos dez carvões estudados como de qualidade satisfatória, carvão C ( $235 \text{ kg.m}^{-3}$ ), E ( $234 \text{ kg.m}^{-3}$ ) e F ( $230 \text{ kg.m}^{-3}$ ).

De acordo Mendes et al. (1982), os valores relativos à densidade a granel situam-se em torno de  $250 \text{ kg.m}^{-3}$  e esses valores são muito influenciados pela granulometria e pela densidade aparente do carvão vegetal, sendo aumentados conforme a redução no tamanho das peças e/ou aumento da densidade aparente. Carneiro et al. (2011) informam também que os valores para essa propriedade variam em torno de 160 a  $300 \text{ kg.m}^{-3}$ , intervalo esse que enquadra 80% das médias encontradas.

#### Densidade aparente

Para a densidade aparente, foi encontrada uma média de  $491 \text{ kg.m}^{-3}$  para as dez marcas estudadas, apresentando um coeficiente de variação de 19%. O maior valor de densidade foi obtido para o carvão C ( $656 \text{ kg.m}^{-3}$ ) enquanto que o menor valor foi observado no carvão H ( $334 \text{ kg.m}^{-3}$ ), conforme apresentado na Figura 12.



**Figura 12** – Densidade aparente das diferentes marcas de carvão vegetal. Médias seguidas de mesmas letras, minúsculas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Barras acima das colunas representam o desvio padrão das marcas.

Pelo teste de Scott-Knott percebe-se a formação de três grupos de médias, sendo que o carvão C, por apresentar valor bem superior aos demais (656 kg.m<sup>-3</sup>), foi agrupado isoladamente. O grupo das menores médias foi constituído pelos carvões B (363 kg.m<sup>-3</sup>), E (439 kg.m<sup>-3</sup>) e H (334 kg.m<sup>-3</sup>), e os demais carvões foram classificados como médias intermediárias.

Considerando a variação interna, dentro de cada marca de carvão vegetal analisado, foi percebido que o carvão F apresentou o menor coeficiente de variação (3%) e densidade aparente de 530 kg.m<sup>-3</sup>, enquanto que o carvão E apresentou o maior coeficiente (18%) e densidade de 439 kg.m<sup>-3</sup>.

Não há no selo *Premium* referência de valores mínimos com relação a densidade aparente que o carvão vegetal necessita apresentar. Dias Júnior et al. (2015c) através de um estudo de desdobramento da função qualidade (QFD), verificaram que a densidade é uma das mais importantes características do carvão vegetal para os consumidores, estipulando uma meta de 300 kg.m<sup>-3</sup>. Aplicando esse critério para o presente estudo, percebe-se que todos os carvões atendem bem a essa necessidade.

Anater (2019) ao avaliar carvões de uso residencial comercializado na região de Curitiba – PR, encontrou valores variando de 247 a 516 kg.m<sup>-3</sup> com uma média de 329 kg.m<sup>-3</sup>, valores menores aos encontrados no presente estudo. Brand et al. (2015) também avaliando a qualidade do carvão vegetal de uso residencial, na Região Serrana Sul de Santa Catarina, obtiveram valores médios de densidade aparente de 403 kg.m<sup>-3</sup>, resultados mais próximos aos encontrados no corrente estudo, mas que foram considerados altos pelos próprios autores.

Oliveira et al. (2019) ao avaliar o carvão vegetal comercializado no Sudoeste Paraense, encontrou densidade aparente média de 493 kg.m<sup>-3</sup>, resultados próximos aos encontrados em Vitória da Conquista- BA. Deve ser destacado que, no estudo citado, os autores não conseguiram informar a espécie empregada na produção de carvão vegetal, e dessa forma não há como saber se os resultados procedem de uma produção com madeiras de origem nativa ou de resíduos de serraria.

É interessante ser destacado que uma parte considerável dos carvões analisados (A, C, D e G) apresentaram densidades bem superiores às comumente reportadas em estudos com carvões de espécies de *Eucalyptus* (Tabela 5), apesar de apresentarem essa madeira como origem em sua embalagem.

**Tabela 5** – Valores de densidade aparente de carvão vegetal de eucalipto reportado por outros autores.

<b>Valores de densidade aparente</b>	<b>Referência</b>
288 – 407 kg.m <sup>-3</sup>	PROTÁSIO et al. (2013)
240 – 360 kg.m <sup>-3</sup>	NONES et al. (2014)
317 kg.m <sup>-3</sup> – 434 kg.m <sup>-3</sup>	SILVA et al. (2019)
305 – 393 kg.m <sup>-3</sup> (500°C)	MACHESAN et al. (2020)
297 – 353 kg.m <sup>-3</sup> (550°C)	MACHESAN et al. (2020)

Houve grande proximidade entre os valores de densidade aparente obtidos para os carvões A, C, D e G, com os carvões F (algaroba), I (espécie de origem não informada), J (produzido com madeira nativa) e, com os resultados encontrados por Silva et al. (2018) e Araújo et al. (2018) ao carbonizar madeiras nativas de alta densidade.

Como a densidade aparente do carvão vegetal é fortemente correlacionada com a densidade básica da madeira (VALE et al., 2010), há uma notável preocupação quanto a veracidade das informações apresentadas nas embalagens de algumas marcas de carvão vegetal comercializadas em Vitória da Conquista.

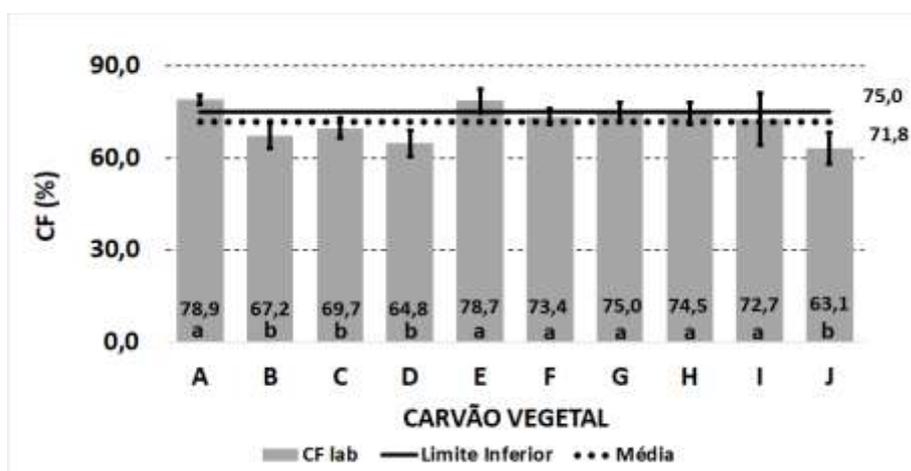
O fato desses carvões apresentarem valores bem superiores ao geralmente encontrado na literatura para as espécies empregadas em sua produção, sugerem o uso de espécies de densidades mais elevadas que às dos *Eucalyptus*, sendo as áreas de mata nativa as mais possíveis fontes dessa matéria prima. Tais fatos, somados ao que informado por um dos comerciantes da cidade sobre os produtores adquirirem embalagens de outras marcas para ensacarem seu produto, isso gera desconfiança quanto a autenticidade das informações e da qualidade do processo de carbonização, e leva a necessidade de estudos e trabalhos envolvendo capacitação técnica, conscientização ambiental e respeito às leis florestais.

#### 4.4. Propriedades químicas do carvão vegetal

Com relação à composição química imediata, as informações de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas encontram-se dispostas nas Figuras 13, 14 e 15, respectivamente.

Para o carbono fixo (Figura 13) foi obtido uma média de 71,8% e um coeficiente de variação de 8,9% para as dez marcas analisadas. O menor valor para essa

propriedade foi observado no carvão J com (63,1%) enquanto o maior valor (78,9%) foi encontrado no carvão A.



**Figura 13** – Carbono fixo das diferentes marcas de carvão vegetal. Médias seguidas de mesmas letras, minúsculas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Barras acima das colunas representam o desvio padrão das marcas.

Pelo teste de Scott-Knott foi observado a formação de dois grupos, onde os carvões A (78,9%), E (78,7%), F (73,4%), G (75,0%), H (74,5%) e I (72,7%) formaram o grupo das maiores médias. De acordo com os critérios do selo *Premium* (Tabela 1), sete das dez marcas de carvão obtiveram valores que foram considerados como baixos quanto a essa propriedade.

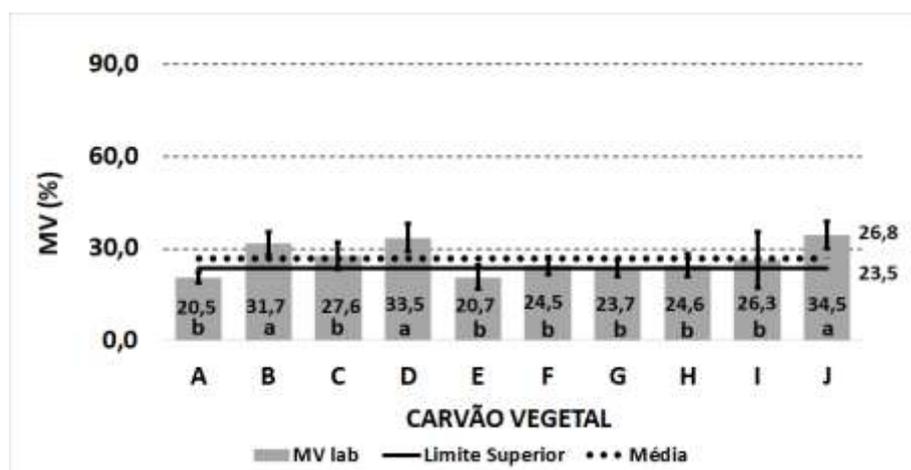
Com relação à variabilidade interna, entre as repetições de cada marca, o carvão A foi o que apresentou o menor coeficiente de variação (1,9%), enquanto que o carvão I apresentou o maior coeficiente (11,6%) e, portanto, maior homogeneidade entre repetições.

O selo *Premium* indica que para apresentar qualidade satisfatória, o carvão vegetal deve apresentar teores de carbono fixo superiores a 75% (Tabela 1). A adoção do critério presente na norma classifica apenas três dos dez carvões analisados como de boa qualidade, sendo eles os carvões A (78,9%), E (78,9%) e G (75,0%).

A utilização de um carvão vegetal com baixos teores de carbono fixo acaba por proporcionar uma combustão de baixo rendimento energético, uma vez que essa variável se correlaciona fortemente com o poder calorífico superior (MENDES et al., 1982; BRITO, 1993; ASSIS et al., 2012; MACHADO et al., 2014). Portanto, é de se esperar que a maioria dos carvões analisados por esse estudo apresente reduzida geração de energia.

Uma outra constatação interessante sobre o carbono fixo, é que ele pode ser relacionado com a temperatura de carbonização empregada durante a pirólise, onde o aumento da temperatura promove na madeira uma maior expulsão dos gases e aumento do conteúdo de carbono fixo, constatação similar foi realizada por outros autores como (MENDES et al., 1982; PEREIRA, 2021 e PROTÁSIO et al., 2021). Dessa forma, é possível supor que alguns dos carvões vegetais comercializados na cidade são produzidos em temperaturas mais amenas, possivelmente inferiores a 500 °C (MENDES et al., 1982).

No tocante ao teor de materiais voláteis (Figura 14), foi obtida uma média geral de 26,8% para as dez embalagens analisadas. O menor valor observado foi para o carvão A (20,5%) enquanto o maior valor foi apresentado pelo carvão J (34,5%).



**Figura 14** – Materiais voláteis das diferentes marcas de carvão vegetal. Médias seguidas de mesmas letras, minúsculas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Barras acima das colunas representam o desvio padrão das marcas.

De acordo o teste de médias, de maneira similar ao observado no carbono fixo foram formados dois grupos de médias. Os carvões B (31,7%), D (33,5%) e J (34,5%) foram os que apresentaram os maiores valores e dessa forma foram classificados em um grupo diferente dos restantes.

Com relação à variabilidade interna entre amostras, para cada uma das dez marcas, o carvão A apresentou o menor coeficiente de variação (7,6%). O carvão I foi o que apresentou o coeficiente de variação mais elevado (35%).

De acordo com o expresso no selo *Premium* (Tabela 1) é necessário que o carvão vegetal apresente teores de materiais voláteis inferiores a 23,5% para atender

ao requisito de qualidade. Dessa forma, apenas os carvões A (20,5%) e E (20,7%) apresentaram valores classificados como satisfatórios.

A presença de altos valores de materiais voláteis nos carvões B, D e J corroboram com a hipótese apresentada no teor de carbono fixo, de que alguns dos carvões comercializados são produzidos com baixas temperaturas e/ou reduzidos tempos de carbonização (MENDES et al., 1982; ANATER et al., 2019; PEREIRA, 2021). A expulsão reduzida dos gases durante a carbonização da madeira nestas marcas fez com que um maior percentual desses gases permanecesse aderido (condensado) ao carvão vegetal.

Altos teores de materiais voláteis são associados a uma maior emissão de gases (alguns tóxicos) durante a queima, sendo dessa forma nocivos à saúde humana (PENNISE et al., 2001; ROSA, et al., 2012; BRAND et al., 2015; ANATER et al., 2019).

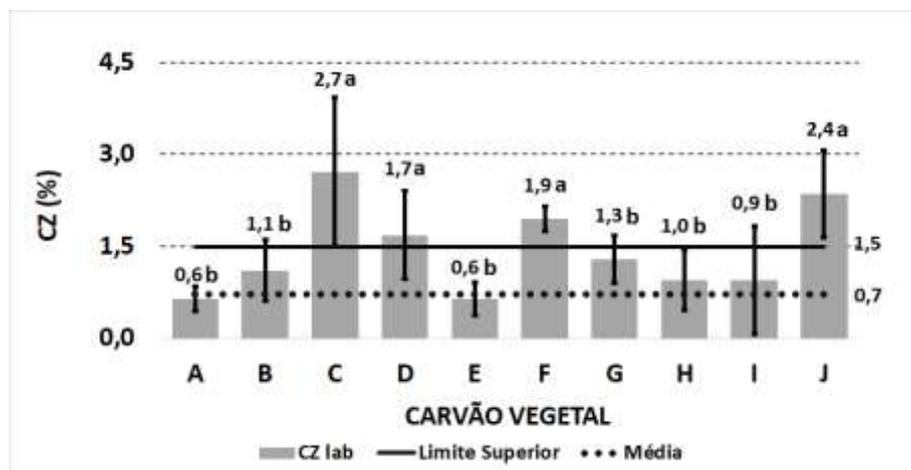
Vale ser destacado que os materiais voláteis apresentam grande importância durante a degradação térmica do carvão vegetal principalmente nas etapas iniciais da ignição, onde os gases despreendidos facilitam o acendimento e estabilização da chama (MENDES et al., 1982; PROTÁSIO et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2019). Há, no entanto, redução do poder calorífico do carvão vegetal conforme o percentual desses gases obtém valores superiores a 13% (MENDES et al., 1982).

Com relação ao teor de cinzas, a média das 10 marcas de carvão vegetal avaliada foi considerada baixa (0,72%) conforme Figura 15. O maior valor para o teor de cinzas foi apresentado pelo carvão C (2,7%) com um coeficiente de variação de 44%, enquanto o menor valor foi observado nos carvões A e E (0,6%), que apresentaram coeficientes de variação de 32% e 42%, respectivamente.

Pelo teste de Scott-Knott foram formados dois grupos de médias. O agrupamento das maiores médias foi composto pelos carvões C (2,7%), D (1,7%), F (1,9%) e J (2,4%). Os demais carvões estão agrupados no segundo grupo com menor teor de cinzas.

No que diz respeito à variabilidade interna, entre as amostras para cada uma das dez marcas de carvão vegetal, o carvão G foi o que apresentou o menor coeficiente de variação (10,3%). Devido à alta variabilidade apresentada entre amostras, o carvão I apresentou o maior coeficiente de variação dos carvões

analisados (92,4%). Devido a massa de cinzas ao final da análise ser muito pequena, é comum ser observado elevados coeficientes de variação para essa propriedade.



**Figura 15** – Cinzas das diferentes marcas de carvão vegetal. Médias seguidas de mesmas letras, minúsculas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Barras acima das colunas representam o desvio padrão das marcas.

Com relação ao limite informado pelo selo *Premium* para essa propriedade (Tabela 1) pode-se perceber que a maioria dos carvões cumpre bem esse requisito de qualidade (ser inferior a 1,5%). Coincidentemente, os carvões a não atenderem ao requisito do selo foram agrupados no grupo de maiores médias pelo teste de Scott-Knott, como C (2,7%), D (1,7%), F (1,9%) e J (2,4%).

No que diz respeito à fração de minerais do carvão vegetal é desejada a sua redução a valores mínimos, tão baixos quanto possíveis, devido sua atuação negativa durante a combustão, absorvendo parte da energia gerada para o processo de fusão dos inorgânicos (BRAND, 2010; MACHADO et al., 2014; ANATER et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019). Um outro motivo das cinzas ser um componente indesejado do carvão vegetal é o aumento da frequência de limpeza dos equipamentos, uma vez que uma maior quantidade de resíduos minerais é gerada ao utilizar carvões com elevados teores de cinzas (ASSIS et al., 2012; SANTOS et al., 2008).

Resultados similares ao presente estudo, quanto à química imediata, foram encontrados por Rosa et al. (2012), Brand et al. (2015), Costa et al. (2017), Anater et al. (2019), Oliveira et al., 2019; Nunes et al. (2020), ao analisarem carvões vegetais voltados ao abastecimento do setor doméstico em diferentes cidades do Brasil. Vale destacar que os estudos acima citados também relataram a incidência de muitas

embalagens de carvão vegetal com valores inadequados quanto às propriedades indicadas no selo *Premium*.

Com relação à composição química imediata, apenas duas das marcas analisadas (Carvão A e E) podem ser classificadas como de qualidade satisfatória segundo as determinações do selo *Premium* do estado de São Paulo.

#### 4.6 Avaliação global da qualidade do carvão vegetal de acordo com o selo *Premium*

Na Tabela 6 foi apresentada uma avaliação global das propriedades das dez marcas de carvão vegetal comercializadas em Vitória da Conquista de acordo com as especificações contidas no selo *Premium* (Tabela 1).

**Tabela 6** – Resumo das propriedades do carvão vegetal segundo requisitos do selo *Premium*.

<b>Carvão</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>
<b>A</b>	-	-	OK	OK	OK
<b>B</b>	-	-	-	-	OK
<b>C</b>	-	Ok	-	-	-
<b>D</b>	-	-	-	-	-
<b>E</b>	-	OK	OK	OK	OK
<b>F</b>	-	OK	-	-	-
<b>G</b>	-	-	OK	-	OK
<b>H</b>	-	-	-	-	OK
<b>I</b>	-	-	-	-	OK
<b>J</b>	-	-	-	-	-

P1 = umidade: superior a 5%; P2 = densidade a granel: maior que 230 kg.m<sup>3</sup>; P3 = carbono fixo: superior a 75%; P4 = materiais voláteis: inferior a 23,5%; P5 = inferior a 1,5%.

Todos os carvões estudados foram desclassificados em pelo menos uma propriedade com base nos critérios do selo *Premium* (Tabela 6). Apenas o carvão J não apresentou qualidade satisfatória em todas as propriedades avaliadas. O carvão E foi considerado satisfatório em quatro critérios e foi o que melhor se adequou aos limites estabelecidos pelo selo.

Percebe-se que entre os carvões analisados há baixo atendimento aos critérios presentes no selo, sugerindo uma baixa ou inexistente preocupação técnica. Tal constatação gera prejuízos para consumidor e produtor que tem a comercialização prejudicada devido à falta de padronização do produto final e à inexistência de referência técnica de qualidade no estado da Bahia.

Diante disso, existe a necessidade da criação de uma norma reguladora de qualidade no estado da Bahia ou da adoção do selo *Premium* de São Paulo, como uma importante estratégia no intuito de orientar os produtores de carvão vegetal e aumentar o nível de qualidade do produto que é comercializado em território baiano.

#### 4.6 Análise estatística multivariada

Devido as variáveis possuírem diferentes unidades de medida, foi realizada a padronização desses dados através do cálculo da matriz de correlação para realização da ACP, afim de se evitar possíveis interferências dessas unidades.

##### 4.6.1 Análise de Componentes Principais (ACP)

A Tabela 7 apresenta os autovetores ( $\hat{e}$ ) e as contribuições (Cont) de cada variável nas duas primeiras componentes principais (CP) obtidas com a análise multivariada. As duas primeiras componentes foram responsáveis por explicar 80,9% da variação total dos dados.

**Tabela 7** – Autovetores das variáveis originais nas duas primeiras componentes principais.

Variáveis	CP1		CP2	
	$\hat{e}_1$	Cont (%)	$\hat{e}_2$	Cont (%)
Umidade	-0,4659	7,4	0,4424	10,1
Densidade a granel	0,2554	2,2	0,9396	45,8
Densidade aparente	-0,8756	26,2	0,3525	6,4
Carbono fixo	0,8195	22,9	-0,4197	9,1
Materiais voláteis	0,9079	28,1	0,1929	1,9
Cinzas	0,6200	13,1	0,7153	26,5

CP1 e CP2: componentes principais 1 e 2, respectivamente;  $\hat{e}_1$  e  $\hat{e}_2$ : autovetores das componentes 1 e 2; Cont: contribuição das variáveis nas componentes principais; Cos: cosseno do ângulo da variável com a componente principal.

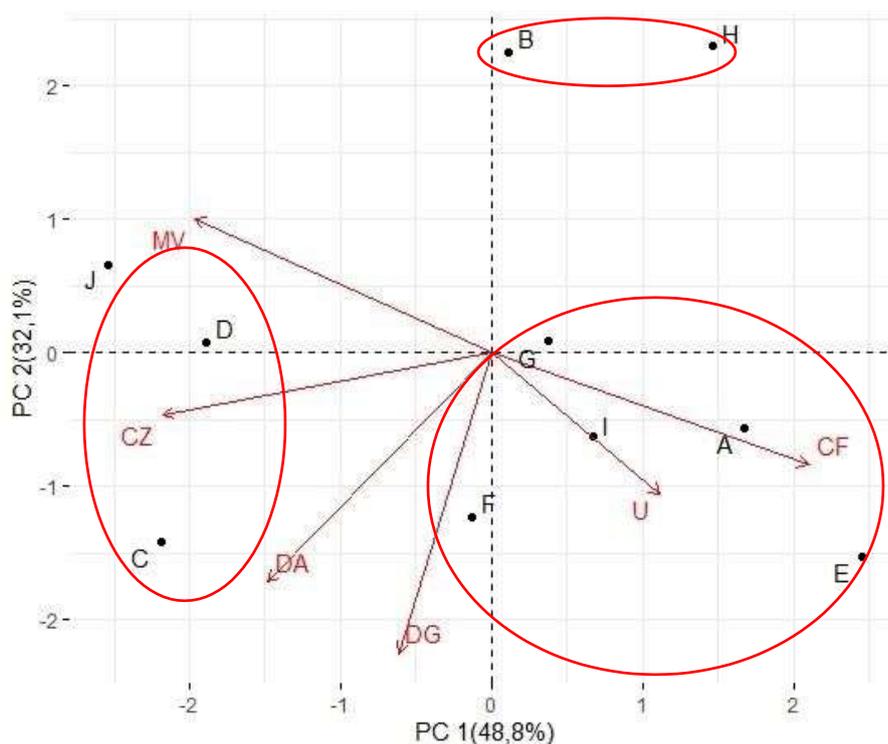
Observa-se que os maiores autovetores (Tabela 7) para a componente principal 1, em módulo, são os referentes à densidade aparente (0,87), carbono fixo (0,82) e materiais voláteis (0,91). Essas variáveis em conjunto foram responsáveis por 77,2% da variação dos dados explicadas por essa componente principal.

Para a componente principal 2 os autovetores mais elevados, foram os referentes à densidade a granel (0,94) e cinzas (0,72). Essas duas variáveis foram

responsáveis por 72,3% da variância dos dados explicadas pela componente principal 2.

Todas as propriedades do carvão vegetal utilizadas neste estudo apresentaram fundamental importância para a determinação da sua qualidade. Porém destaque merece ser dado para a densidade (aparente e granel) e a química imediata (carbono fixo, materiais voláteis e cinzas) que apresentaram relevante contribuição para a explicação das duas componentes principais (PC1 e PC2). A umidade do carvão não apresentou grande representatividade nas duas componentes.

Para uma melhor compreensão da análise de componentes principais (ACP), optou-se pela representação gráfica do tipo *Biplot*, mostrando as duas componentes principais (PC1 e PC2), os vetores (propriedades do carvão vegetal – retas vermelhas) e escores (marcas A – J) conforme Figura 16.



**Figura 16** – Escores e autovetores das componentes principais um (CP1) e dois (CP2).

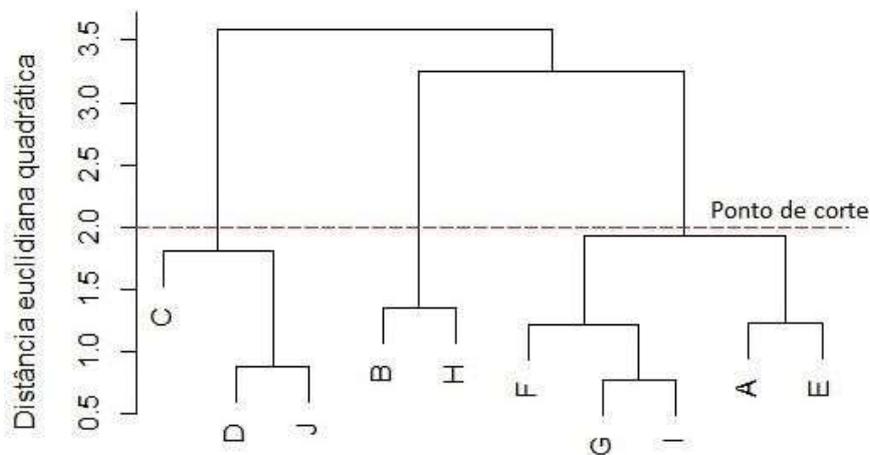
A similaridade entre as marcas de carvão vegetal por meio da dispersão gráfica dos escores (A – J), aponta para o agrupamento de três grupos (círculos vermelhos), baseado na proximidade desses escores. Essa similaridade é resultado, principalmente, das variáveis com maiores autovetores nas componentes principais selecionadas (JOHNSON e WICHERN, 2007).

O primeiro grupo, formado pelos carvões A, E, F, G e I, apresentaram influência positiva (direção do vetor no gráfico) do carbono fixo e umidade, em que essas características foram as mais relevantes para esse agrupamento. O segundo grupo, formado pelos carvões C, D e J, apresentou comportamento inverso ao primeiro, com influência positiva de materiais voláteis e cinzas, características consideradas mais importantes para esse agrupamento. O terceiro grupo, constituído pelos carvões B e H, apresentou influência negativa com as variáveis de densidade (DA, DG).

O agrupamento das marcas em três grupos pode ser alterado de acordo a exigência por maior ou menor variabilidade na qualidade do carvão vegetal. Reduzir o número de grupos significa diminuir a variabilidade entre marcas e aumentar o controle de qualidade do carvão. Além da qualidade isso também afeta no custo de produção e nas possibilidades de comercialização, incluindo exportação.

#### 4.6.2 Análise de Agrupamento

A partir do cálculo da matriz de similaridade pela distância euclidiana e a utilização do método de ligação média (UPGMA) como técnica hierárquica aglomerativa, foi produzido o dendrograma presente na Figura 17. Observou-se um bom ajuste entre a representação gráfica e a matriz original das distâncias, uma vez que o coeficiente de correlação cofenética encontrado foi de 0,77; e significando que a diferença entre as distâncias originais e as ajustadas pelo dendrograma foi pequena.



**Figura 17** – Dendrograma obtido pela análise de agrupamento das marcas de carvão vegetal.

Pelo ponto de corte estabelecido, considerando a distância euclidiana quadrática de 2,0, equivalente a 55,8% da distância euclidiana total (3,6) determinada, percebe-se a formação de três grupos. O primeiro formado pelas marcas A, E, F, G e I; o segundo formado pelas C, D e J; e o terceiro pelos carvões B e H. O corte foi estabelecido como o ponto ao qual as marcas foram agrupadas e permaneceu a maior distância sem formação de novos grupos.

As médias que foram recalculadas para cada variável, em cada grupo formado, encontra-se disponível na Tabela 8.

**Tabela 8** – Médias das variáveis para cada agrupamento formado na análise.

<b>Grupo</b>	<b>Marcas</b>	<b>U</b>	<b>DG</b>	<b>CF</b>	<b>MV</b>	<b>CZ</b>	<b>DA</b>
I	A, E, F, G e I	7,18	218	75,7	23,2	1,1	494
II	C, D e J	6,4	220	65,8	31,9	2,3	580
III	B e H	6,5	147	70,8	28,2	1,0	348

O grupo I dos carvões foi o que apresentou os melhores resultados no que diz respeito à química imediata. A umidade e a densidade a granel apresentaram-se com valores inadequados do ponto de vista de qualidade segundo indicado pelo selo Premium. Do ponto de vista geral, foi o grupo que melhor atendeu às exigências, mas ainda necessita de adequação nos valores de densidade a granel e umidade para ser classificado como de qualidade satisfatória.

O grupo II apresentou valores inadequados tanto para as propriedades químicas (carbono fixo, materiais voláteis e cinzas) quanto físicas (umidade, densidade a granel) e dessa forma foi classificado como de baixa qualidade. O grupo III, também classificado como de baixa qualidade, também apresentou valores inadequados para a maioria dos elementos indicados pelo selo Premium, com exceção do teor de cinzas que está dentro da faixa de aceitação.

Castro et al. (2013), Protásio et al. (2013), Fialho (2018) reportaram que o uso de técnicas de análises multivariadas são estratégias eficientes na seleção de clones de *Eucalyptus* visando seu uso energético. No caso do presente estudo, apresentou-se como uma ferramenta muito útil para o agrupamento das diferentes marcas de carvão vegetal, produzidas em diferentes lugares e utilizando tecnologias distintas.

## 5. CONCLUSÕES

As dez marcas de carvão vegetal para uso residencial comercializadas na cidade de Vitória da Conquista apresentaram qualidade não satisfatória, agrupadas em 3 grupos distintos de acordo com a similaridade de suas propriedades tecnológicas, sendo o grupo formado pelos carvões A, E, F, G e I, o que apresentou características mais adequadas.

Os carvões comercializados na cidade apresentaram baixo controle de granulometria das peças contidas nas embalagens.

Tanto as análises estatísticas univariadas (teste de médias) quanto as multivariadas (APC e Agrupamento) foram eficientes na avaliação da qualidade do carvão vegetal e no agrupamento das marcas.

Apenas uma marca de carvão vegetal é produzida no município de Vitória da Conquista e seis são regionais, com uma distância média de comercialização de 431 km entre produtor e polo consumidor.

A realização do presente trabalho no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais da UESB, permitiu o desenvolvimento das análises de densidade aparente, densidade a granel, granulometria em comprimento e largura e composição química imediata (carbono fixo, materiais voláteis e cinzas).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANATER, M. J. N.; SANQUETTA, C. R.; BRAND, M. A.; SILVA, D. A.; CORTE, A. P. D. Análise da qualidade do carvão vegetal para uso residencial na região de Curitiba, Paraná, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.47, n.123, p. 494-504, set. 2019.

ANATER, M.J.N. **QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PARA USO DOMÉSTICO COMERCIALIZADO EM CURITIBA**. Curitiba -PR: UFPR, 2017, 75 p. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Federal do Paraná.

ARAÚJO, A. C. C.; COSTA, L. J.; BRAGA, P. P. C.; GUIMARÃES NETO, R. M.; ROCHA, M. F. V.; TRUGILHO, P. F. Propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal de *Cenostigma macrophyllum*: subsídios ao uso sustentável. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 365-371, 11 jul. 2018.

ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, T. de P.; ASSIS, C. O. de; TRUGILHO, P. F.; SANTANA, W. M. S. Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302, jul/set 2012.

ASSIS, P.S.; MARINHO, L.Z.A.; PORTO, F.M. Utilização do carvão vegetal na siderurgia. In: PENEDO, W.R. (Ed.). **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 279-318. (Série de Publicações Técnicas, 8).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6922: Carvão vegetal**: ensaios físicos determinação da massa específica (densidade a granel). Rio de Janeiro: ABNT, 1981. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8112: carvão vegetal**: análise química imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941 Madeira**: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. v. 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929: Madeira**: Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BASSO, S.; LENZI, G.G.; JÚNIOR, A.B. Análise do Carvão Vegetal Para Uso Doméstico. **X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. Evento online, 02 a 04. dez. 2020.

BRAHAN, W.K. Combustibilidad de la madera: la experiencia com espécies colombianas. Bogotá: Fondo de Publicaciones, 50 p., 2002.

BRAND, M.A. Energia de biomassa florestal. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2010. 114 P.

BRAND, M. A.; RODRIGUES, A. A.; OLIVEIRA, de A.; MACHADO, M. S.; ZEN, L. R. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na região serrana sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.6, p.1165-1173, 2015.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal. 1. densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. IPEF, Piracicaba, (14): 9-20, jul.1977.

BRITO, J.O., BARRICHELO, L.E.G., MURAMOTO, M.C., COUTO, H.T.Z. ESTIMATIVA DE DENSIDADE A GRANEL DO CARVÃO VEGETAL A PARTIR DE SUA DENSIDADE APARENTE. **IPEF – Circular técnica n° 150**, out, 1982. 6 p.

BRITO, J.O. REFLEXÕES SOBRE QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PARA USO SIDERÚRGICO. IPEF, **Instituto de Estudos e Pesquisas Florestais**, Circular técnica N° 181, out. 1993.

BRITO, J.O.; SILVA, F.G.; ALMEIDA, L.G. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresouce Techbology**, Amsterdam, v.99, n.18, p. 8545-8548, Dec. 2008

CAMPOS, V. F. **Controle da qualidade total**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CARNEIRO, A. C. O.; BARCELLOS, D. C.; SANTOS, R. C. **Treinamento carvão vegetal: apostila teórica e prática**. Viçosa-MG, 129p., 2011.

CARNEIRO, A.C.O.; SANTOS, R.C.; OLIVEIRA, A.C.; PEREIRA, B.L.C. Conversão direta da madeira em calor e energia. In: **“Bioenergia e Biorrefinaria - Cana-deaçúcar e Espécies Florestais”**. Editores: SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J.H. Viçosa, MG. p.355 – 378, 2013

CASTRO, A.F.N.M., CASTRO, R.V.O.; CARNEIRO; A.C.O.; LIMA, J.E., SANTOS, R.C.; PEREIRA, B.L.C.; ALVES, I.C.N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 48, n6, p. 627-635, jun, 2013.

COSTA, A. C. S.; OLIVEIRA, A. C.; FREITAS, A. J.; LEAL, C. S.; PEREIRA, B. L. C. Qualidade do carvão vegetal para cocção de alimentos comercializado em Cuiabá – MT. **Nativa**, Sinop, v. 5, n. 6, p. 456-461, 2017.

COSTA, A. C. P. R.; RAMALHO, F. M. G.; COSTA, L. R.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P. R. G. Classification of commercial charcoal for domestic use by near infrared spectroscopy. **Biomass and Bioenergy**, v. 127, 2019.

DAMÁSIO, R.A.P.; PEREIRA, B.L.C.; OLIVEIRA, A.C.; CARDOSO, M.T.; VITAL, B.R.; CARVALHO, A.M.L.M. Caracterização anatômica e qualidade do carvão vegetal da madeira de pau jacaré (*Piptadenia gonoacantha*). **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 261-267, jul./set. 2013.

DEMIRBAS, A. Relationships between lignin contents and heating values of biomass. **Energy Conversion and Management**, Amsterdam, v. 42, n. 2, p. 183-188, 2001.

DIAS JÚNIOR, A.F.; ANDRADE, C.R.; BRITO, J.O.; LANA, A.Q. RELAÇÃO ENTRE A GRANULOMETRIA E COMBUSTIBILIDADE DO CARVÃO VEGETAL COMERCIALIZADOS PARA COCÇÃO DE ALIMENTOS. **II Congresso brasileiro de ciência e tecnologia da madeira**. Belo Horizonte – MG. 20,22 e 23. set. 2015a.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, A. M.; WERNECK, V. S.; COSTA JÚNIOR, D. S.; FERREIRA, D. A. A.; LELES, P. S. S. Potencial energético de sete materiais genéticos de Eucalyptus cultivados no Estado do Rio de Janeiro. **Scientia Forestalis**, n. 108, p. 478-485, 2015b.

DIAS JÚNIOR, A.F.; ANDRADE, C.R.; BRITO, J.O.; MILAN, M. Desdobramento da Função Qualidade (QFD) na Avaliação da Qualidade do Carvão Vegetal Utilizado para Cocção de Alimentos. **Floresta e Ambiente**, p. 262 – 270, 2015c.

DIAS JÚNIOR, A. F.; PIROLA, L. P.; TAKESHITA, S.; LANA, A. Q.; BRITO, J. O.; ANDRADE, A. M. Higroscopicity of charcoal produced in different temperatures. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 4, p. 423-430, 2016

EPE. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2015**: Ano base 2014. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2015. 291 p.

EPE. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2018**: Ano base 2017. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2018. 294 p.

EPE. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2019**: Ano base 2018. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2019. 303 p.

EPE. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2021**: Ano base 2020. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2021. 268 p.

FIALHO, L. F. Seleção de materiais genéticos de Eucalyptus sp. para a produção de carvão vegetal utilizando análise multivariada. 2018. 51 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.

FIGUEIREDO, M.E.O.; JÚNIOR, D.L.; PEREIRA, A.K.S.; CARNEIRO, A.C.O.; SILVA, C.M.S. POTENCIAL DA MADEIRA DE *Pterogyne nitens* Tull. (Madeira Nova) PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL. **Ciência Florestal**, Santa Marta, v.28, n. 1, p. 420-431, jan.-mar., 2018.

FREDERICO, P. G. U. Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 86 p., 2009.

GARCIA, C.H. TABELAS PARA CLASSIFICAÇÃO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO. **IPEF – Circular Técnica nº 171**, nov, 1989, 10 p.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores: Relatório IBÁ 2021 ano base 2020. São Paulo, 2020. 93 p. <<https://www.iba.org/fatagiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2020**. Rio de Janeiro, 2020. v. 35, p.1-8.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, Sixth Edition, 773p., 2007.

KURAUCHI, M. H. N. Uma abordagem de ensaio de resistência mecânica de carvão vegetal. Dissertação (Mestrado) - **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo, 2014.

MACHADO, G. O.; VOGEL, F.; SILVA, M. M. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas, químicas e mecânicas do carvão de cinamomo (*Melia azedarach* L.). **Ambiência**, Guarapuava, v. 10, n. 1, p. 83-96, 2014

MACHESAN, R.; OLIVEIRA, D. N.; SILVA, R. C.; CARVALHO, L. A.; GOMES, R. T.; ALMEIDA, V. C. QUALITY OF CHARCOAL FROM THREE SPECIES OF THE *Eucalyptus* AND THE *Corymbia citriodora* SPECIES PLANTED IN THE SOUTH OF TOCANTINS. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 50, n. 3, p. 1643 - 1652, jul/set 2020.

MENDES, M.G.; GOMES, A.P.; OLIVEIRA, J.B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: PENEDO, W.R. (Ed.). **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 60-73. (Série de Publicações Técnicas, 8).

NEVES, T.A., PROTÁSIO, T.P. COUTO, A.M., TRUGILHO, P.F.; SILVA, V.O.; VIEIRA, C.M.M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, out./dez. 2011.

NONES, D. L.; BRAND, M. A.; CUNHA, A. B.; CARVALHO, A. F.; WEISE, S. M. K. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DE *Eucalyptus benthamii*. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 45, n. 1, p. 57 - 64, jan. / mar. 2015

NUNES, G.R.S.; KUPKE, M.S.; XIMENDES, M.C.; HANAUER, J.E.; FARIAS, J.A.; PEDRAZZI, C. Qualidade do carvão vegetal para consumo doméstico comercializado na região central do Rio Grande do Sul. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos-PB, v.16, n.2, p.119-121, Agosto-Setembro, 2020.

OLIVEIRA, J.B.; GOMES, P.A.; ALMEIDA, M.R. Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal. In: **Carvão vegetal; destilação, propriedades e controle de qualidade**. Belo horizonte: CETEC, 1982. p. 8-38. (Série de Publicações Técnicas, 6.)

OLIVEIRA, A.C., CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B.L.C.; CARDOSO, M.T. Parâmetros de qualidade da madeira do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, set. 2010.

OLIVEIRA, A.C., PEREIRA, B.L.C.; SALLES, T.T.; CARNEIRO, A.C.O.; LANA, A.Q. Análise de Risco Econômico de Dois Sistemas Produtivos de Carvão Vegetal. **Revista Floresta e Meio Ambiente**, 2017.

OLIVEIRA, R.S.; SILVA, L.F.F.; ANDRADE, F.W.C.; TRUGILHO, P.F. PROTASIO, T.P.; GOULART, S.L. Qualidade do carvão vegetal comercializado no Sudoeste Paraense para cocção de alimentos. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 62, 2019.

PENNISE, D. M.; SMITH, K.R.; KITHINJI, J.C.; REZENDE, M. E.; RAAD, T. J.; ZHANG, J.; FAN, C. Emissions of greenhouse gases and other airborne pollutants form charcoal making in Kenya and Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v.106, n.D20, p.24143-24156, 2001.

PEREIRA, A. K.S. RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA E O TEMPO DE CARBONIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES DO CARVÃO VEGETAL DE *Eucallyptus*

*spp.* Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Vitória da Conquista 2021.

PROTASIO, T.P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G.H.D; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; JÚNIOR, M.G. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, nº 66, p. 113-122, abr/jun. 2011.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A.M.; REIS, A.A.; TRUGILHO, P.F. Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 97, p. 15-28, 2013.

PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S.L.; NEVES, T.A.; TRUGILHO, P.F.; RAMALHO, F.M.G.; QUEIROZ, L.M.R.S.B. Qualidade da madeira e do carvão vegetal oriundos de floresta plantada em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 78, p. 111-123, 2014.

PROTASIO, T.P.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; JUNIOR, J.B.G.; JUNIOR, P.H.L.; SILVA, M.M.O. Avaliação tecnológica do carvão vegetal da madeira de clones jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, nº 108, p. 801-816, dez. 2015.

PROTÁSIO, T. P.; GUIMARÃES JUNIOR, M.; MIRMEHDI, S.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; KNOVACK, K. M. Combustion of biomass and charcoal made from babassu nutshell. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 1-10, 2017

PROTÁSIO, T. de P.; LIMA, M. D. R.; TEIXEIRA, R. A. C.; ROSÁRIO, F. S.; ARAÚJO, A. C. C.; ASSIS, M. R.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F. Influence of Extractives Content and Lignin Quality of Eucalyptus Wood in the Mass Balance of Pyrolysis Process. **Bioenergy Research**, v. 14, n. 1, p. 175–189, 2021.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, P. G.; VALE, A. T., Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 58., 2006, Florianópolis, **Anais eletrônicos...** São Paulo. SBPF/UFSC, 2006.

ROSA, R.A. ARANTES, M.D.C.; PAES, J.B.; ANDRADE, S.P.; MOULIN, J.C. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. V. 3, nº 2, p. 41-48, maio, 2012.

SÃO PAULO. **Resolução nº 10 SAA, de 11 de julho de 2003**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 11 jul. 2003. Disponível em: <[http://www.codeagro.sp.gov.br/arquivos/selo/saa\\_1031a0ff69a85454e1cde89c327a c490f5.pdf](http://www.codeagro.sp.gov.br/arquivos/selo/saa_1031a0ff69a85454e1cde89c327a c490f5.pdf)>. Acesso em: 31 jan. 2019

SANTOS, M. A. S. Parâmetros de qualidade do carvão vegetal para uso em alto-forno. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL, 1., 2008, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte: UFMG, 2008.

SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, M.M. variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, 2010, p.15-22.

SILVA, L.L.H.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; PIMENTA, M.A.C.; PIMENTA, A.S.; DANTAS, M.K.L. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DO CARVÃO VEGETAL DE AROEIRA (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) E LEUCENA (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 412-419, jan.- mar., 2018.

SILVA, A.C.; ARANTES, D.C.; GONÇALVES, F.G.; ALMEIDA, M.N.F.; SANTOS, L.M.H., ANDRADE, J.K.B.; MININI, D. Qualidade do carvão vegetal produzido com resíduos de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.47, n. 123, p. 536-544, set. 2019.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO FERRO NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **ANUÁRIO ESTATÍSTICO 2021**. Belo Horizonte: SINDIFER, 2021. 27 p.

SOBRINHO, M.B.G. CORRELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CARVÃO VEGETAL DE *Eucalyptus sp.*, NA PRODUÇÃO DE FERRO SILÍCIO. 38 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, MG, 2016.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de Cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.