



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO
GROSSO
CAMPUS CUIABÁ - BELA VISTA**

TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

MARCO AURÉLIO MARQUES DE CAMPOS

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PARA USO DOMÉSTICO
COMERCIALIZADO EM CUIABÁ-MT**

Cuiabá – MT

2017



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO
CAMPUS CUIABÁ - BELA VISTA**

TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

MARCO AURÉLIO MARQUES DE CAMPOS

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PARA USO DOMÉSTICO
COMERCIALIZADO EM CUIABÁ-MT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso - Campus Cuiabá Bela Vista para obtenção de título de graduado, sob a orientação do professor Dr. Josias do Espírito Santo Coringa.

Cuiabá - MT

2017

**Divisão de Serviços Técnicos. Catalogação da Publicação na Fonte. IFMT Campus
Cuiabá Bela Vista
Biblioteca Francisco de Aquino Bezerra**

C198a

Campos, Marco Aurélio Marques de.

Análise da qualidade do carvão vegetal para uso doméstico
comercializado em Cuiabá – MT. / Marco Aurélio Marques de Campos.
_ Cuiabá, 2017.
_ 44 f.

Orientador: Prof. Dr. Josias do Espírito Santos Coringa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Instituto Federal de
Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Campus Cuiabá – Bela
Vista. Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental.

1. Carvão – TCC. 2. Qualidade – TCC. 3. Consumo doméstico – TCC.
I. Coringa, Josias do Espírito Santo. II. Título.

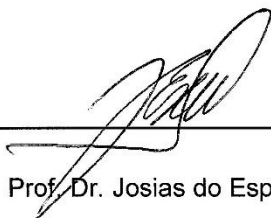
IFMT CAMPUS CUIABÁ BELA VISTA CDU 662.71(817.2)
CDD 630.8.98172

MARCO AURELIO MARQUES DE CAMPOS

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PARA USO DOMÉSTICO
COMERCIALIZADO EM CUIABÁ-MT**

Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Gestão Ambiental, submetido à Banca Examinadora composta pelos Professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso Campus Cuiabá Bela Vista como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Graduado.

Aprovado em 04 de dezembro de 2017.



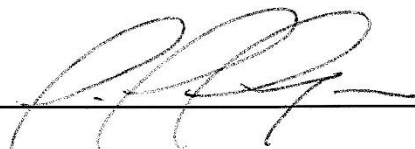
Prof. Dr. Josias do Espírito Santo Coringa

Professor Orientador - IFMT



Profa. Dra. Elaine de Arruda Oliveira Coringa

Membro da Banca- IFMT



Prof. Dr. Marcos Feitosa Pantoja

Membro da Banca- IFMT

**Cuiabá - MT
Dezembro de 2017**

Dedico este trabalho ao meu pai Nenio Marques de Campos, a minha mãe Tereza Lúcia Silva Marques de Campos e a minha esposa Jane Bezerra Ramos de Campos, familiares que nunca me deixaram de incentivar e apoiar.

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, uma força superior que nos faz acreditar que não estamos aqui por acaso, temos um propósito nesta vida.

Aos meus familiares, que é o nosso maior sustentáculo para vencermos as adversidades que iremos enfrentar em nosso caminho.

A minha esposa em especial, por acreditar que apesar das dificuldades, conseguirei ultrapassar barreiras pela determinação, insistência e teimosia (para alcançar meus objetivos).

As minhas lindas filhas, as quais jamais poderei decepcioná-las. Renovando minhas energias por sempre tê-las do meu lado.

Aos colegas do IFMT – Campus Bela Vista, pelo companheirismo e troca de experiências que nos fizeram crescer como estudantes e amigos extra-classe.

A colega Stephanny Duarte, pelas ajudas recebidas, pela força, pela paciência e principalmente pela sua amizade.

Ao Profº Drº Josias do Espírito Santo Coringa, pelo incentivo e orientação durante as etapas deste trabalho.

“Cada dia a natureza produz o suficiente para a nossa carência. Se cada um tomasse o que lhe fosse necessário, não haveria pobreza no mundo e ninguém morreria de fome” Autor: Mahatma Gandhi.

“Divino Pai Eterno fortaleça-me sempre na minha caminhada e aumentai a minha fé para que eu permaneça firme em oração e assim ultrapassar os obstáculos e vencer as dificuldades da vida. Amém”

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Local de estudo e aquisição das amostras (município de Cuiabá).....	22
Figura 2: Divisão das amostras. (Fonte: arquivo próprio).....	23
Figura 3: Processo de trituração das amostras (Fonte: arquivo próprio).....	24
Figura 4: Amostra A do teor de umidade.....	29
Figura 5: Amostra B do teor de umidade.....	30
Figura 6: Amostra C do teor de umidade.....	30
Figura 7: Amostra A do teor de carbono fixo.	31
Figura 8: Amostra B do teor de carbono fixo.	32
Figura 9: Amostra C do teor de carbono fixo.....	32
Figura 10: Amostra A do teor de material volátil.....	34
Figura 11: Amostra B do teor de material volátil.....	34
Figura 12: Amostra C do teor de material volátil.	35
Figura 13: Amostra A do teor de cinza.	36
Figura 14: Amostra B do teor de cinzas	36
Figura 15: Amostra C do teor de cinzas.	37
Figura 16: Amostra A do teor do poder calorífico.	38
Figura 17: Amostra B do teor do poder calorífico.	39
Figura 18: Amostra do teor de poder colorífico.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores utilizados para determinar o coeficiente de “a”, fórmula de <i>Goutal</i> ...	26
Tabela 2: Resultados obtidos das análises expressos em valores médios e o padrão de referência do Selo Premium	28

RESUMO

O Brasil tem-se destacado como maior produtor e consumidor de carvão vegetal, sendo o único país em que esses insumos tem uma aplicação industrial em grande proporção. Embora haja muitos artigos discorrendo sobre o carvão vegetal, são poucos os que tratam da qualidade, sobretudo comparando com os padrões estabelecidos para uso doméstico, que devem reunir algumas características como: alta densidade relativa aparente; alto teor de carbono fixo; alto poder calorífico; baixa umidade; baixo teor de materiais voláteis e baixo teor de cinzas. Com essa finalidade, o objetivo desse trabalho é analisar a qualidade do carvão vegetal, voltado para o consumo doméstico, comercializado no município de Cuiabá - MT. Para tal, foram realizadas análises das características físicas e químicas do carvão vegetal, tais como: teor de umidade, teor de carbono fixo, teor de materiais voláteis, teor de cinzas e poder calorífico superior. Foram adquiridas 3 marcas de carvão vegetal, com o total de 30 amostras analisadas. Os resultados expressam que carvão vegetal apresentou teor de umidade inferiores a 5% como exigido. O teor de cinzas variou de 3,19% a 3,48%, apresentando-se relativamente baixo. A matéria volátil residual do carvão vegetal médio foi de 21,09%, de forma satisfatória. Já o teor de carbono fixo médio do carvão analisado variou de 70,57% a 71,57%. As análises mostram que os dados se aproximaram com pouca variação e desvio padrão médio de 4,57 com $p < 5\%$. Das amostras de carvão analisadas, nem todos os teores seguiram os parâmetros de qualidade do Selo Premium de São Paulo, porém, pode-se concluir que a comercialização do carvão vegetal em Cuiabá – MT, apresenta uma qualidade aceitável para o consumo doméstico.

Palavras-chaves: Carvão, qualidade, consumo doméstico.

ABSTRACT

Brazil has stood out as the largest producer and consumer of charcoal, being the only country in which these inputs have an industrial application in great proportion. Although there are many articles about charcoal, there are few that deal with quality, especially when compared to the standards established for domestic use, which must meet some characteristics such as: high relative bulk density; high fixed carbon content; high calorific value; low humidity; low content of volatile materials and low ash content. With this purpose, the objective of this work is to analyze the charcoal quality, aimed at domestic consumption, commercialized in the city of Cuiabá - MT. For this, analyzes of the physical and chemical characteristics of charcoal were carried out, such as: moisture content, fixed carbon content, volatile material content, ash content and higher calorific value. Three brands of charcoal were acquired, with a total of 30 samples analyzed. The results indicate that charcoal presented a moisture content of less than 5% as required. The ash content ranged from 3.19% to 3.48%, and was relatively low. The residual volatile matter of the average charcoal was 21.09%, satisfactorily. Meanwhile, the average fixed carbon content of the coal analyzed ranged from 70.57% to 71.57%. The analyzes show that the data approached with little variation and mean standard deviation of 4.57 with $p < 5\%$. Of the samples of coal analyzed, not all the contents followed the quality parameters of the Premium Seal of São Paulo, however, it can be concluded that the commercialization of charcoal in Cuiabá - MT, presents an acceptable quality for domestic consumption.

Keywords: Coal, quality, domestic consumption.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 PRODUÇÃO DE CARVÃO E SEUS IMPACTOS NO AMBIENTE E NA SAÚDE	16
2.1.1 IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE	16
A) ASPECTOS NEGATIVOS	17
B) ASPECTOS POSITIVOS	17
2.1.2 IMPACTOS CAUSADOS NA SAÚDE	17
A) RISCOS POTENCIAIS	18
B) PESO E MOVIMENTOS REPETITIVOS	18
C) INALAÇÃO DE FUMAÇA	19
3. CONTROLE DE QUALIDADE	20
3.1 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP) E SUAS APLICAÇÕES	20
3.2 PARÂMETROS DE CONTROLE DE QUALIDADE	20
A) UMIDADE	20
B) CARBONO FIXO	20
C) TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS	21
D) TEOR DE CINZAS	21
E) PODER CALORÍFICO SUPERIOR	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 AMOSTRAGEM	22
4.2 MÉTODOS DE ANÁLISE	23

4.3	ENSAIOS ANALÍTICOS	24
4.3.1	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE.....	24
4.3.2	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CARBONO FIXO	25
4.3.3	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA VOLÁTIL	25
4.3.4	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS.....	25
4.3.5	DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO	25
5.	TRATAMENTO ESTATÍSTICO	27
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6.1	UMIDADE.....	28
6.2	CARBONO FIXO.....	30
6.3	MATERIAL VOLÁTIL	32
6.4	TEOR DE CINZAS	35
6.5	TEOR DO PODER CALORÍFICO	37
7.	CONCLUSÃO	40
8.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	41

1. INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se mundialmente como maior produtor e consumidor de carvão vegetal, sendo o único país do mundo no qual este insumo tem uma aplicação industrial em grande escala, como destino principal, a produção de ferro gusa e aço e ainda de ferro ligas (CALAIS, 2009; MME, 2015). O Brasil é responsável por 40% da produção mundial de carvão vegetal. Em 2009, o país consumiu cerca de 22 milhões de m³ de carvão vegetal, de acordo com a Associação Mineira de Silvicultura (AMS). Na produção do carvão vegetal, um dos seus subprodutos, o carvão resultante em pó de carvão, de granulometria mais fina, totaliza 10% da produção total e não tem destino definido. Devido à alta produção para suprir o consumo em larga escala de carvão vegetal, gera-se no país um resíduo que não é reaproveitado.

O carvão vegetal é utilizado como combustível para aquecedores, lareiras, churrasqueiras e fogões a lenha, além de abastecer alguns setores industriais, como as siderúrgicas. O carvão também é usado na medicina, nesse caso chamado de carvão ativado oriundo de determinadas madeiras de aspecto mole e não resinosas. O estado de Minas Gerais é o maior produtor brasileiro de ferro e aço, responsável por 60% da produção doméstica, onde 62 usinas de ferro-gusa dependem do carvão vegetal. Aproximadamente 70% da produção nacional de carvão vegetal é feita por pequenos produtores. Com isto, as políticas públicas deverão promover e priorizar incentivos que facilitem o acesso deste grande contingente a estas inovações, tanto de processo quanto de equipamentos de melhor eficiência energética (QUINTIERE, 2015).

O carvão vegetal para ser considerado de boa qualidade para o uso doméstico, deve reunir algumas características como: alta densidade relativa aparente; alto teor de carbono fixo; alto poder calorífico; baixa umidade; baixo teor de materiais voláteis e baixo teor de cinzas (RIBEIRO E VALE, 2006).

Todavia, a qualidade do carvão vegetal para o uso doméstico é duvidosa, pois é fato que o controle da carbonização é difícil na maioria dos fornos, produzindo um material heterogêneo, diferindo principalmente em densidade, umidade, composição química, friabilidade, resistência mecânica, reatividade e higroscopicidade (COUTINHO E FERRAZ, 1988).

Para qualificar e prever uma melhor utilização do carvão vegetal é necessário que este seja avaliado. Para isso, existem procedimentos e normas a serem seguidos; como exemplos têm-se a análise química imediata, elementar e poder calorífico (Rosa, et al., 2012).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a qualidade do carvão vegetal, para o consumo doméstico, comercializado em Cuiabá-MT.

1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Determinar o teor de umidade;
- Determinar o teor de carbono fixo;
- Determinar o teor de materiais voláteis;
- Determinar o teor de cinzas e poder calorífico superior de diferentes marcas de carvões vegetais comercializadas e comparar com os padrões estabelecidos pelo Selo Premium.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O carvão vegetal é um insumo energético de grande importância econômica para o País, com ênfase especial na indústria siderúrgica, fornecendo redutor para aproximadamente 34% da produção nacional de ferro-gusa. Esta, por sua vez, como insumo básico para a produção de aços e ferros fundidos, constitui a base de todo o desenvolvimento da chamada indústria metalúrgica, segmento importante da economia brasileira (ABRACAVE, 1989).

Visando melhorias tecnológicas dos processos utilizados, vêm sendo realizados muitos estudos em torno de novas técnicas para a otimização de produção de carvão vegetal e de subprodutos de carbonização (ALMEIDA, 1983; BARBOSA, 1986; FERREIRA, 1988 e TRUGILHO, 1988).

No tocante à condução de carbonização, a velocidade do processo parece exercer grande influência nos rendimentos e na qualidade dos produtos obtidos (MENDES et al., 1982 e OLIVEIRA et al., 1982).

2.1 PRODUÇÃO DE CARVÃO E SEUS IMPACTOS NO AMBIENTE E NA SAÚDE

2.1.1 IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE

Apesar de apresentar inúmeros benefícios, o uso e produção do carvão vegetal gera uma série de problemas ambientais e ainda existem questões sociais atreladas, como a exploração do trabalho nas carvoarias. Na produção muitas vezes é necessário destruir grandes vegetações florestais. De acordo com estudos, cerca de 75% do carvão vegetal produzido no Brasil é originado de vegetação nativa (CULTURA MIX, 2013).

Olhando pelo lado da Gestão Ambiental, podemos analisar que a extração do carvão vegetal pode trazer prejuízos ao meio ambiente e a saúde, como degradação de áreas florestais sem plano de manejo e sua produção de forma artesanal, entre outros. Os órgãos ambientais do município e do estado poderiam criar legislações para regulamentar essa atividade. Uma visão holística que pode resguardar o futuro, como utilizar matéria-prima de reflorestamento, fazer uso de recursos naturais com

sustentabilidade, verificar a qualidade final do produto, sua rotulagem, entre outras melhorias.

A) ASPECTOS NEGATIVOS:

- Causa o aumento da contaminação do ar por gases e material particulado, provenientes justamente da queima deste combustível, gerando uma série de impactos locais sobre a saúde humana;
- Alta emissão de gases de efeito estufa (dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio);
- Extração considerada perigosa;
- Necessita de investimentos para desenvolvimento de tecnologias que reduzam as emissões de gases de efeito estufa a níveis aceitáveis;
- Fonte não renovável, se esgotará da natureza se não houver reflorestamento para extração dessa atividade (QUINTIERE, 2015).

B) ASPECTOS POSITIVOS:

- Ele é infinitamente mais barato que o petróleo e o gás natural;
- Não há nenhuma outra alternativa, em escala industrial, que lhe possa substituir, a médio prazo;
- Produz grande quantidade de energia derivada de sua queima;
- Sua extração acaba por gerar estímulos à economia, à geração de empregos e contribui nas exportações de certos países (QUINTIERE, 2015).

2.1.2 IMPACTOS CAUSADOS NA SAÚDE

Diante de várias indicações positivas do carvão, pode-se destacar o seu uso no tratamento de dores estomacais, mau hálito, aftas, gases intestinais, diarreias infecciosas, desinteira hepática e intoxicações. No Brasil há relatos de uso de carvão vegetal por parte dos índios, que misturavam esta substância com gorduras de animais com a finalidade de combater doenças como tumores e úlceras (QUINTIERE, 2015).

A operação de abastecimento do forno apresenta exigências físicas e cognitivas para o trabalhador. As exigências físicas decorrem das condições de trabalho e do esforço muscular despendido. Os deslocamentos são numerosos e exigem movimentos coordenados dos membros superiores e inferiores; posturas penosas, com torção e flexão do tronco; movimentos repetitivos e uso de força para o transporte manual da carga. É importante destacar que o esforço físico se dá em condições de desconforto térmico. O enchimento do forno é realizado em dois ciclos caracterizados pelo transporte da madeira até a porta e, a seguir, desta para o interior, transportando a mesma madeira duas vezes (DIAS, ASSUNÇÃO e GUERRA, 2002).

A) RISCOS POTENCIAIS

Os riscos potenciais de traumatismos e picadas por animais peçonhentos, sobretudo cobras, escorpiões e aranhas estão presentes em todas as fases do processo de produção do carvão vegetal. O uso da moto-serra, além de ferimentos e traumatismos de gravidade variável, pode causar a perda auditiva induzida pelo ruído e contribuir para outros efeitos como: hipertensão arterial, problemas gastrointestinais, distúrbios de sono, doenças músculo-esqueléticas e vasculares decorrentes da exposição à vibração. O manuseio de machados e facões pode ocasionar lesões graves, em decorrência do despreparo do trabalhador, às vezes muito jovem, e do estado de conservação e adequação das ferramentas. Nas fases de preparo e enchimento do forno, podem acontecer acidentes envolvendo a queda das toras, atingindo os trabalhadores e provocando lesões de gravidade variável, como escoriações, traumatismos e fraturas. O esforço físico excessivo e o trabalho em posições forçadas, bem caracterizados pela análise ergonômica, estão presentes em todas as etapas do processo de trabalho (DIAS, ASSUNÇÃO e GUERRA, 2002).

B) PESO E MOVIMENTOS REPETITIVOS

DIAS, ASSUNÇÃO e GUERRA (2002) relata que a retirada do carvão do forno configura uma situação crítica, onde observando-se um sinergismo entre o esforço físico despendido, a repetitividade dos movimentos, as condições climáticas adversas, a exposição a altas temperaturas e a falta de condições mínimas de higiene e conforto.

Também as dores lombares e problemas relacionados à coluna vertebral são muito frequentes. Os problemas lombares aparecem como a segunda causa de demanda de consulta médica na rede de serviços de saúde, sendo expressivo o número de trabalhadores precocemente incapacitados para o trabalho. O esforço físico intenso e continuado, particularmente em jovens, é responsável pelo desenvolvimento de hérnias inguinais e escrotais.

C) INALAÇÃO DE FUMAÇA

A fumaça que sai dos fornos irrita os olhos e as vias aéreas superiores, impregnando a pele e tudo que está ao redor. No processo de carbonização da madeira são produzidos subprodutos da pirólise e da combustão incompleta, como o ácido pirolenhoso, gases de combustão, Alcatrão, Metanol, Ácido Acético, Metanol, Acetona, Acetato de Metila, Piche, Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Metano, que escapam dos fornos através dos orifícios e podem provocar lesões das vias aéreas e intoxicação. As condições de trabalho são inadequadas, sem o mínimo conforto, os equipamentos e instrumentos de trabalho são arcaicos e/ou sem proteção, o trabalho é monótono e sob tensão, principalmente, quando se deve vigiar o forno (DIAS, ASSUNÇÃO e GUERRA, 2002).

3. CONTROLE DE QUALIDADE

3.1 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP) E SUAS APLICAÇÕES

Segundo RAMOS et. al. (2010) os gráficos de controle podem ser classificados em duas categorias: gráficos por variáveis e por atributos. Os gráficos por variáveis são formados por características cujo resultado provém de alguma medição. Por outro lado, os gráficos por atributos são formados por características cujo resultado é decorrente de uma classificação ou contagem. O gráfico por variáveis pode ser considerado mais completo visto que necessita de amostras menores e apresenta uma maior quantidade de informações em seus dados. Os objetivos da utilização dos gráficos de controle são para verificar: se o processo estudado é estável, se o processo permanece estável e permitir o aprimoramento do processo.

3.2 PARÂMETROS DE CONTROLE DE QUALIDADE

A) UMIDADE

Rosa (2010) destaca que a umidade possui uma relação inversa com a qualidade do carvão vegetal, pois quanto maior a umidade, menor o rendimento energético. Logo, na utilização do carvão para uso doméstico é desejável que o carvão vegetal apresente baixo teor de umidade. Com relação ao teor de umidade, este depende naturalmente das condições meteorológicas e do tipo de armazenamento. A umidade contida no carvão exerce uma grande influência no rendimento dos processos em que ele é utilizado.

B) CARBONO FIXO

O carbono fixo presente no carvão vegetal está relacionado diretamente com o poder calorífico, sendo uma das características químicas de maior influência na sua utilização. O carbono fixo é um importante parâmetro, sua relevância é em função da aplicação do produto, sendo que, em geral, quanto maior o teor de carbono fixo, melhor a qualidade do carvão para o uso doméstico (Brito et al., 1987).

Além disso, o carbono fixo representa a fração do carvão que queima no estado sólido e promove um aumento da estabilidade e resistência térmica do combustível. Logo, devem-se priorizar aquele carvão com maiores teores de carbono fixo e menores teores de materiais voláteis (PROTÁSIO et al., 2013).

C) TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS

Outra propriedade a ser analisada no carvão vegetal é o teor de materiais voláteis, é desejável que esse teor esteja abaixo de 23,5% (SÃO PAULO, 2003).

Frederico (2009) afirma que um alto teor de materiais voláteis ocasiona a produção de muita fumaça, além da menor eficiência energética, o que não é desejável para o carvão visando o uso doméstico. Os materiais voláteis ainda apresentam uma relação inversa com o carbono fixo.

D) TEOR DE CINZAS

O teor de cinzas segundo COELHO JUNIOR et al. (2006), é a relação entre a quantidade de cinzas e a quantidade de carvão na sua origem, relacionado com a composição química da madeira. Sendo maior no carvão vegetal proveniente de madeira nativa. Devido as espécies menos densas e também as lenhas de menor diâmetro o processo de carbonização é mais rápido, produzindo maiores quantidades de cinzas.

E) PODER CALORÍFICO SUPERIOR

O poder calorífico superior possui relação direta com a qualidade do carvão vegetal. Quanto maior o seu valor, maior a energia contida no material por unidade de massa, resultando no maior rendimento energético do carvão vegetal (ROSA et al., 2012). São desejáveis maiores valores de poder calorífico, pois refletem em menor consumo do redutor (carbono), em alto-forno, para uma mesma produtividade, garantindo para um mesmo volume de carvão, maior quantidade de calor desprendida durante a combustão.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. AMOSTRAGEM

Para a realização deste trabalho foram utilizadas 3 marcas de carvão vegetal disponível em 3 diferentes estabelecimentos do município de Cuiabá/MT, durante os meses de agosto, setembro e outubro. A cada 7 dias eram adquiridas 3 amostras, cada amostra possuía por volta de 3 kg descritos na embalagem, conforme Figura 1.

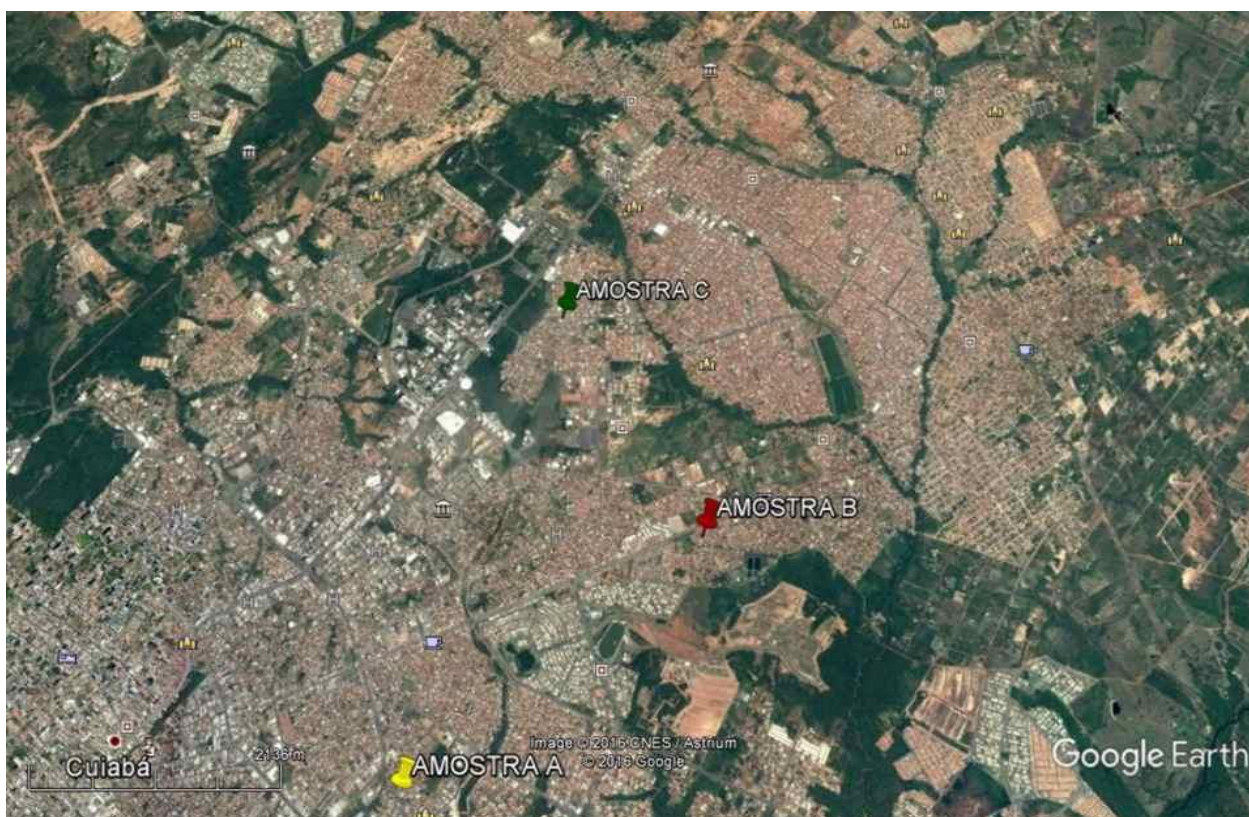


Figura 1: Local de estudo e aquisição das amostras (município de Cuiabá).

As amostras foram identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Monitoramento Ambiental do IFMT - Campus Cuiabá Bela Vista, para a realização das análises físico-químicas, conforme Figura 2.



Figura 2: Divisão das amostras. (Fonte: arquivo próprio).

4.2 MÉTODOS DE ANÁLISE

Foram realizadas as análises físico-químicas imediatas do carvão conforme as seguintes Normas Brasileiras Reguladoras: NBR 8112 (/Associação Brasileira de Normas Técnicas/ABNT, 1986), NBR 8633 (/Associação Brasileira de Normas Técnicas/ABNT, 1983).

4.3 ENSAIOS ANALÍTICOS

Foi realizada a análise físico-química imediata do carvão conforme a Norma Brasileira Regulamentadora/ NBR 8112 (Associação Brasileira de Normas Técnicas/ ABNT, 1986). Para tal, as amostras foram separadas, marcadas e trituradas, com a ajuda de um moinho de bola MA 350/1, conforme figura 3.



Figura 3: Processo de trituração das amostras (Fonte: arquivo próprio).

4.3.1 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

Foi utilizado um cadinho sem tampa; colocou-se na Estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ durante uma hora e meia; depois retirado da estufa e colocado no dessecador para esfriar; foi pesado com a mesma precisão.

4.3.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CARBONO FIXO

A determinação do carbono fixo foi pela diferença entre a soma dos teores (%) de umidade, matéria volátil e cinzas e 100%.

4.3.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA VOLÁTIL

Foi pesado 1g de combustível, isento de umidade e de granulometria inferior a 0,210mm e superior a 0,150mm em um cadinho com tampa, previamente seco e tarado; colocou-se o cadinho com a amostra de carvão vegetal sobre a porta da mufla previamente aquecida a $980 \pm 10^\circ\text{C}$ durante 3 minutos; após 3 minutos, colocou-se o cadinho no meio da mufla e deixá-lo por 7 minutos com a tampa fechada; retirou-se a amostra da mufla, foi deixado para esfriar no dessecador e depois determinou-se a massa final.

4.3.4 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS

Foi pesado 1,0 g de combustível, isento de umidade e de granulometria inferior a 0,210mm, em um cadinho sem tampa, previamente seco e tarado; foi colocado com a amostra de combustível na mufla previamente aquecida a $700 \pm 10^\circ\text{C}$ por 5 horas; o cadinho permaneceu na mufla até que o carvão se queimasse por completo; retira-se a amostra da mufla para esfriar no dessecador; foi determinada a massa final.

4.3.5 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO

O poder calorífico superior foi determinado pela Formula de *Goutal* (Mendes et al., 1982):

$$\text{PODER CALORÍFICO} = (82C + aV)$$

Onde:

C = % de carbono fixo;

V = % de materiais voláteis;

a = coeficiente que varia de acordo com a qualidade do carvão. Para conhecê-lo é necessário o cálculo da porcentagem de V', pela expressão auxiliar que fornece uma relação entre o teor de matéria volátil e sua soma com o carbono fixo:

$V' = 100V / V + C$ e, em seguida utilizar a Tabela 1 correspondente, conforme abaixo.

Tabela 1: Valores utilizados para determinar o coeficiente de “a”, fórmula de *Goutal*.

V'	A	V'	a
> 24,5	103,5	22,5	106
24	104	22	107
23,5	104,5	21,5	107,5
23	105	< 21	108

5. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

A principal metodologia estatística adotada para o monitoramento das características analíticas físico-químicas do carvão foi o procedimento tradicional do CEP – Controle Estatístico de Processo, a construção de Cartas de Controle (por variáveis) para a media, Cartas de Controle para medidas individuais, bem como o cálculo da capacidade do processo.

Com a necessidade de se obterem resultados que permitissem respostas mais rápidas e adequadas à realidade, para a execução do CEP foi utilizado o pacote estatístico Action Stat Pro e Action Stat Quality.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises bem como os dados de cada parâmetro de qualidade do Selo Premium encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados obtidos das análises expressos em valores médios e o padrão de referência do Selo Premium.

PARÂMETROS	UNIDADES	*AMOSTRAS			SELO PREMIUM
		A	B	C	
UMIDADE	%	4,13	4,33	4,83	< 5%
CARBONO FIXO	%	70,65	71,57	71,25	> 75%
VOLATIL	%	21,75	20,91	20,61	< 23,5
CINZAS	%	3,48	3,19	3,31	< 1,5%
PODER CALORÍFICO	Kcal/Kg	7826,94	6291,69	7742,2	nd

*Valores médios.

Obs.: nd = não definido pelo Selo Premium.

O Selo Premium, promulgado pela Resolução nº 10 SAA, de 11 de julho de 2003, no estado de São Paulo, determina que a umidade do carvão vegetal deve estar abaixo de 5%, o teor de carbono fixo deve ser maior que 75% e que o teor de materiais voláteis e o teor de cinzas devem ser menores que 23,5% e 1,5%, respectivamente (SÃO PAULO, 2003).

Os gráficos de controles nas figuras (4 a 18) a seguir, apresentam as variações do teor de umidade, teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo, teor de cinzas e do poder calorífico superior para cada amostra de A, B e C coletadas em Cuiabá.

6.1 UMIDADE

Os valores encontrados neste experimento tiveram valores médios do parâmetro umidade de 4,13% para a amostra A, já para amostra B foi de 4,33%, enquanto que a

amostra C apresentou 4,83%. Com estas medidas destacam que são adequados para o consumo doméstico (Figuras 4, 5 e 6), pois, os valores satisfazem o Selo Premium, sendo o seu teor de umidade inferior a 5%.

BRAND et al. (2015) relata que em suas análises, o carvão vegetal apresentou teor de umidade alto (7,35%), valor muito acima do encontrado nesta pesquisa.

COSTA (2016) também analisou a qualidade do carvão vegetal comercializado em Cuiabá, na qual as amostras adquiridas e avaliadas de 7 marcas diferentes, onde a umidade variou de 4 a 10%.

A umidade, possui uma relação inversa com a qualidade do carvão vegetal, quanto maior a umidade, menor o rendimento gravimétrico do carvão. Isso ocorre porque a água absorve toda a energia que o carvão vegetal libera durante a queima, até que seja totalmente evaporada, então quanto maior a umidade, mais massa o carvão vegetal irá perder para evaporar toda a água contida na sua estrutura (BRAHAN, 2002).

Abaixo, os gráficos das variações da Umidade nas amostras A, B, C:

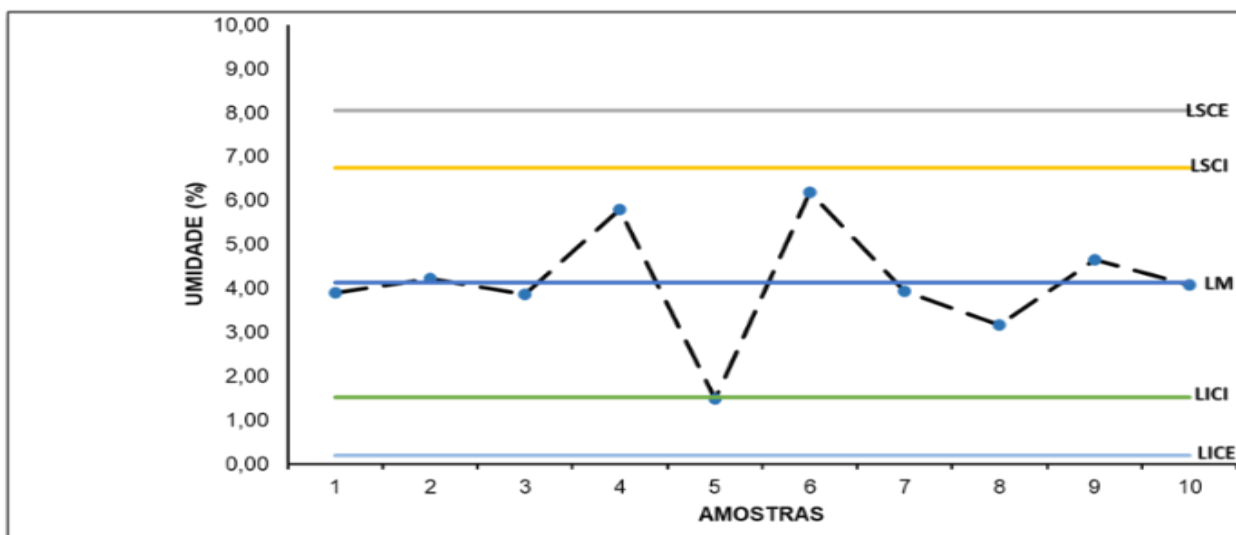


Figura 4: Amostra A do teor de umidade.

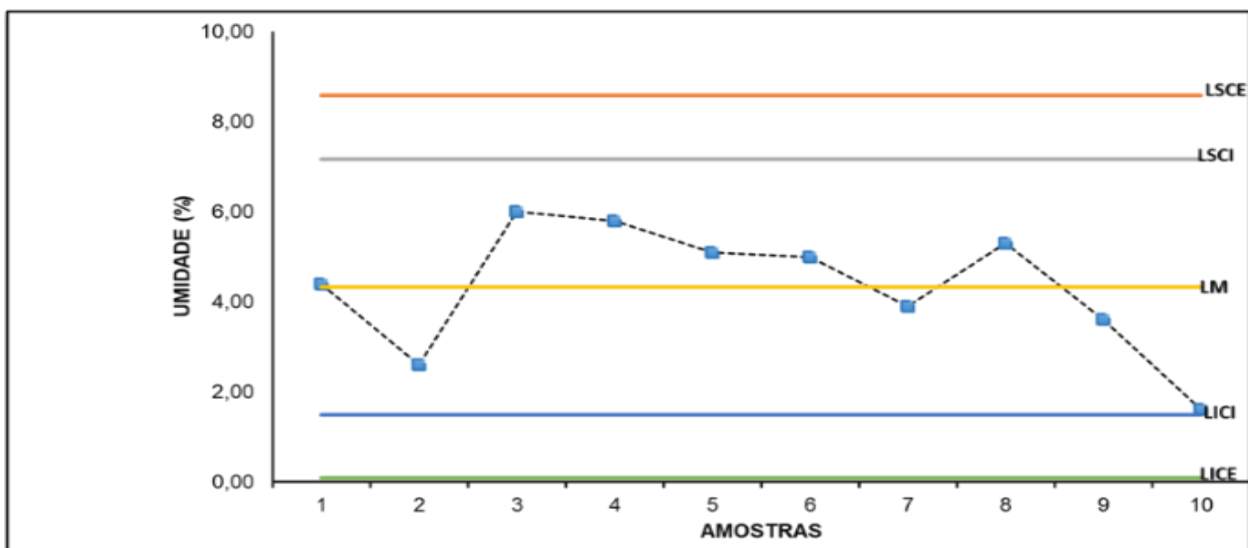


Figura 5: Amostra B do teor de umidade.

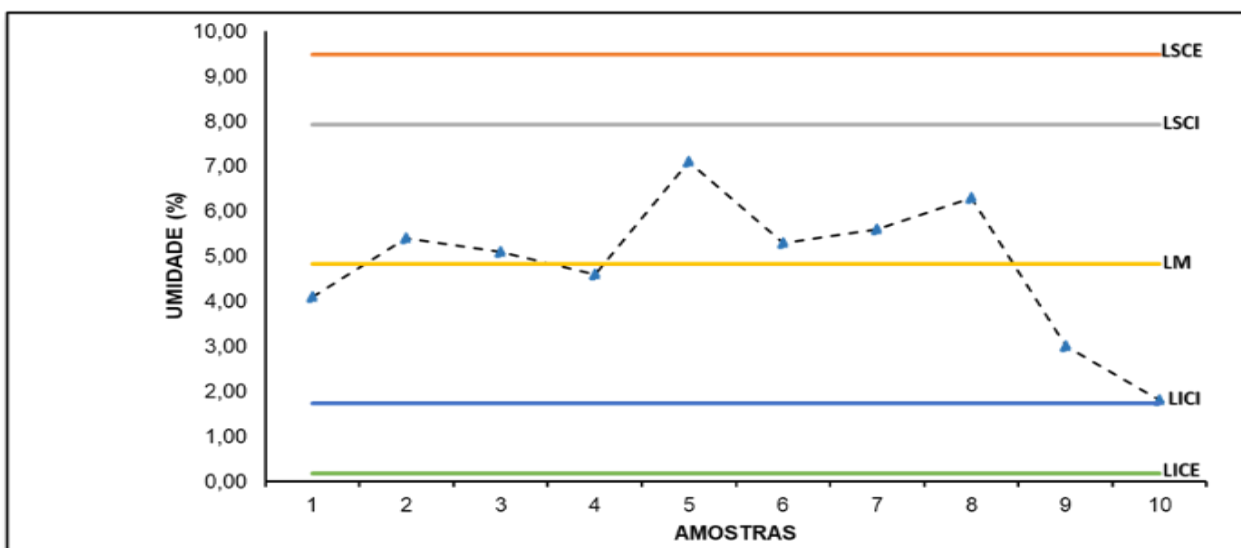


Figura 6: Amostra C do teor de umidade.

6.2 CARBONO FIXO

Segundo Brito et al. (1987) carbono fixo é um importante parâmetro, sua relevância é função da aplicação do produto, sendo que, em geral, quanto maior o teor de carbono fixo, melhor a qualidade do carvão para o uso doméstico.

O carbono fixo médio do carvão analisado variou de 70,57% a 71,57%, mostrando uma aproximação com pouca variação, obtendo assim, um desvio padrão de 4,57% com $p < 5\%$, conforme Figuras 7, 8 e 9. COSTA (2016) mencionou que em suas análises ocorreram variações dos teores de carbono fixo de 57 a 85%, ficando a média em torno de 71%, um pouco abaixo do padrão exigido para essa propriedade do carvão vegetal.

BRAND et al. (2015) relata que em seus experimentos o carvão apresentou baixo teor de carbono fixo (32,85%, 1,96% e 65,17%, respectivamente), indicando que a qualidade do carvão não estava de acordo com o Selo Premium, porque apresentou teores inferiores a 75%.

Abaixo, os gráficos das variações do Carbono Fixo das amostras A, B, C:

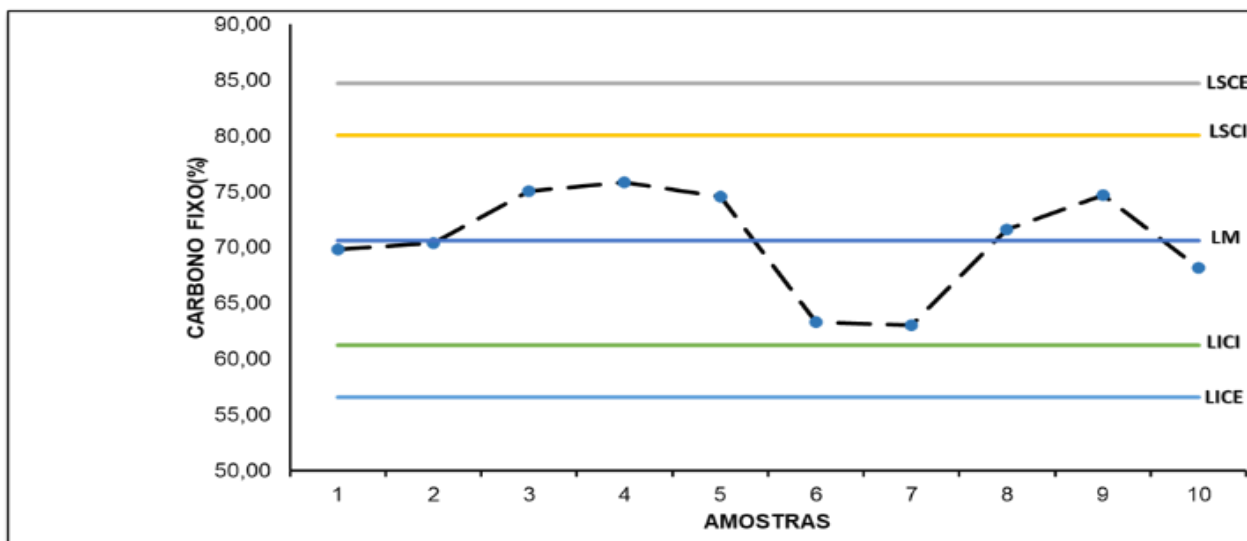


Figura 7: Amostra A do teor de carbono fixo.

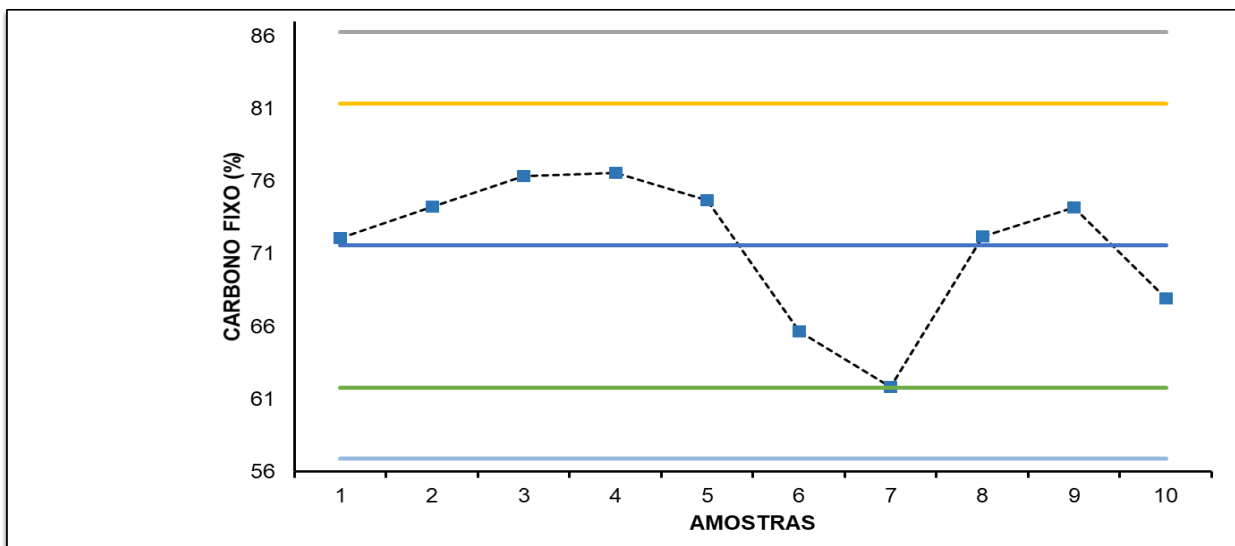


Figura 8: Amostra B do teor de carbono fixo.

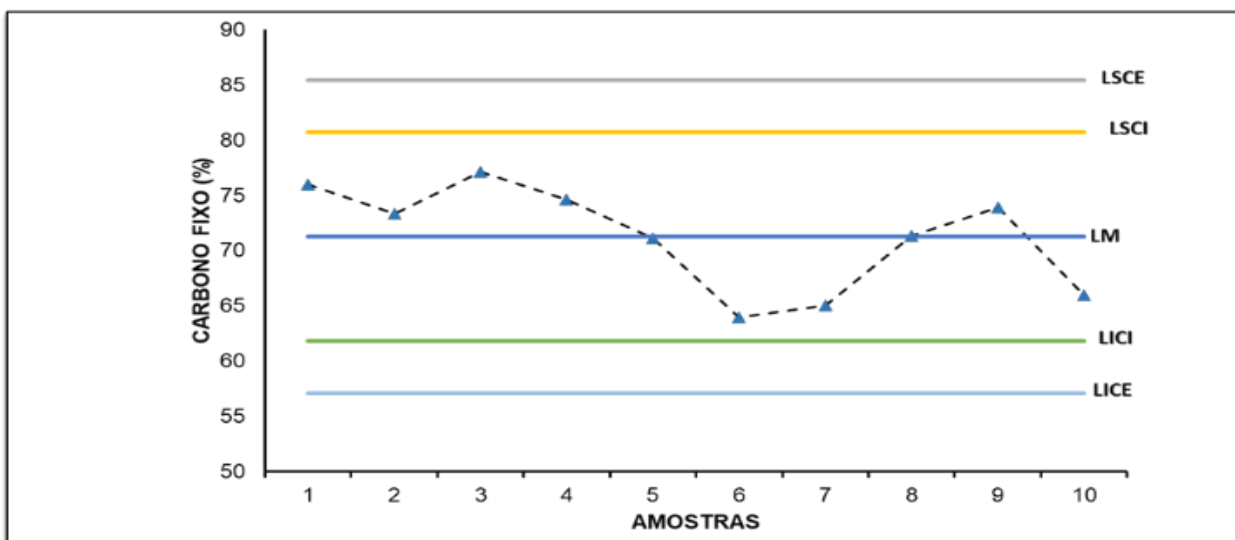


Figura 9: Amostra C do teor de carbono fixo.

6.3 MATERIAL VOLÁTIL

A matéria volátil residual do carvão vegetal é composta, basicamente, de hidrocarbonetos, monóxidos e dióxido de carbono e hidrogênio. No carvão analisado, o teor

de matérias voláteis médio foi de 21,75% na amostra A, 20,91% na amostra B e 20,61% na amostra C (Figuras 10, 11 e 12).

A média das análises ficou em 21,09%, estando dentro do percentual do teor estabelecido pelo Selo Premium, sendo inferior a 23,5%. Percebe-se que os resultados das amostras são muito próximos, isso deve-se ao fato que duas amostras são envasadas pela mesma empresa distribuidora.

Segundo FREDERICO (2009) o teor de materiais voláteis é desejável quando este fica abaixo de 23,5%. Afirma ainda que, um alto teor de materiais voláteis ocasiona a produção de muita fumaça, além da menor eficiência energética, o que não se deseja para o carvão que visa o uso doméstico. Os materiais voláteis ainda apresentam uma relação inversa com o carbono fixo.

BRAND et al. (2015) na determinação dos teores de materiais voláteis, nas análises das amostras do carvão vegetal, ficou com uma média de 32,85%. Este valor é considerado elevado em relação ao padrão de qualidade estabelecido pelo Selo Premium.

COSTA (2016) em suas análises os teores de materiais voláteis tiveram como resultados, variações de 18,78% a 36,39%. As 7 amostras analisadas tiveram como média 21,8%, e em comparação ao Selo Premium, esta propriedade química ficou com seu teor dentro dos valores aceitáveis.

Na página seguinte, os gráficos das variações do Material Volátil das amostras A, B, C.

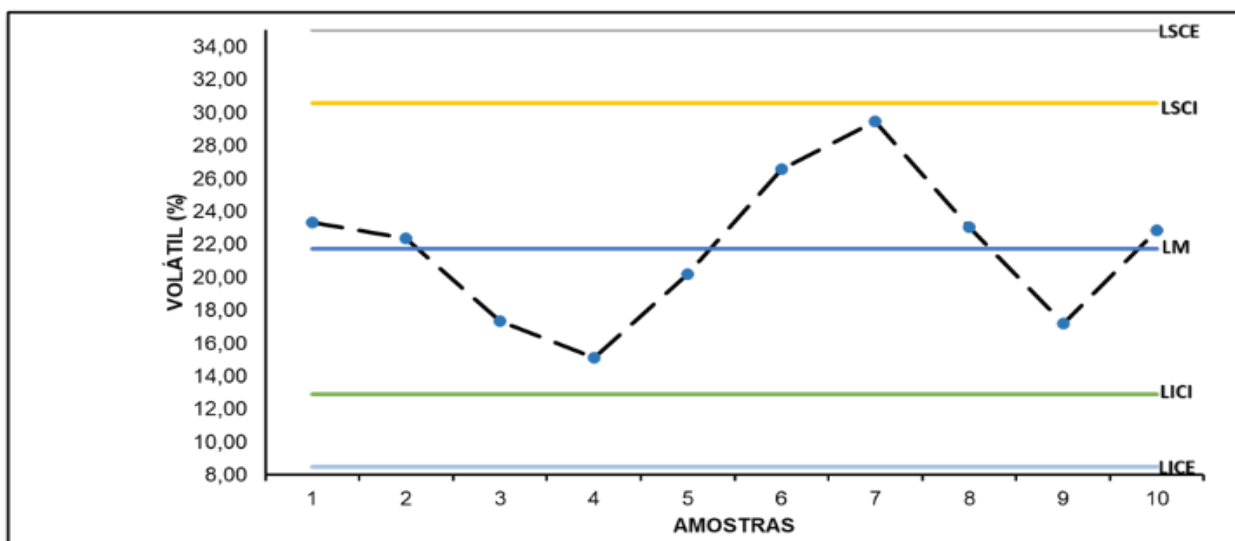


Figura 10: Amostra A do teor de material volátil.

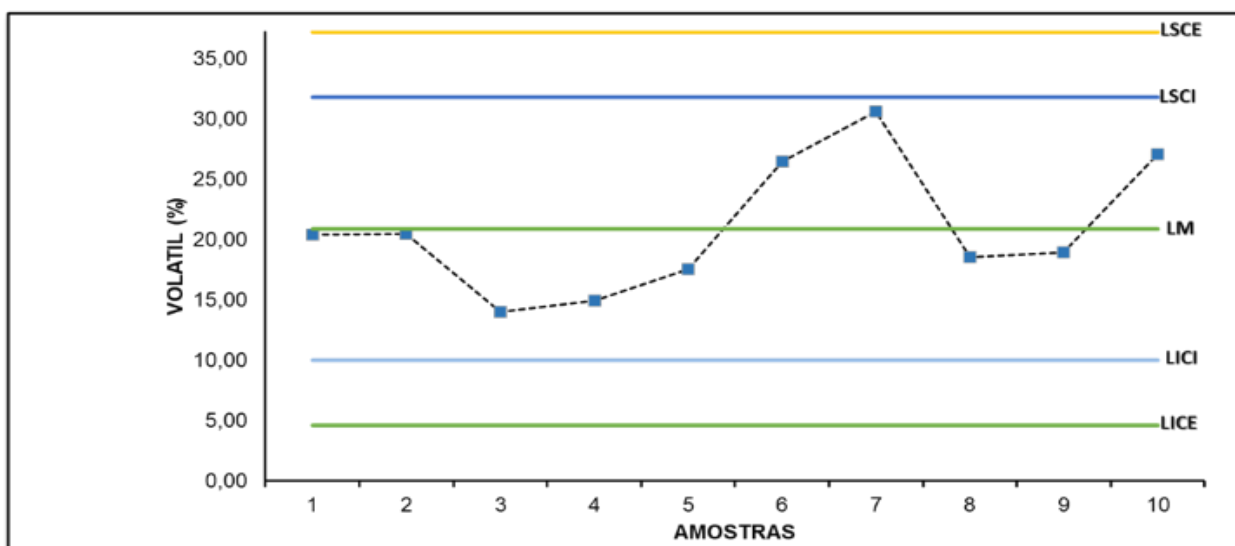


Figura 11: Amostra B do teor de material volátil.

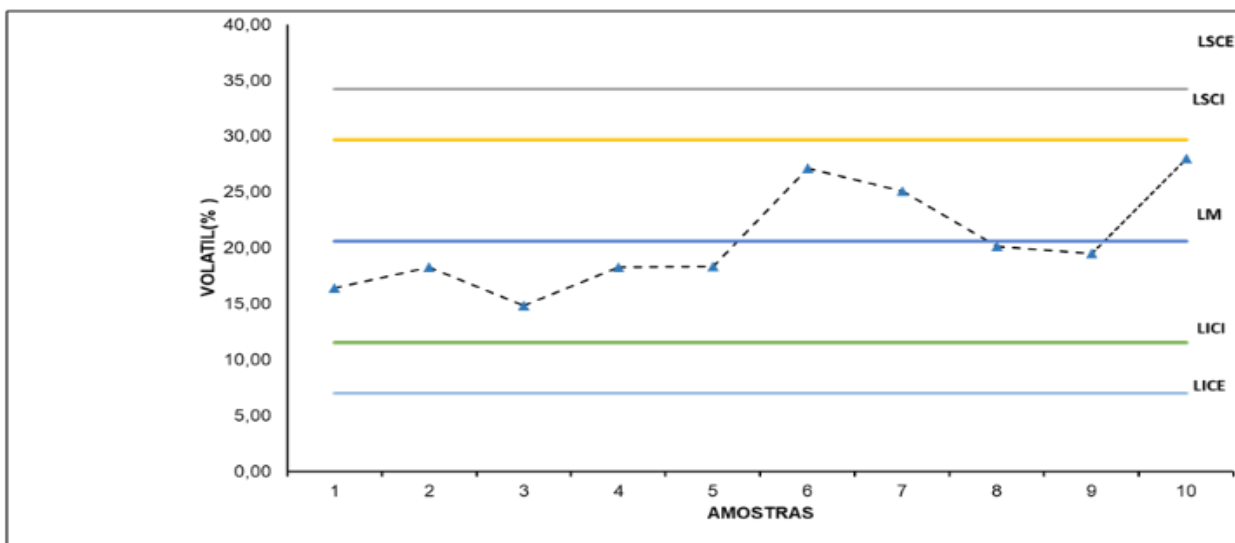


Figura 12: Amostra C do teor de material volátil.

6.4 TEOR DE CINZAS

Os valores em média de cinzas nas amostras variam de 3,19% a 3,48%. Ficando um pouco acima do exigido pelo Selo Premium que seria até 1,5%. Observados nas Figuras 13,14 e 15.

O teor de cinzas, são desejadas em menores quantidades no carvão vegetal, porque os minerais não sofrem combustão, gerando resíduos, assim, diminuem o valor calórico do combustível (PROTÁSIO et. al., 2013).

COSTA et al. (2016) em suas análises, nas 7 amostras de carvão vegetal, encontrou o teor médio de cinzas em torno de 3%, ficando bem acima do padrão do Selo Premium.

BRAND et al. (2015) durante seus experimentos, considerou elevado, o resultado de 1,96% encontrado com relação ao teor de cinzas. Concluiu que esta propriedade química não atendeu ao proposto pelo Selo Premium, visto que, este teor apresentou baixa qualidade para o consumo doméstico do carvão vegetal.

Abaixo, os gráficos das variações de Cinzas das amostras A, B, C:

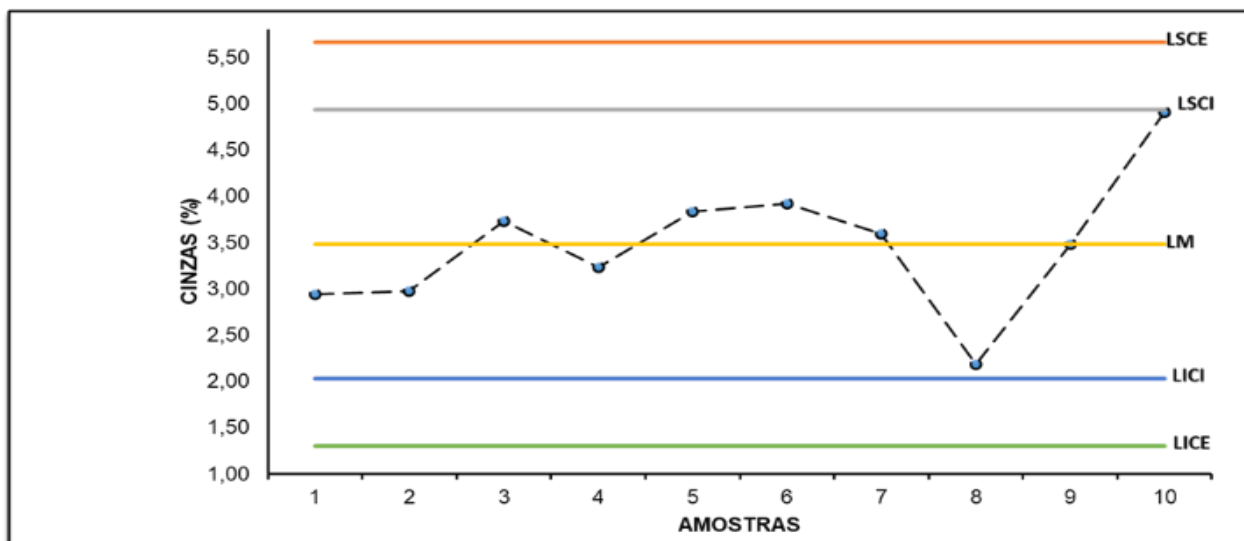


Figura 13: Amostra A do teor de cinzas.

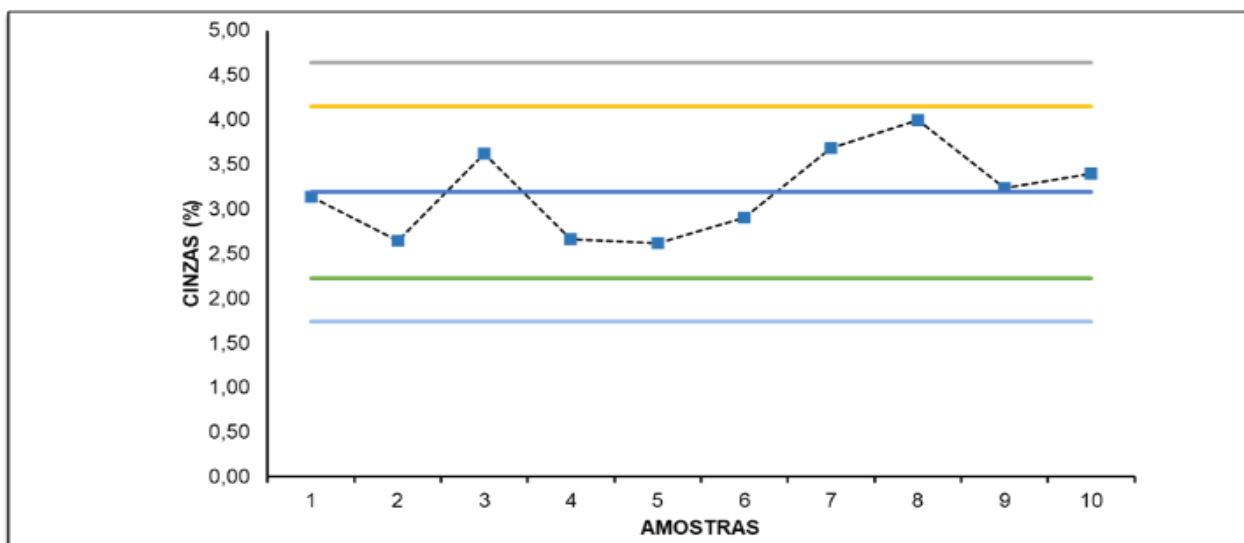


Figura 14: Amostra B do teor de cinzas.

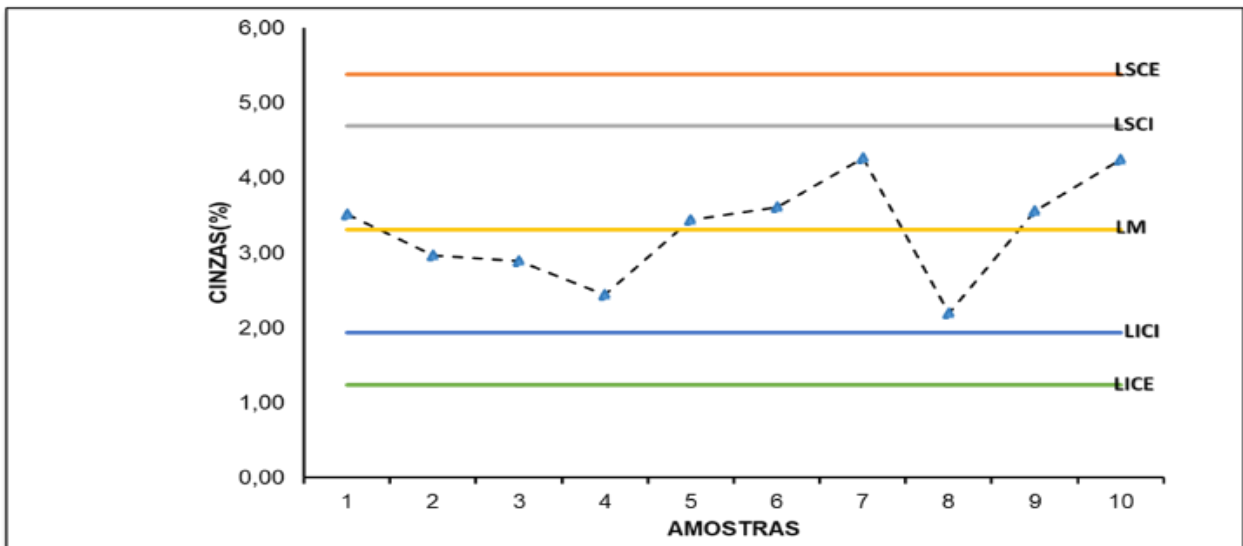


Figura 15: Amostra C do teor de cinzas.

6.5 TEOR DO PODER CALORÍFICO

As 30 amostras de carvão vegetal analisadas apresentaram um poder calorífico com os seguintes valores: 7.826,94 kcal/kg na amostra A, 6.291,69 kcal/kg na amostra B e 7.742,20 kcal/kg na amostra C (Figuras 16, 17 e 18). O valor médio ficou em 7.286,94 kcal/kg, estando entre as medidas encontradas por DOAT e PETROFF (1975) em carvão vegetal obtido de madeiras tropicais, com poder calorífico situado entre 7000 e 7500 kcal/kg. O poder calorífico nas amostras, situaram-se nesta faixa. Desta forma denota-se que as amostras de carvão vegetal analisadas, neste parâmetro, são de boa qualidade.

BRAND et al. (2015) em suas análises com relação ao poder calorífico apresentou um resultado médio de 6.449 kcal/kg. Ficando um pouco abaixo do valor em comparação aos valores encontrados por DOAT e PETROFF (1975). Finalizou dizendo que o produto em estudo foi considerado de baixa qualidade para uso doméstico por apresentar altos teores de umidade, voláteis e cinzas e baixos valores de poder calorífico superior e carbono fixo. Onde, as variações entre as amostras quanto às propriedades físicas e energéticas do carvão, também evidenciam a baixa qualidade do carvão vegetal produzido e comercializado na região serrana sul de Santa Catarina.

COSTA (2016) em relação ao poder calorífico encontrou valores entre 6.000 e 7.500 kcal/kg. Com média em torno de 6.750 kcal/kg, ficou fora da faixa encontrada por DOAT e PETROFF (1975). De modo geral, concluiu que a qualidade do carvão vegetal, que também foi analisado e comercializado no município de Cuiabá, pode ser considerada satisfatória, porém com grande heterogeneidade para os parâmetros analisados.

Abaixo, os gráficos das variações do Poder Calorífico das amostras A B, C:

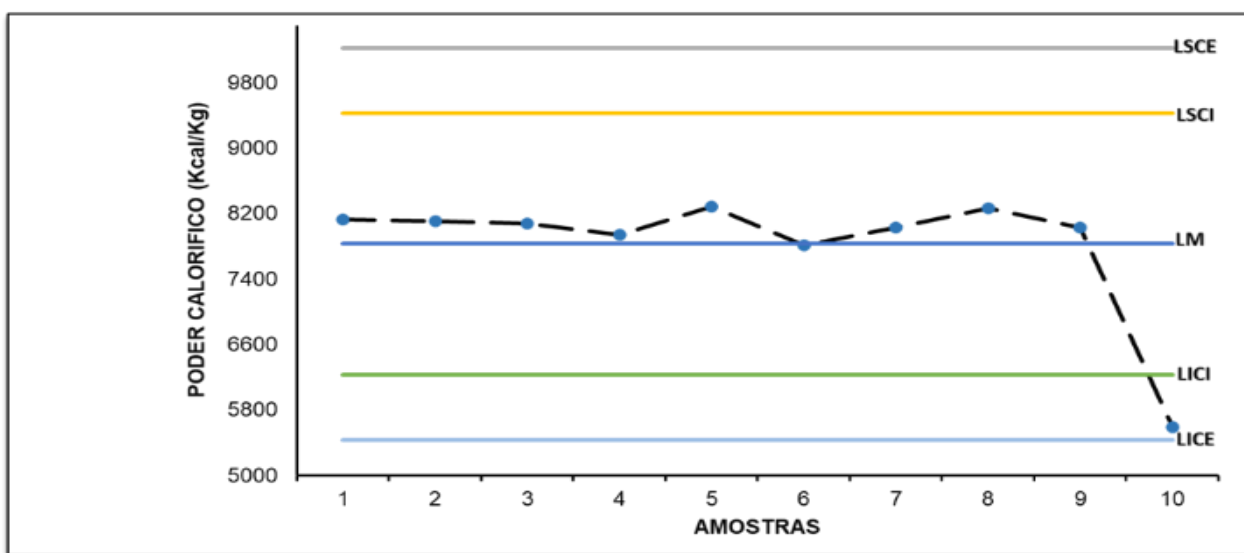


Figura 16: Amostra A do teor do poder calorífico.

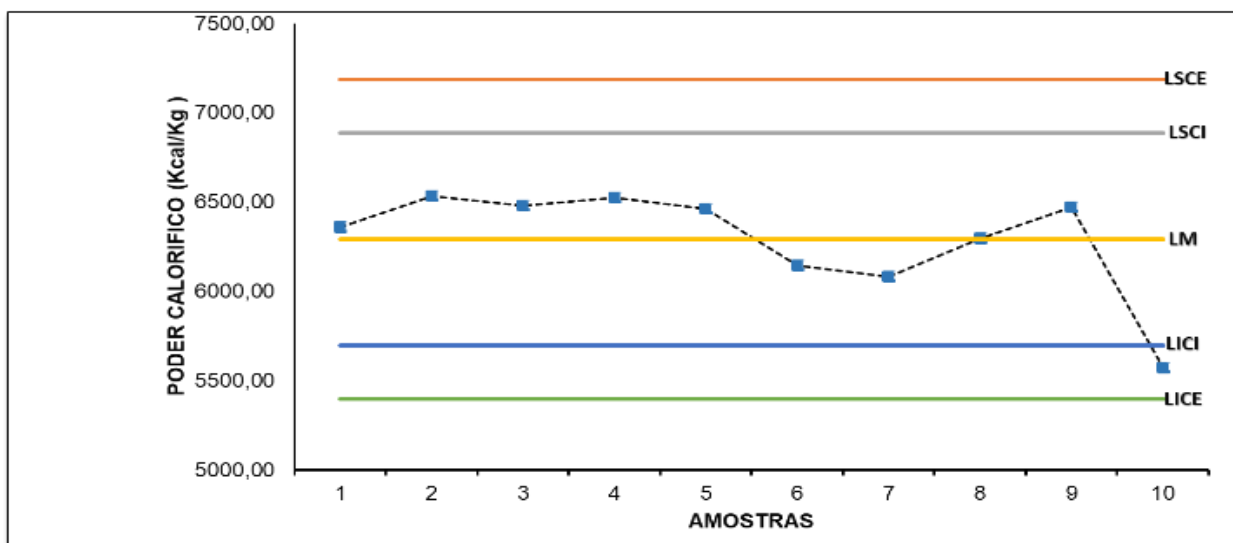


Figura 17: Amostra B do teor do poder calorífico.

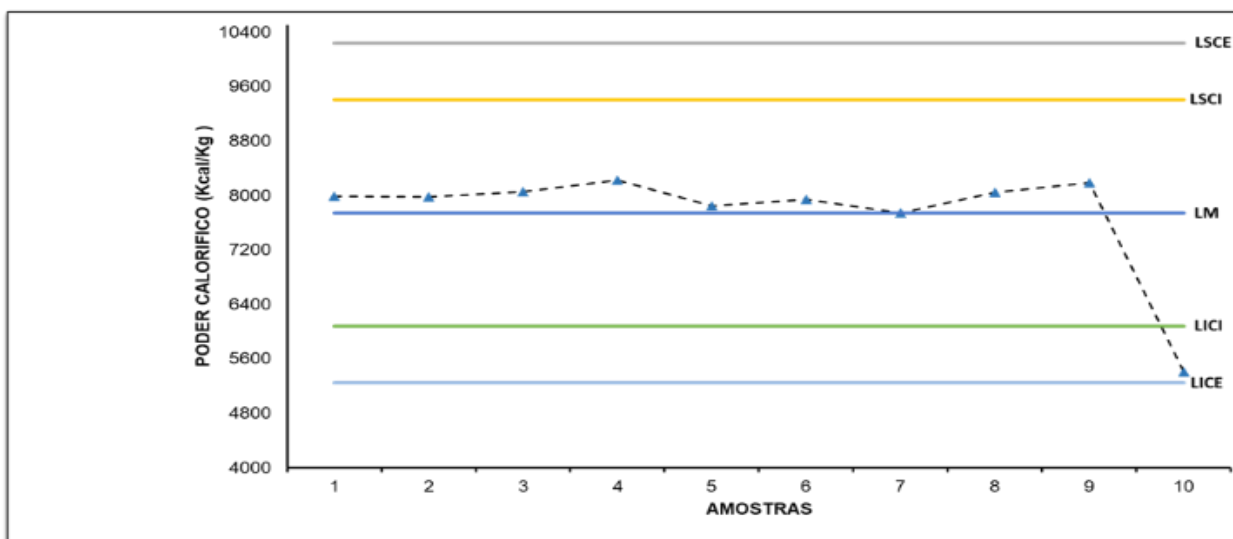


Figura 18: Amostra C do teor de poder calorífico.

7. CONCLUSÃO

As amostras de carvão vegetal disponíveis em análises apresentaram boa qualidade física, a umidade ficou dentro do padrão desejado, porém, com relação as propriedades químicas, nem todos os parâmetros analisados atendem o Selo Premium de São Paulo.

Neste caso, o teor de carbono fixo e teor de cinzas não atingiram um percentual favorável para os teores de qualidade exigidos, mas, com valores bem próximos aos estabelecidos.

Com esses resultados, podemos concluir que a comercialização do carvão vegetal em Cuiabá – MT, mesmo que sua qualidade não cumpriu todos os requisitos exigidos pelo Selo Premium, pode ser considerado aceitável para o consumo doméstico.

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRACAVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CARVÃO VEGETAL. **Anuário estatístico**. Belo Horizonte, 1989. 12p.

ALMEIDA, J.M. **Efeito da temperatura sobre rendimento e propriedade dos produtos da carbonização de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden**. Viçosa, 1983. 34p. (Tese-Mestrado-UFV).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8633**, Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8112**, Rio de Janeiro, 1986.

BARBOSA, J.A. **Avaliação qualitativa e quantitativa do carvão e dos condensados produzidos na carbonização da madeira de algaroba**. Viçosa, 1986. 52p. (Tese Mestrado-UFV).

BRAHAN, W. K. (2002), Combustibilidad de La mader: la experiência com espécies colombianas. Bogotá: **Fondo de Publicaciones**, 50p.

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.; FILHO, M. T.; SALGADO, A. L. B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **IPEF**, n.36, p.13-17, ago. 1987.

CALAIS, D. 2009. **Florestas Energéticas no Brasil**: demanda e disponibilidade. Belo Horizonte: Associação Mineira de Silvicultura. 2009. 23p. Disponível em: < http://silviminas.com.br/wpcontent/uploads/2012/12/publicacao_585.pdf>. Acesso em: 24 agosto 2017.

COELHO JUNIOR, L. M.; REZENDE, J. L. P. de; CALEGARIO, N.; SILVA, M. L. da. **Análise longitudinal dos preços do carvão vegetal, no Estado de Minas Gerais**. Revista Árvore, Viçosa, V. 30, n. 3, p. 429-438, maio/jun. 2006.

COSTA, A. C. S. **Qualidade do carvão vegetal para cocção de alimentos comercializado em Cuiabá – MT**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT. Orientador: Prof. Dr. Aylson Costa Oliveira.

COSTA, T.G.C.; BIANCHI, M.L.; PROTÁSIO, T.P.; TRUGILHO, P.F.; PEREIRA, A.J. **Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal**. Cerne, v. 20 (1): 37-45, 2014.

COUTINHO, A. R.; FERRAZ, E. S. B., Determinação da friabilidade do carvão vegetal em função do diâmetro das árvores e temperatura de carbonização. **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais**, Piracicaba, 38, 33-37.1988.

CULTURA MIX – **Recursos Naturais - Carvão Vegetal e Mineral**. Ano 2013. Disponível em: <http://meioambiente.culturamix.com/recursos-naturais/carvao-vegetal-e-mineral> - acesso em: 3 novembro 2017.

DIAS, E. C., ASSUNCAO, A. Á, GUERRA, C. B. **Processo de trabalho e saúde dos trabalhadores na produção artesanal de carvão vegetal em Minas Gerais, Brasil**. *Cad. Saúde Pública* [online]. 1,269-277.2002.

DOAT, J.; PETROFF, G. **La carbonization des bois tropicaux**. Revue et Forets des Tropiques, Nogent-sur-Harne, 159,55-72. 1975.

FERREIRA, L.M.A.C. **Desenvolvimento de uma retorta para carbonização de madeira**. Viçosa, 1988. 48p. (Tese-Mestrado-UFV).

FREDERICO, P. G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. **Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal**. In: PENEDO, W. R. Produção e utilização do carvão vegetal. Belo Horizonte, p. 76-89.1982.

MME - Ministério de Minas e Energias, 2015. **Balanço Energético Nacional – BEN 2015**, ano base 2013. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 25 agosto 2017.

OLIVEIRA, J.B.; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M.G.; GOMES, P.A. Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W. R. **Produção e Utilização de Carvão Vegetal**. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.59-73, 1982.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F.; GODINHO, T. P. Potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. aos 42 meses de idade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, 74,137-149, 2013.

QUINTIERE M. **Impactos Ambientais – CARVÃO**. Ano Base 2015. Disponível em: <https://blogdoquintiere.wordpress.com/tag/carvao-mineral-carvao-vegetal-impactos-ambientais-detahes-producao-marcelo-quintiere/>. Acesso em: 20 outubro 2017.

RAMOS FILHO, J. A.; ATAMANCZUK, M. J.; MARÇAL, R. F. M. **Seleção de técnicas de manutenção para processo de armazenagem através do Método de Análise Hierárquica**. Revista Produção Online, v. 10, p. 142-166, 2010.

RIBEIRO, P. G.; VALE, A. T. (2006), **Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico**. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Florianópolis, 2006. Anais. Belém: Universidade Federal do Paraná.

ROSA, R. A.; CHAVES ARANTES, M. D.; PAES, J. B.; ANDRADE, W. S. D. P.; MOULIN, J. C. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 2, p. 41-48. 2012.

ROSA, R. A. **Qualidade do carvão vegetal para uso doméstico, comercializado em três municípios do estado do Espírito Santo**. 2010. 55f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Espírito Santo.

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_1031a0ff69a85454e1cde89c327ac490f5.pdf. Acesso em: 10 outubro 2017.

TRUGILHO, P. F. **Influência do tempo de funcionamento da câmara de combustão no rendimento da carbonização, em forno de alvenaria**. Viçosa, 1988. 58p. (Tese-Mestrado-UFV).