

CAMILA MALHERBI BORTOLUZZI



**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS E
ARMAGENAGEM DE BRIQUETES DE ERVA-MATE
(*Ilex paraguariensis*)**

**MESTRADO EM
BIOENERGIA**

**GUARAPUAVA/PR
2016**

CAMILA MALHERBI BORTOLUZZI

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS E ARMAGENAGEM DE
BRIQUETES DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, área de concentração em Biocombustíveis, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick

Orientador

GUARAPUAVA/PR

2016

AGRADECIMENTOS

Á Deus pelo Dom da Vida e por todas as graças alcançadas.

Aos meus pais Maria Aparecida e Valdir pelo carinho e apoio.

Á minha irmã Adrielle pelo companheirismo e incentivo.

Á meu orientador Professor Dr. Luciano Farinha Watzlawick pela paciência, ensinamentos, compreensão e amizade.

Á banca examinadora deste trabalho.

Aos Professores (as) do Programa de Mestrado em Bioenergia da UNICENTRO e das Universidades nucleadoras.

Á Universidade Estadual do Centro Oeste *campus* Cedeteg pela disponibilização do laboratório de Ciências Florestais e Forrageiras para as análises.

Á Indústria Mate Laranjeiras/Laranjeiras do Sul, pelo incentivo e disponibilização dos resíduos.

Á Indústria Easy Fire pela produção dos briquetes.

Enfim, meu muito obrigada.

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade”.
(Albert Einstein)

RESUMO

O crescente aumento do setor agroindustrial contribui para geração de resíduos de biomassa, na maioria dos casos esses não possuem destinação adequada trazendo danos ao meio ambiente. Os briquetes são uma opção viável, formados pela compactação da biomassa, a qual ocorre em uma briquetadeira. O presente trabalho traz uma nova opção de resíduo para produção de energia limpa, a erva-mate. Para realização deste estudo, foram coletadas durante os meses de fevereiro e março de 2013, na Indústria Mate Laranjeiras - Laranjeiras do Sul, amostras de resíduos de folhas cancheadas e palitos de erva-mate, os quais são separados durante o processo industrial. Estes resíduos seguiram para secagem em estufa e posteriores análises de umidade, onde os resíduos de palitos apresentaram umidade média de 5%, a qual é similar a de resíduos madeireiros que passaram pela torrefação. Porém a umidade das folhas cancheadas encontra-se fora dos padrões para briquetagem. Na sequência foram produzidos três exemplares de briquetes (Exemplar 1: briquetes de resíduos de palitos; Exemplar 2: briquetes de resíduos de folhas cancheadas; Exemplar 3: briquete de folhas cancheadas e serragem). A densidade média apresentada pelos 3 (três) Exemplares está de acordo com valores estabelecidos para uma eficiente densidade, tal característica esta diretamente ligada a briquetadeira onde ocorreu a compactação. As realizações de testes de combustão permite verificar a eficiência do briquete no uso doméstico e comercial. Briquetes de resíduos de palitos apresentam poder de queima similar ao do carvão vegetal. No entanto os Exemplares 2 e 3 não obtiveram uma combustão eficiente. Com relação à armazenagem, o Exemplar 1 apresentou boa resistência, sendo viável sua comercialização. Resultados apresentados neste estudo fornecerão dados da eficiência de resíduos de palitos de erva-mate para produção de briquetes, bem como contribuirá em futuras pesquisas de aproveitamento energético de resíduos, reduzindo os impactos ambientais.

Palavra-chave: Resíduo, Biomassa, Bioenergia.

ABSTRACT

The growing agribusiness sector contributes to the generation of biomass residues, in most cases these do not have proper disposal bringing harm to the environment. The briquettes are a viable option, formed by compression of the biomass, which occurs in a briquette machine. This paper presents a new option for waste clean energy production, yerba mate. For this study were collected during the months of February and March 2013, in Industry Mate Orange - South Orange, leaf samples of grinded mate and sticks which are separated during the manufacturing process. These residues followed for kiln drying and subsequent analysis of moisture, where they showed average humidity of 5 %, which is similar to the waste timber that passed through roasting. But the moisture grinded leaves are nonstandard for briquetting. Following three copies were produced briquettes (copy 1 briquettes waste toothpicks; Copy 2 briquettes of waste grinded sheets; Copy 3 briquette grinded leaves and sawdust). The average density presented by this 3 three copies according to established values, this feature is directly linked to briquettes where compaction occurred. The achievements of combustion tests allows to check the efficiency of the briquette in household. Briquettes from waste burning sticks have power similar to charcoal. However the copies 2 and 3 are obtained efficient combustion. With respect to the storage Exemplar 1 showed good resistance, so it can be marketed. Results presented in this study provide data efficiency of waste sticks mate to produce briquettes as well as contribute to future research of energetic utilization of waste, reducing environmental impacts.

Key words: Residue, Biomass, Bioenergy.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos briquetes de acordo com o resíduo.....	12
Tabela 2 - Umidade dos resíduos de palitos de erva-mate.....	16
Tabela 3 - Umidade dos resíduos de folhas cancheadas.....	17
Tabela 4 - Densidade dos briquetes de palitos.....	21
Tabela 5 - Densidade dos briquetes de folhas cancheadas.....	22
Tabela 6- Densidade dos briquetes de folhas cancheadas e serragem.....	22
Tabela 7- Média apresentada pelas amostras quanto ao teor de cinzas.....	23
Tabela 8 - Média apresentada pelas amostras quanto ao teor de cinzas.....	23
Tabela 9 - Tempo de queima de cada exemplar de briquete e carvão vegetal.....	24
Tabela 10 - Característica de cada exemplar de briquete por semana.....	27
Tabela 11 - Valores teor de cinzas das amostras.....	28
Tabela 12 - Quadro de análises teor de cinzas.....	28
Tabela 13 - Médias de tratamentos teor de cinzas.....	28
Tabela 14 - Valores poder calorífico das amostras.....	29
Tabela 15 - Valores médios de tratamento poder calorífico das amostras.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: BR 277- Indústria Mate Laranjeiras Ltda - Laranjeiras do Sul/PR.....	10
Figura 2: Erva-mate folhas canchedas.....	11
Figura 3: Palitos, separados das folhas.	11
Figura 4: Briquetadeita-rosca sem fim.....	13
Figura 5: Esquema combustor para ignição dos briquetes com dimensões em centímetros (cm).	14
Figura 6: Exemplar 1- Briquetes de resíduos de palitos de erva-mate.....	18
Figura 7: Exemplar 2- Folhas cancheadas.....	19
Figura 8: Exemplar 3- Briquete de folhas cancheadas e serragem.....	20
Figura 9: Tempo de queima de cada exemplar.	25

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

FV = Fonte de variação

GL = Graus de liberdade

SQ = Soma de quadrado

QM = Quadrado médio

F = Estatística do teste F

MG = Média geral

CV% = Coeficiente de variação em %

dms = Diferença mínima significativa

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. DESENVOLVIMENTO	3
2.1. REVISÃO TEÓRICA.....	3
2.2. METODOLOGIA.....	10
2.2.1. Local de coleta	10
2.2.2. Metodologia de observações.....	10
2.2.3. Preparação das amostras	12
2.2.4. Briquetagem	12
2.2.5. Análise físico-química.....	13
2.2.6. Análise de combustão, armazenagem e estatística	14
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
2.3.1. Umidade dos resíduos.....	16
2.3.2. Briquetes	18
2.3.3. Densidade briquetes.....	21
2.3.4. Análise de cinzas	23
2.3.5. Análise de Poder Calorífico	23
2.3.6. Tempo de queima	24
2.3.7. Tempo de armazenagem	26
2.3.8. Estatísticas	28
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
ANEXOS	33

1. INTRODUÇÃO

A utilização de energia proveniente de combustíveis fósseis é umas das grandes ameaças ao meio ambiente. Os gases liberados no processo de combustão desses combustíveis são grandes causadoras de poluição ambiental (VASCONCELLOS *et al.*, 2004).

Outra causa de degradação ao meio ambiente é o aumento do setor industrial, o qual contribui para geração e acúmulo de resíduos, os quais não possuem destinação correta. O grande volume desses está relacionado principalmente com indústrias do setor agroindustrial.

De acordo com Goldemberg e Lucon (2006), as agroindústrias utilizam a matéria-prima resultante da agropecuária, transformando esses produtos e os comercializando. Por não apresentarem uma destinação e reaproveitamento correto, os resíduos acumulados pelas agroindústrias acabam acarretando problemas ambientais.

Algumas alternativas são estudadas para o reaproveitamento dos resíduos. Uma opção de reutilização de produtos acumulados e sem finalidade nas empresas é a briquetagem, a qual utiliza a matéria orgânica vegetal para geração de energia limpa. De forma que a biomassa é compactada melhorando suas características energéticas.

Os briquetes substituem a lenha de forma vantajosa, uma vez que ocupam um menor espaço de armazenagem, apresentam um eficiente poder de queima e fácil manuseio. Sendo ecologicamente viáveis, reduzem a emissão de grandes quantidades de gás carbônico durante a queima (FARAGE *et al.*, 2013).

A produção de resíduos de erva-mate tem início nos ervais, quando a plantação é atacada por fungos, devido a condições favoráveis de umidade e temperatura, causando comprometimento total da planta. Nas indústrias ervateiras, após a colheita da erva-mate as folhas devem ser espalhadas para evitar oxidação, a qual danifica toda a produção.

Segundo Esmelindro *et al.* (2001), nas indústrias ervateiras o principal produto destinado a comercialização é a erva-mate para o preparo do chimarrão. Neste caso a matéria-prima utilizada são as folhas cancheadas, as quais são separadas dos palitos durante o processamento industrial, esses palitos são adicionados aos produtos produzidos pela indústria. No entanto, as folhas de erva-mate quando sofrem

a ação de fungos ou são danificadas antes do processamento industrial são acumuladas na indústria.

A realização de estudos com novos resíduos para produção de bioenergia é de extrema importância. Diversificando a quantidade de matéria orgânica para produção de energia, ocorre uma diminuição dos resíduos bem como otimização do processo de geração de energia renovável (DE PAULA *et al.*, 2011).

Os resíduos das indústrias de erva-mate quando compactados ampliam a capacidade energética da biomassa, sendo possível reutilizá-los tanto na própria indústria no processo de torrefação da erva-mate, quanto em outras atividades que utilizam os briquetes como fonte de energia. A utilização de fontes renováveis de energia reduz os impactos ambientais.

Tendo em vista tais fatos este trabalho tem como objetivo, produzir briquetes a partir de resíduos de erva-mate, folhas cancheadas e palitos, e analisar suas características como: umidade dos resíduos, densidade dos briquetes, poder de queima e armazenagem.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. REVISÃO TEÓRICA

A erva-mate (*Ilex paraguariensis*), pertence à família *Aquifoliaceae*, classificada pelo cientista Auguste François Cesar Prouvençal de Saint-Hilaire em 1822. É cultivada apenas na América do Sul, sendo o seu plantio realizado o ano todo (SCORTEGAGNA, REZENDE e TRICHES, 2005).

A erva-mate é nativa da Argentina, Brasil e Paraguai. E possui uma grande importância na economia brasileira principalmente nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul, devido a sua produção envolver desde pequenos agricultores até grandes indústrias ervateiras (CONTINI, 2006).

De acordo com Contini (2006), antes da chegada dos portugueses ao Brasil, os índios já conheciam o mate antes chamado “congonha”. A exploração dos ervais iniciou no momento em que os colonizadores tomaram conhecimento do uso da erva-mate, sendo criadas estratégias que envolviam desde a produção até a comercialização. No Paraná as atividades envolvendo a erva-mate tiveram início nos engenhos a partir do século XIX, deslançando as atividades industriais e econômicas do estado.

Segundo Berger (2006), estudos relacionados à erva-mate se difundiram com os jesuítas, os quais perceberam que as sementes não germinavam naturalmente. Então começaram a ser desenvolvidas estratégias de plantio e colheita, bem como a publicação de trabalhos envolvendo a cultura da erva-mate.

A exploração da erva-mate é regulamentada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), Portaria Normativa Nº 11-8-N de 12 de Novembro de 1992:

A exploração da erva-mate deve obedecer à adoção de técnicas de condução e manejo, destinadas a maximizar a produção da massa foliar e a minimizar a ocorrência de prováveis danos aos ervais, visando compatibilizar o rendimento sustentado com a preservação da espécie (Art. 2º).

Nas indústrias ervateiras, a erva-mate passa por três processos: “sapeco, secagem e cancheamento”. O sapeco utiliza fogo de forma direta retirando boa parte da umidade presente nas folhas. Para o sapeco utiliza-se madeira de eucalipto, para evitar que a erva-mate adquira sabor. Na secagem, processo mais longo, a erva-mate passa por uma esteira onde as folhas são separadas dos palitos. As folhas seguem para o cancheamento onde são trituradas, e os palitos são adicionados à erva-mate para o consumo de chimarrão, tererê e chás. Em algumas indústrias, os palitos são

utilizados no sapeco, reduzindo a quantidade de eucalipto utilizado pela empresa durante esta etapa (ESMELINDRO *et al.*, 2001).

Desde sua disseminação, a erva-mate tem influenciado fortemente a economia. De acordo com o Sindicato da Indústria do Mate no Estado do Rio Grande do Sul (SINDIMATE/RS, 2010), no ano de 2010 foram produzidas 425.641 toneladas de erva-mate, arrecadando aproximadamente R\$ 159.838.000.

Em 1990, apenas os três estados da região Sul produziam erva-mate. A partir de 2000, o estado do Mato Grosso do Sul passou a desenvolver estratégias de plantio, aumentando ainda mais a quantidade de erva-mate produzida no Brasil (ESMELINDRO *et al.*, 2001).

Em condições de alta umidade do solo nos ervais, as plantações são atacadas por fungos. Em 2001 foi descrita a fitopatologia que causa o apodrecimento das raízes da erva-mate, a qual é causada por fungos do gênero *Fusarium sp.* Essa doença tem como característica a mudança na coloração das folhas, deixando-as amareladas, causando senescência e morte da planta. Esta fitopatologia se dá pelo excesso de umidade e temperatura favorável ao aparecimento de fungos (POLETTTO *et al.*, 2006).

Além dos fungos do gênero *Fusarium sp.*, no estado do Rio Grande do Sul dois outros gêneros de fungos foram descritos em 2006, *Pythium sp.* e *Rhizoctonia sp.* Sendo que esses fungos também contribuem para o apodrecimento das raízes da erva-mate que leva ao comprometimento total da planta (POLETTTO *et al.*, 2007).

Segundo Goldemberg e Lucon (2006), o crescimento industrial e o aumento populacional contribuem para a produção e aumento de resíduos. A destinação incorreta dos mesmos, principalmente por parte das indústrias, acarretam graves problemas de poluição ambiental.

Os resíduos descartados irregularmente dificultam o processo de reaproveitamento, além do acúmulo desses causarem impactos ao meio ambiente. A inadequação no armazenamento dos resíduos agrava o desperdício de energia e matéria-prima (FARAGE *et al.*, 2013).

Indústrias madeireiras são grandes precursoras de problemas ambientais, devido à forma errônea de descarte de seus resíduos. Um dos grandes problemas dessas indústrias é o descarte de maneira errada e em grandes quantidades de serragem, a qual, segundo estudos, possui utilidade energética (GOLDEMBERG e LUCON, 2006).

Algumas estratégias são desenvolvidas para a utilização dos resíduos de biomassa, dentre elas a briquetagem. A utilização da biomassa na forma de briquetes contribui para a preservação ambiental e aumento da capacidade energética da matéria orgânica (DE PAULA, 2006).

Além de o briquete ser uma opção de utilização dos resíduos, reduzindo os impactos ambientais, no momento de sua formação ocorre à compactação das partículas da biomassa, tal característica está diretamente ligada à eficiência do mesmo durante a combustão (DE PAULA *et al.*, 2011).

A briquetagem consiste na aproximação das partículas sob pressão. Para este processo se deve fazer uso de aglutinantes que favorecem a união da biomassa. Um aglutinante natural é a lignina encontrada em resíduos madeireiros. Materiais que possuem aglutinantes naturais acabam sendo mais viáveis no processo de briquetagem, pois não é necessário adquirir outro ligante, o qual acaba elevando o custo dos briquetes (QUIRINO, 2000).

O processo de briquetagem o qual consiste na compactação dos resíduos, contribui com as características energéticas dos briquetes. A briquetagem se mostra uma opção eficaz no que diz respeito à utilização de energia contida na biomassa vegetal (PROTÁSIO *et al.*, 2011; QUIRINO e BRITO, 1991).

A briquetagem aumenta a capacidade energética, promovendo a compactação das partículas. Com relação às vantagens ambientais, reduz a liberação de gases durante a combustão e se torna uma opção de destinação dos resíduos (SANTOS *et al.*, 2011).

Com a finalidade de diminuir os impactos ambientais, utiliza-se cada vez mais os recursos renováveis. Dentre esse,s os resíduos vegetais vem se destacando, pois os mesmos se tornam uma alternativa para as indústrias substituindo os combustíveis fósseis (ROCHA, SOUZA e DAMASCENO, 2009).

Além disso, a utilização de energia renovável pelas indústrias contribui para geração de créditos de carbono, os quais são concedidos quando ocorre diminuição na emissão de gases causadores do efeito estufa (ROCHA, SOUZA e DAMASCENO, 2009).

De acordo com Rossillo-Callé (2004), em indústrias madeireiras a utilização dos resíduos para geração de energia contribui tanto para as questões ambientais quanto econômicas. De maneira que as indústrias podem estar comercializando esses resíduos para outras empresas como utilizando para seu próprio benefício.

Também se encontram na forma de energia compactada os peletes, os quais vêm sendo muito utilizados no Brasil. Sua produção com pouca umidade e forma regular permite sua utilização em vários locais. Muito comercializados para o uso em lareiras no aquecimento de residências, seu uso também se estende em usinas. Sendo uma forte tendência como fonte de energia (CORTEZ, LORA e GÓMEZ, 2008).

Outra opção de fonte de energia renovável é o biogás, de suma importância econômica, social e ambiental. O biogás propicia a redução do êxodo rural e investe na agricultura familiar. Ambientalmente ocorre uma diminuição de dejetos animais e resíduos florestais, a utilização desta forma de energia renovável cria uma nova forma de matriz energética com grande eficiência (ZANELLA, 2012).

Sendo a energia proveniente da biomassa uma forma muito antiga de se obter energia renovável, certa carência de estudos envolvendo esta prática acaba dificultando a utilização desses produtos, a escassez de informações gera dúvidas da eficiência e procedência dos produtos utilizados para geração de energia (CAPOTE, 2012).

No início da utilização de energias renováveis a biomassa era considerada pouco eficiente com relação os combustíveis fósseis. Hoje em dia com o crescente aumento tecnológico, a concepção com relação a sua capacidade energética está mudando. Porém ainda se faz necessário várias pesquisas apontando a eficiência da energia renovável (ZANELLA, 2012).

A redução na utilização do petróleo, o qual causa grandes problemas na liberação de gases, está levando os países a elaborarem meios para a utilização de energias renováveis. Dentre elas se destaca a utilização da biomassa, como meio viável na geração de combustíveis. Mas estes produtos ainda encontram dificuldades de inserção no mercado devido ao alto custo de suas tecnológicas, bem como a pouca quantidade de estudos nesta área (CORTEZ, LORA e GÓMEZ, 2008).

A utilização da bioenergia na forma de biomassa encontrou muitas dificuldades, não em relação a quantidade e disponibilidade de materiais, mas sim com relação aos altos custos de obtenção dessa forma de energia, e poucos estudos demonstrando sua eficiência (ROSILLO-CALLÉ, 2004).

Para a compactação dos briquetes se faz uso de briquetadeiras, as quais são: briquetadeira hidráulica, briquetadeira de extrusão por rosca sem fim e briquetadeira extrusora por pistão mecânico, sendo que a briquetadeira influencia diretamente a

densidade dos briquetes, conferindo a eles um eficiente poder de queima (CAPOTE, 2012).

A briquetadeira de extrusão por rosca sem fim produz briquetes com um orifício ao centro. Esta característica concede aos briquetes uma elevada densidade, bem como resistência mecânica, de modo que as partículas se apresentam unidas obtendo um eficiente poder de queima (QUIRINO, 2000).

Na caracterização da briquetagem são observados alguns parâmetros como: umidade, densidade e poder calorífico. Para retirada da umidade é utilizado uma estufa que irá fazer a secagem do produto. A umidade além de interferir no poder calorífico consiste na quantidade de água presente na biomassa, à verificação da umidade é realizada pela diferença do peso úmido pelo peso seco (BRAND, 2010).

Ainda segundo Brand (2010), outro parâmetro utilizado na verificação da eficiência energética do briquete é o poder calorífico que consiste no calor liberado durante a queima. Para cada tipo de biomassa o poder calorífico se diferencia, ainda alguns fatores interferem no poder calorífico como a própria umidade, a formação química do produto e o teor de cinzas.

O poder calorífico se apresenta de duas maneiras como PCS (Poder calorífico superior) o qual corresponde à energia interna, neste caso a água tanto presente no material tanto a proveniente da combustão estão condensadas. E o PCI (Poder calorífico inferior) também representa a quantidade de energia interna, mas neste caso a água está vaporizada (CAPOTE, 2012).

A densidade do briquete tem relação com o tipo de briquetadeira e biomassa utilizada, a densidade mostra o total de massa contida no briquete, sendo que a densidade tem forte ligação com a propriedade energética do mesmo. Briquetes bem compactados apresentam densidade eficiente e conseqüentemente um alto poder de queima (BRAND, 2010).

Segundo Quirino (2000), na produção do briquete pode-se utilizar todo tipo de resíduos de origem orgânica sendo que o mesmo deve possuir uma granulometria e um teor de umidade que colabore na compactação. No entanto a quantidade de umidade deve ser adequada, pois seu excesso interfere tanto no processo de compactação quanto de combustão.

De acordo com Quirino (2000), outra característica que influencia a eficiência de compactação do briquete é a sua granulometria, onde partículas menores

necessitam de uma área superficial maior, sendo assim a resistência mecânica é menor.

A cinza é composta quimicamente por sais minerais, a quantidade produzida esta diretamente relacionada com o produto utilizado para formação da biomassa. A quantidade de cinzas no processo de combustão da biomassa é baixa se comparada com o volume produzido pelo carvão mineral (VASCONCELLOS *et al.*, 2004).

Vasconcellos *et al.*, (2004), ainda destaca que as cinzas produzidas no processo de combustão são classificadas como volante ou leve, essas partículas são de fácil disseminação, já as cinzas mais densas são um problema para o meio ambiente, desta forma elas não são lançadas se acumulando no local onde ocorreu a queima esta cinza é denominada residual ou pesada.

De acordo com Quirino (2000), uma forma de verificar a eficiência do briquete, é testar seu poder de queima. Este teste é um item fundamental para constatar sua eficiência na utilização doméstica e industrial. Desta forma favorecendo a comercialização dos briquetes.

Segundo Capote (2012), o processo de combustão ocorre em três etapas respectivamente, na primeira ocorre evaporação da umidade, a segunda consiste na pirólise do material e queima de compostos voláteis na terceira etapa ocorre à queima do carbono fixo.

Para o crescente aumento da utilização dos biocombustíveis, se faz necessárias análises que destaquem a eficiência dos mesmos. A partir destes testes a adoção dos mesmos pela população será facilitada (BRAND, 2004).

Em relação à biomassa da madeira que engloba troncos, folhas, ramos, cascas e raízes sua utilização no Brasil é de um pouco menos de 14 % de toda a matriz energética, sendo que umas das principais fontes de biomassa florestal são os resíduos industriais. A biomassa sustentável ocorre pela utilização dos resíduos de origem industrial, florestal e urbano. E das florestas energéticas as quais são plantadas com a finalidade de produzir biomassa para produção de energia (LORA e SALOMON, 2004).

Para Lora e Salomon (2004), a biomassa apresenta diversas vantagens quando utilizada na geração de energia como diminuição do efeito estufa, reduzindo a quantidade de gás carbônico emitido na atmosfera. Também é importante para o suprimento energético mundial sendo assim interessante tanto na economia quanto para o meio ambiente e sociedade. Para um aumento neste setor se destaca a

importância de estudos que demonstram novas tecnologias e utilizem diferentes resíduos os quais serão importantes para o futuro.

2.2. METODOLOGIA

2.2.1. Local de coleta

Para a realização deste trabalho foram coletadas amostras de erva-mate, folhas cancheadas e palitos, na Indústria Mate Laranjeiras - Laranjeiras do Sul/PR (Figura 1). As coletas ocorreram durante os meses de fevereiro e março de 2013. As amostras foram obtidas após passagem pelo secador, onde as folhas cancheadas são separadas dos palitos. Ambos os produtos passaram por um resfriamento, e então armazenados em sacos plásticos.



Figura 1: BR 277- Indústria Mate Laranjeiras Ltda - Laranjeiras do Sul/PR.

Fonte: Google Earth, 2013.

2.2.2. Metodologia de observações

Segundo dados da empresa nos ervais o replantio é feito logo após a poda a qual ocorre a cada seis meses. A colheita é preferencialmente realizada com tesoura, sendo o sentido do corte de baixo para cima, favorecendo a formação de brotos. A erva-mate é colocada em grandes sacos denominados *bags* que são pesados por arroba e enviados às indústrias ervateiras. Na indústria a erva-mate deve ser espalhada, evitando o aquecimento das folhas, que acaba prejudicando o processo de produção.

A erva-mate *in natura* é transportada por uma esteira, e levada para o sapeco, onde é conduzida para um forno a uma temperatura aproximada de $\pm 300^{\circ}\text{C}$, durante 60 minutos. Na sequência, as folhas já sapecadas são conduzidas por outra esteira até um secador que funciona à aproximadamente 150°C . Deste processo são originados

dois produtos, os palitos e as folhas canheadas, utilizadas para o preparo do chimarrão o qual se utiliza apenas as folhas de erva-mate (Figura 2).

Estas folhas seguem para o resfriamento para não haver amarelamento e então são trituradas. Os palitos (Figura 3) passam por um processo de moagem e peneiração, sendo adicionadas as folhas canheada já trituradas e a outros compostos como: chá e erva para tererê.



Figura 2: Erva-mate folhas canheadas.

Fonte: Autora (2013).



Figura 3: Palitos, separados das folhas.

Fonte: Autora (2013).

2.2.3. Preparação das amostras

Realizada a coleta das amostras de palitos e folhas canheadas, essas foram encaminhadas ao laboratório de Ciências Florestais e Forrageiras da UNICENTRO *campus* Cedeteg, para verificação da umidade inicial dos resíduos das folhas canheadas e palitos. As amostras foram colocadas em sacos de papel, pesando 1000 g (gramas). As mesmas seguiram para estufa à $\pm 70^{\circ}\text{C}$ por aproximadamente 72 horas. Na sequência as amostras foram pesadas para verificação da variação da umidade, utilizando a Equação 1 (CAPOTE, 2012).

$$TU (\%) = \frac{Pu - Ps}{Pu} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

TU (%) = teor de umidade;

Pu = peso inicial da mostra, em gramas;

Ps = peso final da amostra, em gramas, após secagem em estufa.

2.2.4. Briquetagem

Seguido do processo de verificação de umidade inicial, foram produzidos três Exemplares de briquetes, classificados conforme a (Tabela 1).

Tabela 7: Classificação dos briquetes de acordo com o resíduo.

Exemplares	Resíduo (%)
Briquete 1	Palitos (100%)
Briquete 2	Folhas canheadas (100%)
Briquete 3	Folhas canheadas (50 %) Serragem (50%)

Para uma melhor compactação os Exemplares passaram por um processo de moagem. Para Exemplares com 100% de resíduos utilizou 7 Kg (quilogramas) do mesmo, e para os Exemplares com 50% utilizou-se 3,5 Kg de cada resíduo.

Para o processo de produção dos briquetes, a matéria-prima foi compactada em uma briquetadeira do tipo “rosca sem fim” (Figura 4), a qual realiza o processo de

maneira contínua e uniforme, sendo os briquetes fabricados com um orifício ao centro. Neste processo os resíduos são prensados á $\pm 400^{\circ}$ C (CAPOTE, 2012).



Figura 4: Briquetadeira-rosca sem fim.

Fonte: Autora (2013).

2.2.5. Análise físico-química

Após a compactação dos briquetes foi verificada a densidade de cada Exemplar utilizando a Equação 2 (CAPOTE, 2012).

$$D = \frac{Mu}{Vu} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

D = Densidade aparente ou massa específica aparente, em kg/m³;

Mu = Massa úmida, em kg;

Vu = Volume úmido, em m³;

2.2.6. Análises de combustão, armazenagem e estatística

Combustão dos briquetes

Para determinação da combustão dos Exemplos em função do tempo utilizou-se a quantidade similar à estabelecida para determinação do poder calorífico de 2 g (gramas) a 5 g (gramas) de resíduos (BRAND, 2010). Adotando para o presente trabalho 3 g (gramas) de cada resíduo.

O combustor para determinar o tempo de queima dos Exemplos (Figura 5), foi produzido similar ao utilizado por Quirino e Brito (1991). No entanto foi adicionado um cordão de nylon com algodão na extremidade para início da combustão.

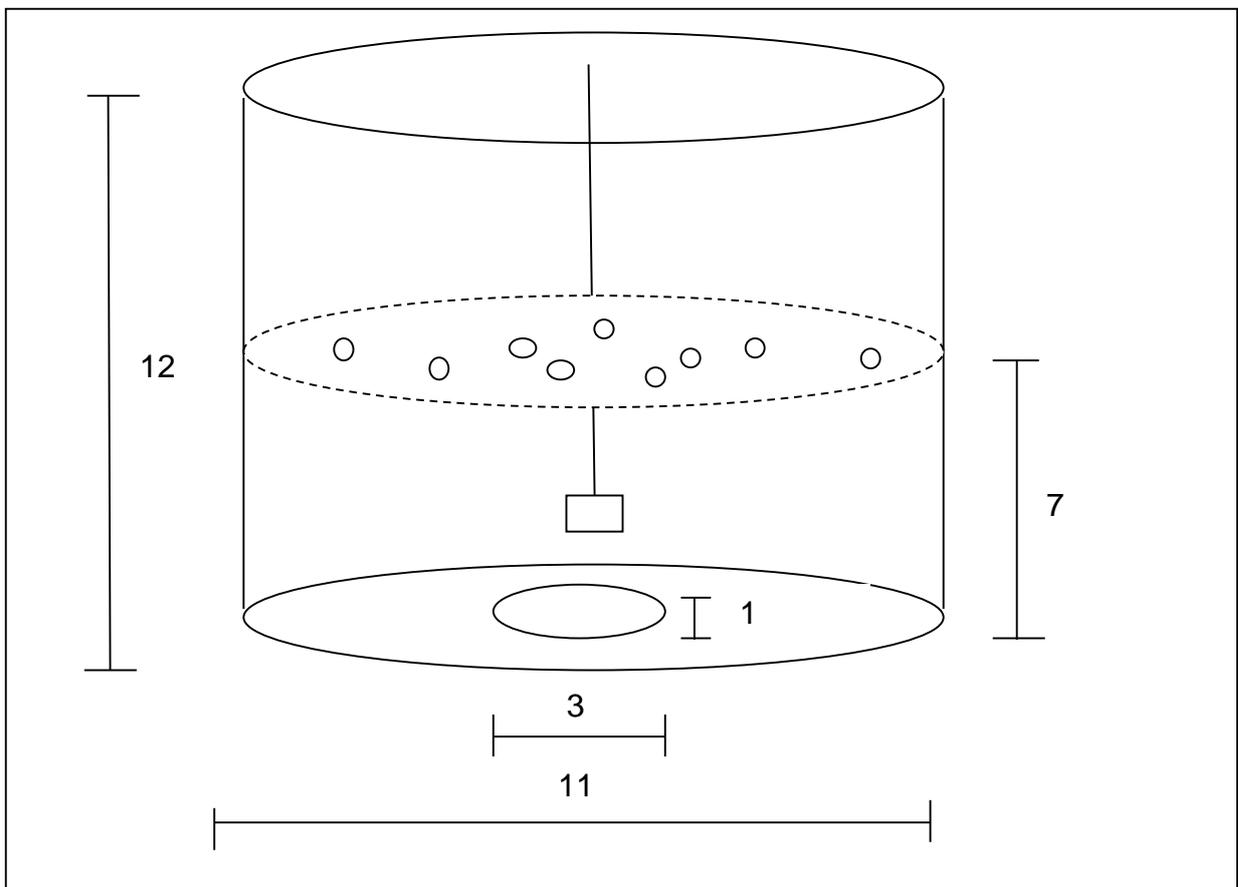


Figura 5: Esquema combustor para ignição dos briquetes com dimensões em centímetros (cm).

Armazenagem

A verificação das características apresentadas pelos Exemplos no decorrer das semanas foi observada quinzenalmente durante 60 dias, nos meses de julho e

agosto de 2013, totalizando 5 semanas. Os exemplares foram mantidos em embalagens de papel fechadas, porém com pequenas aberturas (Santos 2012).

Análises estatísticas

Para as análises estatísticas foi utilizado o *software* Assistat 7.7 beta, sendo realizadas a partir o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em seguida foi realizado o teste de Tukey para comparar as médias dos exemplares e Bartlett para comprovar a homogeneidade das variâncias. Fez-se uso deste teste devido o mesmo ser muito utilizado em análises como esta. As letras representadas no teste a, b e c apontam que não houve diferença significativa quando se apresentam iguais, porém ao se apresentarem distintas indicam diferença significativa entre as amostras (CAPOTE, 2012).

Análises Poder Calorífico e cinzas

Para estas análises as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Energia da Universidade Estadual de Santa Catarina, cujo para os testes utilizou-se 0,5 gramas, precisamente.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.3.1. Umidade dos resíduos

2.3.1.1. Umidade dos resíduos de palitos de erva-mate

A umidade média apresentada pelos resíduos de palitos de erva-mate foi de 5%. Médias estatísticas com relação à umidade mostram que não houve diferença significativa entre as amostras (Tukey $P > 0,05$), ambos os resultados estão dispostos na Tabela 2. Estudos realizados por Nogueira e Lora (2003), na verificação da umidade de resíduos, apresentaram os seguintes resultados: casca e palha de palma umidade de 35%, casca de café 23%, palha e casca de arroz 13%, casca de eucalipto 11% e a casca de cana 8%. Ressaltando que a umidade encontrada neste estudo é similar aos resíduos de casca de cana.

Tabela 8: Umidade dos resíduos de palitos de erva-mate.

Amostra	Umidade (%)
*P1	4 a
P2	5 a
P3	4 a
P4	5 a
Umidade média 5%	

*Legenda: (P) Palitos

Nota: Médias apresentam mesma letra não diferindo significativamente.

Estudos ressaltam que para uma eficiente compactação, os resíduos devem apresentar uma umidade compreendida entre 8% e 10% (BARROS, 2012 e QUIRINO, 2000). Sendo assim, a umidade inicial dos resíduos de palitos apresentou valor similar aos padronizados para uma eficiente compactação.

No entanto, apesar dos resultados do presente trabalho apresentar valores próximos dos considerados em outros estudos, vale ressaltar que os resíduos passaram pela torrefação. Dados apresentados por Santos (2012), com resíduos de cascas de *Eucalyptus grandis*, as quais possuem uma umidade em torno de 11%, ao passarem pela torrefação obtém umidade de 4,89 %.

Segundo Santos (2012), apesar da torrefação reduzir a quantidade de umidade dos resíduos, a mesma pode prejudicar o processo de compactação devido à degradação da lignina, a qual exposta á altas temperaturas perde suas funções

químicas. Para que esta propriedade não seja degradada se recomenda uma torrefação em torno de 250° C por 0,5 h.

Levando em consideração este dado, os resíduos de palitos passam pela torrefação na indústria a uma temperatura \pm 300° C, porém com relação ao tempo o mesmo é em torno de 60 minutos. Não havendo comprometimento da lignina.

2.3.1.2. Umidade dos resíduos de folhas cancheadas

A umidade média apresentada pelos resíduos de folhas cancheadas foi de 2%. As médias estatísticas com relação à umidade das folhas cancheadas apontam que não houve diferença significativa entre as amostras (Tukey $P > 0,05$), ambos dos resultados são apresentados na Tabela 3. Valores considerados para uma boa compactação estão compreendidos entre 8% e 10%. No entanto as folhas cancheadas obtiveram um resultado muito abaixo do considerado para uma compactação satisfatória.

Tabela 9: Umidade dos resíduos de folhas cancheadas.

Amostra	Umidade (%)
*C1	2 a
C2	2 a
C3	3 a
C4	2 a
Umidade média 2%	

*Legenda: (C) Cancheadas.

Nota: Médias apresentam mesma letra não diferindo significativamente.

De acordo com Barros (2012), uma característica própria das folhas é a sua umidade natural a qual acaba dificultando a compactação. Mesmo passando por um processo de secagem, a umidade presente nas folhas de erva-mate permanece, mesmo elas sendo expostas a altas temperaturas. As folhas de erva-mate quando expostas ao ambiente absorvem umidade a retendo no interior de suas células.

As folhas possuem estruturas morfológicas responsáveis pela retenção de água, a cutícula. De acordo com Raven (2001), o desenvolvimento da cutícula espessa permite que as folhas retenham a água em suas células, evitando a transpiração para o meio. Acumulando água no interior de suas células dificulta a perda para o meio.

2.3.2. Briquetes

2.3.2.1. Exemplar 1

A Figura 6 apresenta o Exemplar 1, briquete de resíduos de palitos de erva-mate.



Figura 6: Exemplar 1- Briquetes de resíduos de palitos de erva-mate.
Fonte: Autora (2013).

A compactação dos resíduos de palitos de erva-mate foi satisfatória, devido á estes serem constituídos por lignina, característica de resíduos de madeira. Estudos de Winandy e Rowell (2005 *apud* Figueroa e Moraes, 2009), demonstram que a maior eficiência para a compactação está relacionada aos resíduos de madeira, os quais apresentam em sua composição de 15% a 35% de lignina.

Para uma eficiente compactação os resíduos precisam de um aglutinante que tem por função facilitar a aglomeração das partículas e conferir resistência aos briquetes. De acordo com Rodrigues (2011), a presença de lignina, é importante devido à mesma ser um material ligante, dispensado o uso de outros aglutinantes.

De acordo com Raven (2001), materiais que apresentam lignina em sua estrutura, como os de origem madeireira, possuem uma melhor união entre as partículas da biomassa. Além de contribuir no processo de queima, devido sua composição química, onde são encontrados carbono e hidrogênio.

2.3.2.2. Exemplar 2

O briquete produzido com resíduos de folhas cancheadas está exposto na Figura 7.



Figura 7: Exemplar 2- Folhas cancheadas.
Fonte: Autora (2013).

A compactação não foi de maneira satisfatória devido à alta quantidade de umidade presente nas folhas. Esta característica foi evidenciada no momento da sua passagem pela briquetadeira onde ocorreram explosões decorrentes da presença de umidade nos resíduos.

Com relação às explosões durante a compactação Rosário (2011), aponta que a alta quantidade de umidade presente nos resíduos, durante a passagem pela briquetadeira produz vapor o qual é responsável por estouros.

De acordo com as pesquisas de Abitante (2007), as folhas de erva-mate podem adquirir umidade após o processo de secagem, esta absorção de umidade pelas folhas está relacionado com condições de temperatura e umidade do ar presentes no local onde as folhas se encontram.

Ainda segundo Abitante (2007), as folhas de erva-mate possuem uma epiderme porosa, que facilita a absorção de água. Em condições de altas temperaturas as folhas de erva-mate, liberam a água armazenada nas suas células. Desta forma é possível observar que as folhas apesar de passarem pela torrefação e secagem, captam água mantendo esta no interior de suas células e quando colocadas

na briquetadeira a uma temperatura elevada liberam esta água dificultando a compactação.

2.3.2.3. Exemplar 3

Briquete produzido com resíduos de folhas canheadas e serragem está exposto na Figura 8.



Figura 8: Exemplar 3- Briquete de folhas canheadas e serragem.
Fonte: Autora (2013).

A compactação destes briquetes foi satisfatória devido a serragem. Durante o processo de briquetagem, pelo fato dos briquetes 100% folhas canheadas apresentaram pouca eficiência na compactação. Foi incluído neste trabalho serragem, devido a sua eficiência relatada em outros estudos e por ser um resíduo de origem madeireira. Sendo assim foi utilizado: 50% de folhas canheadas e 50% de serragem.

Estudos realizados por Rosário (2011), ressaltam a alta eficiência da serragem para produção de briquetes, sendo a sua umidade igual a 9%, este valor esta de acordo com valores estabelecidos para uma eficiente compactação. A serragem por ser um resíduo de origem madeireira, que apresenta em sua constituição a lignina, possui uma densidade favorável, sendo viável na produção de briquetes.

2.3.3. Densidade briquetes

Vale ressaltar que os briquetes foram compactados em uma briquetadeira do “tipo rosca sem fim”, a qual compacta os produtos com um orifício ao centro. O diâmetro interno médio apresentado nos briquetes é de 2 cm (centímetros).

Segundo estudos de Capote (2012), o modelo da briquetadeira influencia diretamente na densidade dos briquetes. Produtos produzidos em equipamento, rosca sem fim, apresentam uma melhor união das partículas. A qual confere aos briquetes uma maior densidade.

De acordo com Quirino (2000), briquetes compactados neste tipo de briquetadeira possuem uma densidade média compreendida entre 1070 e 1220 kg/cm³. Desta forma os briquetes deste estudo encontram-se dentro dos padrões estabelecidos. A densidade média apresentada pelos briquetes de resíduos de palitos de foi de 1074 kg/m³. Análises estatísticas demonstram que houve variação entre as amostras (Tabela 4).

Tabela 10: Densidade dos briquetes de palitos.

Amostra	Densidade por amostra kg/cm ³
*P1	1075 b
P2	1079 c
P3	1070 a
Densidade média 1074 kg/cm³	

Legenda: *(P) Palitos.

Nota: Letras diferem significativamente entre si (Tukey P > 0,05).

Estudos de Quirino (2000), demonstram que briquetes produzidos a partir de resíduos de fábricas de compensado os quais são produzidos a partir de serragem resíduos de origem madeireira, apresentam densidade de 1061 kg/cm³.

É importante ressaltar que os palitos antes da compactação passaram pelo processo de moagem. Segundo De Paula *et al.* (2011), resíduos que são triturados, apresentam densidade eficiente a qual influencia na qualidade energética dos briquetes.

Os briquetes produzidos a partir de folhas canchedas apresentaram densidade média 1185 kg/cm³, análises estatísticas demonstram variação entre as amostras de folhas canchedas (Tabela 5).

Tabela 11: Densidade dos briquetes de folhas cancheadas.

Amostra	Densidade por amostra kg/cm ³
*C1	1734 b
C2	790 c
C3	1033 a
Densidade média 1185 Kg/cm³	

Legenda: *(C) Cancheadas.

Nota: Letras diferem significativamente entre si (Tukey P > 0,05).

Segundo Quirino (2000) e De Paula (2006), briquetes de palha de milho possuem densidade 910 kg/cm³, casca de arroz 1280/1100 kg/cm³ e resíduo de algodão 1110 kg/cm³.

Com relação aos dados obtidos neste trabalho é possível observar uma similaridade de densidade com briquetes produzidos com casca de arroz. Apesar da semelhança de densidade. Segundo Moraes (2006), as cascas de arroz são apreciadas na produção de energia a partir do momento em que se adiciona ligante a elas, pois resíduos foliares perdem lignina durante a torrefação.

A densidade média obtida com os briquetes de folhas cancheadas e serragem é 1256 kg/cm³, dados estatísticos apontam que não houve variação entre duas amostras, os resultados estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 12: Densidade dos briquetes de folhas cancheadas e serragem.

Amostra	Densidade por amostra kg/cm ³
*CS1	1361 a
CS2	1152 b
CS3	1152 b
Densidade média 1221 kg/cm³	

Legenda:*(CS) Cancheada e serragem.

Nota: Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente (Tukey P > 0,05).

Segundo Quirino (2000), briquetes produzidos a partir de serragem já se mostram energeticamente eficientes, devido a sua origem, apresentando uma densidade de 1042 kg/cm³.

Em seus estudos Zerbinatti (2012), produziu briquetes com mistura de biomassa, 75% palha e 25% galhos e folhas que obtiveram uma densidade de 1006 kg/cm³; 50% palha e 50% galhos e folhas, 1034 kg/cm³; 40% palha e 60% galhos e

folhas, 1031 kg/cm³. É possível verificar similaridade da densidade entre os briquetes, devido os resíduos utilizados.

A mistura de resíduos para produção de briquetes favorece tanto as propriedades energéticas quanto a questão ambiental. Segundo Rosário (2011), com esta opção de mistura é possível reduzir ainda mais a quantidade de resíduos. Além de favorecer as propriedades energéticas dos briquetes.

2.3.4 Análises de cinzas

Tabela 7: Média apresentada pelas amostras quanto ao teor de cinzas.

Amostra	Média Teor de cinzas
Folhas	6,26 a
Folhas + Serragem	5,84 b
Palitos	7,91 c

Nota: Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente (Tukey P > 0,05).

Briquete de resíduo de madeira ou agrícola, com menos de 5% de cinzas, com aglutinantes naturais e densidade normal; briquetes destinados ao uso doméstico e industrial.

Briquete de bagaço de cana, com mais de 5% de cinzas, sem especificações quanto a presença de agentes contaminantes e densidade normal; briquete destinado ao uso industrial.

2.3.5 Análises poder calorífico superior

Tabela 8: Média apresentada pelas amostras quanto ao teor de cinzas.

Amostra	Média Teor de cinzas
Folhas	4,966 a
Folhas + Serragem	4,359 b
Palitos	4,656 c

Nota: Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente (Tukey P > 0,05).

De acordo com Capote (2012), o poder calorífico médio das amostras de diferentes origens e biomassa, chega a aproximadamente 4382 kcal/kg, sendo superior a determinados tipos de biomassa. Desta maneira destaca-se que as

amostras do presente estudo apresentaram resultados condizentes com outros estudos.

2.3.6. Tempo de queima

O tempo de queima de cada Exemplar de briquetes e carvão vegetal em função do tempo (minutos/segundos) é descrito na Tabela 9.

Tabela 9: Tempo de queima de cada exemplar de briquete e carvão vegetal.

Amostra	Média -Tempo (Minutos : Segundos)
Exemplar 1	03:44
Exemplar 2	01:51
Exemplar 3	01:59
Carvão vegetal	03:49

Com relação ao tempo de queima o Exemplar 1 e carvão vegetal obtiveram tempo de queima similar (Figura 9).

O Exemplar 1 apresentou uma eficiente combustão. De acordo com Quirino (2000), a madeira seca com baixas quantidades de umidade possui uma combustão rápida, pois não é necessário utilizar parte da energia para aquecer e vaporizar essa umidade.

De acordo com De Paula (2006), os briquetes apresentam com relação ao carvão vegetal uma fácil armazenagem, baixa mão de obra, redução do volume de estocagem e transporte, menos poluição e mais energia, isenção de licenças especiais e baixa quantidade de cinzas.

O Exemplar 1 produziu uma quantidade menor de cinzas que o carvão vegetal. De acordo com Vasconcellos *et al.* (2004), as cinzas provenientes do processo de combustão dos briquetes podem ser utilizadas como adubo. Reduzindo assim a quantidade de cinzas descartadas no ambiente e a utilização de fertilizantes químico.

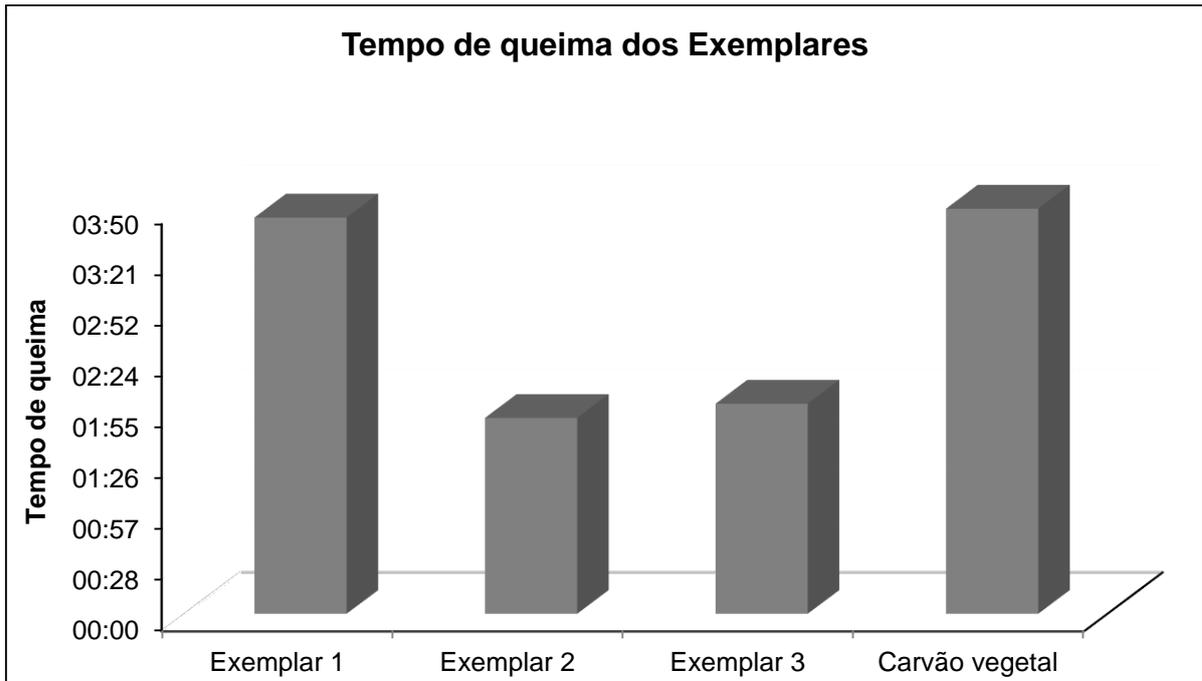


Figura 9: Tempo de queima de cada exemplar.

Estudos de De Paula *et al.* (2011), demonstram que o tempo de combustão de 2 g (gramas) de briquetes de serragem é de 03:10 minutos. É importante ressaltar que no presente trabalho foram utilizados para o teste 3 g (gramas) de resíduo. Vale destacar que briquetes de serragem se mostram eficientes no processo de combustão, ressaltando desta forma a similaridade no tempo de queima do Exemplar com os briquetes de serragem.

O tempo de queima do Exemplar 1 é similar a do carvão vegetal, sendo que o mesmo acarreta consequências ambientais e sociais, tanto na sua extração quanto no seu processo de queima.

Segundo Goldemberg e Lucon (2006), a utilização de carvão vegetal pela população contribui para o desmatamento de florestas, más condições de trabalho em indústrias clandestinas e liberação de gases na atmosfera. Por ser de fácil aquisição e se mostrar eficiente no processo de combustão o carvão vegetal é muito consumido pela população. O presente estudo mostra a possibilidade de estar substituir o carvão vegetal por briquetes de resíduos de palitos, já que os mesmos apresentaram uma similaridade com relação ao tempo de queima.

Os Exemplares 2 e 3 obtiveram uma combustão rápida, além de não haver consumo total do briquete e emitirem uma alta quantidade de fumaça. Não se mostrando eficiente para o processo de combustão. Estudos de De Paula *et al.* (2011),

utilizando briquetes de folhas de milho obtiveram um tempo de queima de 01:49 minutos. Desta forma é possível perceber a relação do tempo de queima de briquetes produzidos com resíduos foliares.

Para Quirino (2000), a baixa eficiência de combustão das folhas esta relacionada com a perda do material ligante e pela umidade característica das mesmas. No caso do Exemplar 3, apesar da serragem apresentar características energéticas favoráveis, certamente a umidade contida nas folhas, acabou prevalecendo.

Para Santos (2012), a grande quantidade de fumaça emitida durante a queima é decorrente da umidade presente no resíduo. Desta maneira fica evidente a alta quantidade de umidade presente no briquete.

De acordo com Brand *et al.* (2004), valores elevados de umidade tem relação com o tipo de biomassa utilizado, no momento da compactação a água presente no resíduo se une as estruturas do briquete. Desta forma quanto maior a quantidade de água no interior do briquete menor o poder de queima

2.3.7. Armazenagem

Características apresentadas pelos Exemplos 1, 2 e 3 durante armazenagem por 60 dias verificando os mesmos quinzenalmente totalizando 5 semanas são expostas na Tabela 10.

Durante as 5 semanas de armazenagem o Exemplar 1 se manteve normal, sem variações em sua estrutura. Porém os Exemplos 2 e 3 apresentaram descompactação. Segundo estudos de Barros (2012), esta característica tem relação com a alta quantidade de umidade presente no produto compactado. A umidade causa um afastamento das partículas, fazendo com que ocorra descompactação.

Na semana 2, o Exemplar 2 apresentou formação de rachaduras além de descompactação, ocorreu a formação de rachaduras. De acordo com estudos de Barros (2012), com briquetes de casca de laranja, os mesmos apresentam fendas, consequência da brusca variação de temperatura do ambiente.

De acordo com Brand (2010), fatores como parte do vegetal utilizado, época do ano e condições climáticas influenciam na umidade do briquete, causando sua descompactação e/ou quebra.

Tabela 10: Característica de cada exemplar de briquete por semana.

Semana	Exemplar	Característica
1	1	Normal
	2	Normal
	3	Pouca descompactação
2	1	Normal
	2	Descompactação e rachaduras
	3	Descompactação
3	1	Normal
	2	Quebra
	3	Descompactação
4	1	Normal
	2	Totalmente descompactado
	3	Descompactação
5	1	Normal
	2	Totalmente descompactado
	3	Descompactação

Na semana 3 o Exemplar 2 quebrou. Rodrigues (2011), destaca que a má compactação desde o processo de briquetagem, acaba influenciando a estrutura física do briquete, sendo que qualquer contato mecânico acaba quebrando o mesmo.

É importante destacar que todos os briquetes passaram por contato mecânico leve, quebrando apenas o Exemplar 2, e o Exemplar 3 descompactando. Desta forma os mesmos não são eficientes para venda no comércio e utilização doméstica.

Nas semanas 4 e 5 os Exemplares mantiveram suas características apresentadas na semana 3.

Sendo assim, o Exemplar 1 apresenta características mais eficientes quanto à armazenagem e queima que as demais amostras. Ou seja, pode ser considerado mais adequado para o comércio e utilização.

2.3.6 Análises estatísticas

TEOR DE CINZAS

Na Tabela 11 estão descritos valores dos níveis de variância do teor de umidade e poder calorífico

Tabela 11: Valores teor de cinzas das amostras.

	T.U.%	P.C.S. (kcal/Kg)
T.U.%	1	0,496035746

Para os teste de bartlett todas as análises das variáveis as variâncias foram homogêneas ao nível de 95% de probabilidade de confiança.

A Tabela 12 apresenta análises do teor de cinzas das amostras.

Tabela 12: Quadro de análises teor de cinzas.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento	7	5.43898	0.77700	6.4428**
Resíduo	16	1.92960	0.12060	
Total	23	7.36858	0.8976	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Tabela 13: Médias de tratamentos teor de cinzas.

Médias de Tratamento	
1	6.26333 bc
2	5.84333 c
3	6.05000 bc
4	6.50000 abc
5	6.76333 abc
6	7.33667 a
7	7.02667 ab

8	6.22333 bc
---	------------

dms = 0.98245

MG = 6.50083 CV% = 5.34

Ponto médio = 6.41000

Poder calorífico

A Tabela 14, apresenta valores do poder calorífico das amostras de briquetes.

Tabela 14: Valores poder calorífico das amostras.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento	7	1126955.83333	160993.69048	7.8742 **
Resíduo	16	327130.00000	20445.62500	
Total	23	1454085.83333		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Na Tabela 15, são apresentados os valores médios de tratamento de poder calorífico das amostras.

Tabela 15: Valores médios de tratamento poder calorífico das amostras.

Médias de Tratamento	
1	4993.66700 a
2	4966.33300 a
3	4847.00000 ab
4	4903.00000 ab
5	4932.00000 ab
6	4359.33300 c
7	4534.00000 bc

8	4656.00000 abc
---	-----------------------

dms = 404.51600

MG = 4773.91667 CV% = 3.00

Ponto médio = 4522.00000

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho possibilitou apresentar as características energéticas de resíduos de erva-mate, como fonte de energia renovável, além de apresentar uma opção de destinação para os resíduos produzidos por agroindústrias.

As folhas canheadas são a matéria-prima para a produção do principal produto comercializado pelas indústrias ervateiras, a erva-mate para o preparo do chimarrão. Vale destacar que as mesmas obtiveram resultados insatisfatórios neste estudo com relação a umidade dos resíduos, briquetagem, eficiência na queima e armazenagem. No entanto os briquetes produzidos com resíduos de palitos de erva-mate obtiveram resultados satisfatórios.

No processo de produção da erva-mate, os palitos são separados das folhas, e adicionados, para que não sejam descartadas grandes quantidades. Desta forma algumas indústrias optam pela fabricação de chás e erva-mate para tererê, onde são utilizados basicamente os palitos.

Porém, a maioria das indústrias ervateiras não comercializam estes subprodutos, neste caso elas acabam vendendo estes palitos a outras fábricas e/ou utilizando durante a torrefação das folhas. Devido a briquetagem compactar a biomassa, esta característica confere aos briquetes uma melhor capacidade energética com relação aos resíduos não briquetados. Neste caso sugere a estas, produzir briquetes, para comercializá-los e consumi-los durante a torrefação da erva-mate.

De modo que os briquetes de resíduos de palitos de erva-mate apresentaram umidade similar a outros resíduos já muito utilizados na produção de energia renovável. Considerando também que esse material possui ligante natural, a lignina, dispensando a utilização de outros produtos que acabam aumentando o custo dos briquetes. Além disso, apresenta boa compactação de suas partículas, densidade eficiente para combustão e fácil armazenagem.

O crescente aumento da população e dos setores industriais que produzem resíduos sem destinação, Faz-se necessário a realização de vários estudos, analisando a eficiência energética de resíduos produzidos por indústrias na produção de energia.

O presente trabalho contribuiu com uma nova opção de resíduos para produção de combustíveis sólidos. Mas é importante a realização de novos estudos com diferentes tipos de biomassa, Visando melhorar o aproveitamento energético dos resíduos e reduzir os impactos ambientais ocasionados pela sua destinação imprópria ou incorreta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABITANTE, A. L. **Modelagem dinâmica e análise de um sistema de controle de umidade de folhas de erva-mate em secadores contínuos de esteira**. 2007. 78 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <www.pipe.ufpr.br>. Acesso em: 28 de Jul. 2013.
- BARROS, L. D. O. **Densidade energética de briquetes produzidos a partir de resíduos agrícolas**. 2012. 46 p. Trabalho de conclusão de curso- Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <<http://bdm.bce.unb.br>>. Acesso em: 01 de Mar. 2013.
- BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), no município de Nova Prata, RS**. 2006. 93 p. Dissertação de Mestrado- Manejo florestal. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006. Disponível em: <<http://www.vsdani.com>>. Acesso em: 01 de Mar. 2013.
- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.
- BRAND, M. A.; MUNIZ, G. I. B.; COSTA, V. J.; AMORIN, M.; BITTENCOURT, E. Influência do tempo de armazenamento sobre a perda da umidade de resíduos madeiráveis. In: III Encontro de Ciência e Tecnologia, 2004, Lages. **Anais...** 2004. p. 1-10.
- CAPOTE, F. G. **Caracterização e classificação de co-produtos compactados da biomassa para fins energéticos**. 2012. 73 p. Dissertação de mestrado- Interinstitucional em bioenergia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br>>. Acesso em: 20 de Fev. 2013.
- CARASHI, J. C.; GARCIA, D. P. A expansão do mercado de pellets de madeira. **Revista da madeira**. n. 131. 2012.
- CONTINI, A. Z. **O gênero *Ilex*: Alternativas de sustentabilidade no uso de etnoespécies pelos Kaiowá e Guarani em Mato Grosso do Sul**. 2006. 65 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2006. Disponível em: <<http://site.ucdb.br>>. Acesso em 30 mar. 2013.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas, Unicamp, 2008. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br>>. Acesso em: 25 Fev. 2013.
- DE PAULA, J. C. M. **Aproveitamento de resíduos de madeira para confecção de briquetes**. 2006. 37 p. Monografia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- DE PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. N.; ASSIS, C. O.; BALIZA, A. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Minas Gerais, v.31, n.66, p. 103-112, jun 2011.

ESMELINDRO, M. C., TONIAZZO, G., WACZUK, A., DARIVA, C., OLIVEIRA, D. D. Caracterização físico-química da erva-mate: influência das etapas do processamento industrial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, São Paulo, v. 22, n.2, dez. 2001.

FARAGE, R. M. P.; REZENDE A. A. P.; SILVA, C. M.; NUNES, W. G.; CARNEIRO, A. D. C. O., VIEIRA, D. B.; RODRIGUES, C. L. S. Avaliação do potencial de aproveitamento energético dos resíduos de madeira e derivado gerados em fábricas do pólo moveleiro de Ubá- MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.23, n.1, p. 203-212, mar. 2013.

FIGUEROA, M. J. M., MORAES, P. D. D., Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, out./dez. 2009.

GOLDEMBERG, J., LUCON. O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, p. 7-20, nov. 2006.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. IBAMA: Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/> >. Acesso em 23 de Fev. 2013.

LORA, E. E. S., SALOMON, K. R. Análise comparativa da biomassa com tecnologias convencionais de geração aplicando a eficiência ecológica. In: 5º ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br>>. Acesso em: 01 de Mar. 2013.

MORAIS, D. M. **Briquetes de resíduos ligno-celulósicos com o potencial energético para a queima de blocos cerâmicos: aplicações em uma indústria de cerâmica vermelha que abastece o Distrito Federal**. 2007. 265 p. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em:<<http://bdtd.bce.unb>>. Acesso em: 30 de Jul. 2013.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2º ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 200 p.

POLETTO, I., MUNIZ, M.F.B., CECONI, D. E., SANTIN, D., WEBER, M. N., BLUME, E. Zoneamento e identificação de *Fusarium* spp. causadores de podridão de raízes em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) na região do Vale do Taquari, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2006.

POLETTO, I., MUNIZ, M. F. B., CECONI, D. E., WEBER, M. N. D., BLUME, E. Primeira ocorrência de *Pythium* sp. e *Rhizoctonia* sp. causando podridão-de raízes em ervais no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 65-69, 2007.

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

QUIRINO, W. F., **Utilização energética de resíduos vegetais**. Laboratório de produtos florestais LPF/IBAMA. Módulo do curso “Capacitação de agentes multiplicadores em valorização da madeira e dos resíduos vegetais”, p.4-32, 2000. Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br>>. Acesso em: 01 de Mar. 2013.

QUIRINO, W. F., BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA – Laboratório de Produtos Florestais FLP, p.16, 1991. Disponível em: <<http://www.funtec.org.br>>. Acesso em: 01 de Mar. 2013.

RAVEN, P. H., EVERT, R. F., EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906 p.

REIS, B. D. O., SILVA, I. T. D., SILVA, I. M. O. D., ROCHA, B. R. P. D. Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí. Trabalho AGRENER 2002. In: 4º ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL. Campinas. **Anais ...** 2002. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br>>. Acesso em: 04 de Abr. 2013.

ROCHA, E. P. A.; SOUZA, D. F.; DAMASCENO, S. M. Estudo da viabilidade da utilização de briquete de capim como fonte alternativa de energia para queima em alto-forno. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2009, Uberlândia, **Anais...** Disponível em: <<http://www.cobeqic2009.feq.ufu.br>>. Acesso em: 01 de Mar. 2013.

RODRIGUES, T. O. **Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos**. 2009. 82 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: <<http://bdtd.bce.unb>>. Acesso em: 01 de Ago. 2013.

ROSÁRIO, L. M. D., **Briquetagem visando utilização de resíduos de uma serraria**. 2011. 28 p. Trabalho de conclusão de curso- Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2011. Disponível em: <<http://www.florestaemadeira.ufes.br>>. Acesso em: 07 de Ago. 2013.

ROSSILO-CALLE, F. A brief account of Brazil's biomass energy potential. **Biomassa e energia**, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 225 - 236, 2004.

SANTOS, J. R. S. **Estudo da biomassa torrada de resíduos florestais de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar para fins energéticos**. Dissertação de Mestrado, 2012, 86 p. Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br>>. Acesso em: 25 de Jul. 2013.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, R. V. O.; PIMENTA, A. S.; CASTRO, A. F. N. M.; MARINHO, I. V.; BOAS, M. A. V. Potencial de briquetagem de resíduos florestais da região do Seridó, no Rio Grande do Norte. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Minas Gerais, v. 31, n. 68, 2011.

SCORTEGAGNA, A.; REZENDE, C. J.; TRICHES, R. I. **Paraná espaço e memória: diversos olhares históricos-geográficos**. Curitiba: Bagozzi, 2005. 407 p.

Sindicato da indústria do mate no estado do Rio Grande do Sul SIMDIMATE'RS, 2010. Disponível em: <<http://www.sindimaters.com.br>>. Acesso em: 25 Fev. 2013.

VASCONCELLOS, C. B.; LEAL, C., L., D.; FRANÇA, M., P.; CASTRO, P., F. Aproveitamento de cinzas de caldeira na construção civil. **Revista Vértices**, v. 6, n.1, p. 131-148, 2004.

ZANELLA, M. G. **Ambiente institucional e políticas públicas para o biogás provenientes da suinocultura.** 2012. 96 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2012. Disponível em: <<http://projetos.unioeste.br>>. Acesso em: 01 de Mar. 2013.

ZERBINATTI, O. E. **Briquetagem de resíduos da cultura de café cultivado no sistema safra zero.** 2012. 42 p. Dissertação de Mestrado- Universidade José do Rosário Vellano Unifenas. Minas Gerais, 2012. Disponível em: <<http://tede.unifenas.br>>. Acesso em: 01 de Ago. 2013.

ANEXOS

ANEXO I - Combustor utilizado para queima das amostras



ANEXO II – Grelha e combustor.

