

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL
CÂMPUS DOIS VIZINHOS

RODRIGO HÜFFNER ARRUDA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO CARVÃO DE QUATRO ESPÉCIES
FLORESTAIS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS
2016

RODRIGO HÜFFNER ARRUDA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO CARVÃO DE QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II,
do Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR, como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Florestal.

Orientador: Prof. M. Ramiro Faria França.

DOIS VIZINHOS

2016

A779a Arruda, Rodrigo Hüffner .
Avaliação da qualidade do carvão de quatro espécies florestais / Rodrigo Hüffner Arruda – Dois Vizinhos: [s.n], 2016.
28f.:il.

Orientador: Ramiro Faria França
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal, Dois Vizinhos, 2016.
Bibliografia p. 26-28

1.Carvão vegetal 2. Energia – Fontes alternativas 3. Carbonização I. França, Ramiro Faria, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos. III. Título

CDD: 662.74

Ficha catalográfica elaborada por Rosana Oliveira da Silva CRB: 9/1745

Biblioteca da UTFPR-Dois Vizinhos



TERMO DE APROVAÇÃO

Título AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO CARVÃO DE QUATRO ESPÉCIES
FLORESTAIS

por

Rodrigo Hüffner Arruda

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 09 de Dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. M. (Ramiro Faria França)
Orientador(a)

Prof. Dr^a. Flávia Alves Pereira
Membro titular (UTFPR)

Prof. Dr^a. Renata Padilha de Souza
Membro titular (UTFPR)

Prof. M. Douglas Edson Carvalho
Membro titular (UTFPR)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar força para superar as dificuldades, e a oportunidade de chegar até aqui.

A minha família, principalmente a meus pais José e Simone e minha irmã Josicléa por todo incentivo, apoio e amor.

Ao meu Orientador Ramiro Faria França, por todos os ensinamentos repassados, confiança, paciência e amizade.

A todos meus amigos e colegas da engenharia florestal que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento do trabalho.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Dois Vizinhos pela estrutura disponibilizada

Aos amigos do laboratório de Tecnologia da Madeira da UTFPR-DV.

Ao Tônico, por nos proporcionar um ambiente de descontração e amizade, principalmente em momentos de estresse.

RESUMO

ARRUDA, Rodrigo Hüffner. Avaliação da qualidade do carvão de quatro espécies florestais. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

O carvão vegetal é um subproduto da carbonização da madeira, que é uma fonte energética de caráter renovável, o Brasil é o país que mais produz carvão vegetal, e também é o país com maior consumo, sendo o único país do mundo a utilizar o carvão vegetal em escala industrial. O objetivo deste trabalho foi Avaliar a qualidade do carvão vegetal de 4 espécies florestais, caracterizando o material e indicando as espécies com maior potencial para utilização. As espécies estudadas foram *Mimosa scabrella* Benth. (Fabaceae); *Hovenia dulcis* Thunb. (Rhamnaceae); *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden (Myrtaceae); *Pinus* sp. As amostras foram divididas em vinte corpos de prova para cada espécie, que foram carbonizadas ,com uma taxa de aquecimento de 1,5°C/minuto, foram feitas avaliações químicas e físicas do material carbonizado, O *E. grandis* foi o que apresentou maior porcentagem de carbono fixo, *Pinus* sp e *H. dulcis* não se diferenciaram estatisticamente e apresentaram o segundo melhor resultado, para valores encontrados de poder calorífico o *Eucalyptus grandis* apresentou o melhor resultado de 8357 Kcal/kg e a *Houvenia. dulcis* o mais baixo potencial energético de 7813kcal/kg .Das quatro espécies florestais avaliadas, o *E. grandis* foi o que apresentou os resultados mais satisfatórios, o rendimento do carvão vegetal de todas as espécies analisadas apresentaram estar proporcionalmente correlacionados ao teor de umidade da madeira, quanto maior o teor de umidade da madeira menor o rendimento de carvão.

Palavras-chave : Carbonização , Carvão Vegetal , Energia Renovável,

ABSTRACT

ARRUDA, Rodrigo Hüffner. Evaluation of coal quality of four forest species. 2016. Graduation work (Bachelor of Forestry Engineering)- Federal Technological University of Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

Charcoal is a byproduct of the carbonization of wood, which is a renewable energy source, Brazil is the country that produces the most charcoal, and it is also the country with the highest consumption, being the only country in the world to use coal on an industrial scale. The objective of this work was to evaluate the charcoal quality of 4 forest species, characterizing the material and indicating the species with the greatest potential for use. The species studied were *Mimosa scabrella* Benth. (Fabaceae); *Hovenia dulcis* Thunb. (Rhamnaceae), *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden (Myrtaceae); *Pinus* sp. The samples were divided into twenty test specimens for each species, which were carbonized, with a heating rate of 1.5 ° C / minute, chemical and physical evaluations of the carbonized material were done, *E. grandis* was the one with the highest percentage of fixed carbon, *Pinus* sp and *H. dulcis* did not differ statistically and presented the second best result, for values of calorific value, *Eucalyptus grandis* presented the best result of 8357 Kcal / kg and *Houvenia dulcis* the highest yield potential of 7813 kcal / kg. Of the four forest species evaluated, *E. grandis* was the one that presented the most satisfactory results, the charcoal yield of all species analyzed were proportionally correlated to the moisture content of the wood , The higher the wood moisture content the lower the coal yield.

Keywords: Carbonization, Charcoal, Renewable Energy,

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	9
2.OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO	10
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 CARVÃO VEGETAL E FATORES DE INTERFERÊNCIA	11
3.2 DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES	13
3.2.1 <i>Mimosa scabrella</i> Benth. (Bracatinga).....	13
3.2.2 <i>Hovenia dulcis</i> Thunberg (Uva Do Japão).....	14
3.3.3 <i>Pinus sp.</i>	14
3.3.4 <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	15
4.MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1 Processo de Carbonização	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
6.CONCLUSÃO	26
7.REFERÊNCIAS	27

1.INTRODUÇÃO

Com o aumento da conscientização mundial com relação á utilização combustíveis de caráter não renovável, iniciou-se uma série de estudos a procura de novos métodos de produção de energia e além do aperfeiçoamento de processos já conhecidos na geração de energia com materiais menos agressivos ao meio ambiente. Um dos combustíveis que vem sendo muito estudado, derivado da madeira, é o carvão vegetal e por se tratar de um combustível renovável, é considerado ecologicamente correto, quando proveniente de florestas plantadas.

O processo de carbonização da madeira é o que gera o carvão vegetal, que vem sendo usado pela humanidade há muito tempo, para múltiplas finalidades, desde fonte de energia térmica, para purificação de água e até como meio de retirada de gases tóxicos , devido sua característica porosa e capacidade de absorção de impurezas.

O Brasil é destaque mundial em relação a produção e consumo de carvão vegetal, atualmente é o único país no mundo que usa este material em escala industrial, sendo largamente utilizado nas siderúrgica para produção do aço verde, além do uso residencial e em estabelecimentos comercias.

O aço verde é no momento o símbolo e o lema que indústria siderúrgica brasileira apresenta em conferências internacionais, definindo a proposta como ambientalmente correta e sustentável, pois em geral o carvão vegetal é proveniente de florestas plantadas de eucalipto próximas aos pólos guseiros.

Além do aço verde ser de grande qualidade, o uso de carvão vegetal na sua composição faz com que tenha vantagens na conservação da biodiversidade nativa além de efeitos positivos em relação a absorção de gases do efeito estufa , pelas florestas plantadas.

2.OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade do carvão vegetal de 4 espécies florestais, caracterizando o material e indicando as espécies com maior potencial para utilização.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar a análise química imediata dos carvões das espécies e determinar os valores de poder calorífico superior das mesmas.
- b) Calcular os valores de rendimento gravimétrico e em carvão após a carbonização.
- c) Indicar, com base nos resultados, os usos para os carvões analisados.

3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARVÃO VEGETAL E FATORES DE INTERFERÊNCIA

A utilização da madeira como fonte de energia ocorre desde os primórdios da humanidade, com a descoberta do fogo o homem utilizava a lenha como principal combustível, o que ainda ocorre em diversos locais ao redor do mundo (SOUZA et al, 2016).

Para Silva et al (2007) é inquestionável a procura por novos recursos energéticos, energias alternativas, como carvão vegetal que além de ser proveniente da madeira, um material renovável, pode ser utilizado como redutor de minérios de ferro, nas termoelétricas e indústrias químicas.

Para Klitzke (1998) devido a procura de novos combustíveis renováveis para substituir os combustíveis fósseis, o Brasil sai em vantagem devido o amplo território nacional e a disponibilidade de madeira. Dentre os produtos derivados da madeira o carvão tem destaque, em relação o outros, a geração de energia, esta de uma fonte renovável.

A qualidade da produção de carvão vegetal esta relacionada com a matéria prima que lhe deu origem e os processos utilizados na carbonização da madeira, existem muitas pesquisas sobre carvão vegetal , porem a maioria é a nível laboratorial e com espécies exóticas que geralmente são pinus e eucalipto, sendo assim há uma grande necessidade de iniciar mais estudos sobre o comportamento na carbonização de madeira de espécies nativas e resíduos da indústria madeireira (Silva et al, 2007).

A qualidade apresentada nos carvões vegetais são determinadas pelas propriedades físico-químicas, como densidade, friabilidade, poder calorífico umidade e a química imediata, teor de cinzas, carbono fixo e matérias voláteis. O rendimento em carbono fixo esta diretamente correlacionado com o teor de lignina e densidade da madeira carbonizada (OLIVEIRA et al, 2010).

Ainda segundo Oliveira et al (2010) as diferentes marchas de carbonização podem demonstrar o comportamento de madeira utilizada, frente

a temperatura e tempo de carbonização e estas podem afetar o rendimento gravimétrico e as propriedades do carvão.

Brito e Barrichelo (1977) afirmam que o teor de lignina na madeira esta diretamente relacionado com o rendimento em carvão e o teor de carbono fixo, estes materiais apresentam menores teores de voláteis e de cinzas, o maior rendimento nestes quesitos para madeira com maior teor de lignina deve-se ao comportamento da madeira, sendo mais resistente a decomposição térmica se comparada a celulose e hemiceluloses.

Para Isbaex (2014) ocorreu um aumento no incremento de florestas plantadas sendo que o melhoramento genético geralmente apresenta melhor ganho em volume, sendo o rendimento gravimétrico inferior, isso significa florestas plantadas com rápido crescimento em altura e diâmetro, porém com baixa densidade, apresentando parede celular mais fina e com baixo teor de lignina, podendo ser considerada inadequada para produção de carvão vegetal ou para fins energéticos em geral.

Segundo Brito e Barrichelo (1981) o carvão vegetal começou a ser utilizado no setor industrial durante a Segunda Guerra Mundial, período em que os pesquisadores europeus decidiram estudar melhor a obtenção deste material, porém, com o final da guerra os estudos e tecnologias voltaram a ser direcionados para o uso de combustíveis fósseis.

O carvão vegetal tem importante participação na economia do Brasil, maior produtor e consumidor mundial, sendo este muito utilizado na indústria siderúrgica. Alguns estudos voltados para melhoria do processo e no rendimento do produto estão sendo realizados, considerando principalmente o tipo de forno e as espécies florestais utilizadas (SOUZA et al, 2016).

Para Duboc et al (2008) a maior parte da produção de carvão vegetal do Brasil é destinada para suprir a demanda do mercado interno, que nos últimos 20 anos tem consumido mais de 84% da produção local total, e neste horizonte, nos próximos anos há uma grande expectativa que as grandes empresas da agroindustriais façam uma substituição de combustíveis fósseis por carvão vegetal.

De acordo com Coutinho e Ferraz (1988) o carvão vegetal é muito suscetível a ser friável, devido a vários fatores, desde a fabricação até o seu destino final o carvão vegetal sofre perdas de até 25%, sendo os finos gerados na seguinte proporção: 3,7 % nas carvoarias, 6,3% no armazenamento, 5,8% no carregamento e transporte e a maior parte na etapa de peneiramento, 9,4% .

3.2 DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES

3.2.1 *Mimosa scabrella* Bentham. (Bracatinga)

Segundo Angeli (2003) a Bracatinga, *Mimosa scabrella* Bentham, é uma árvore da família das Fabaceae, é uma espécie pioneira em pleno sol, e em muitas vezes podem ocorrer adensamentos puros de bracatinga e possui uma baixa longevidade de aproximadamente de 20 anos.

A Bracatinga é uma espécie arbórea nativa do Brasil, das regiões frias, principalmente localizada no três estados do Sul do Brasil, com altitudes superiores a 700 metros acima do nível do mar e com clima caracterizado como Cfb, sem déficit hídrico .É muito comum essa árvore ser encontrada em sistemas agroflorestais, para produção de lenha principalmente (ANGELI 2003).

A densidade básica é de 530 kg/m³ e aparente da madeira de Bracatinga a 15% de umidade é de 670 kg/m³, a durabilidade da madeira é considerada relativamente baixa , e possui um diferenciação do cerne e do alburno muito pouco distinta (IPT, 1989). A bracatinga possui vários usos dentre eles, lenha, carvão, ripas e utilidades geral de cacharia e embalagens.

Além dos usos madeireiros, a bracatinga pode ser usada como alimentação para animais, em períodos que os pastos estão em déficit , porém as folhas devem ser utilizadas apenas em últimos casos, pois possui apenas 18% de proteína em sua composição, além deste uso ela também pode ser utilizada na produção melífera, além de ornamental e recuperação de áreas degradadas por se tratar de uma pioneira. (ANGELI 2003).

3.2.2 *Hovenia dulcis* Thunberg (Uva Do Japão)

A Uva do Japão é uma árvore de grande porte, presente em várias propriedades agrícolas do sul do Brasil, podendo atingir até 25 m de altura e 50 cm de DAP (diâmetro na altura do peito) nas propriedades sulistas no Brasil. A espécie possui tronco reto, podendo ser usada para várias finalidades como mourões, madeira serrada e como combustível, a espécie desde o começo tem características pioneiras onde tem preferência por pleno sol e grande capacidade de suportar geadas (CARVALHO, 1994).

Ainda de acordo com Carvalho (1994) a madeira da Uva do Japão apresenta massa específica aparente entre 0,50 a 0,72 g/cm³ a 15% de umidade, a madeira pode ser considerada resistente, porém é pouco durável em contato com o solo.

A Uva do Japão atualmente é considerada uma exótica invasora o que impede alguns tipos de trabalhos com plantios de sua espécie, nativa da Ásia, foi introduzida primeiramente como ornamental, porém como seu fruto é muito atrativo para aves ocorreu uma grande disseminação da espécie assim sendo considerada uma exótica invasora com grande capacidade de propagação rápida, esta espécie consegue levar vantagem sobre as nativas nos quesitos de competição (INSTITUTO HÓRUS, 2016).

3.3.3 *Pinus sp.*

As árvores de *Pinus sp* podem chegar a atingir 45 metros de altura e DAP de até 1,5 metros, como quase todas as coníferas o pinus tem a diferenciação de anéis bem visíveis, sua madeira apresenta grã retilínea , é uma madeira pesada, dura e apresenta estabilidade de secagem se bem conduzida, tem a resistência do cerne considerada baixa e também tem a fácil aceitação de produtos preservastes (USDA, 2008).

Segundo Morais et al (2005) as espécies de pinus que estão sendo utilizadas no Brasil, são provenientes dos Estados Unidos da América, mesmo sendo oriundas da Europa.

O gênero *Pinus* ocupa a segunda colocação como mais plantado no Brasil, com várias finalidades e muito presente nos estados do Paraná e Santa Catarina, sendo que possui também vários estudos relacionados a manejo e silvicultura (LIMA, 2010).

Segundo Medrado (2005), os plantios de Pinus vem sendo implantados e conduzidos principalmente nas regiões sul e sudeste há pelo menos três décadas, com o *Pinus taeda* sendo utilizado principalmente na indústria de papel e celulose.

3.3.4 *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

Segundo IPEF (2015) o *Eucalyptus grandis* apresenta árvores altas que geralmente se bem manejadas podem atingir de 45 a 55 metros em casos raros podendo atingir até 75 metros de altura, normalmente atingem de 1,2 a 2 metros de DAP e também em casos excepcionais podem chegar a 3 metros de DAP.

O *Eucalyptus grandis* é encontrado naturalmente em três populações distintas, a área que apresenta mais indivíduos é ao redor de Newcastle, e em direção ao norte ao redor de Bundaberg. Pequenos povoamentos ocorrem a Oeste de Mackay na parte central de Queensland, sendo que todos estão localizados na Austrália (IPEF, 2015).

Segundo IPT (1997) a madeira é excelente para serraria, no entanto, requer o uso de técnicas apropriadas de desdobro para minimizar os efeitos das tensões de crescimento.

Há uma crença bastante arraigada de que o eucalipto racha demasiadamente durante o processamento e mesmo depois, que a madeira deforma anormalmente, e que por essas razões não pode ser economicamente aproveitável (PONCE, 1995).

Contudo, esta sendo observado um aumento de indústrias para produção de madeira serrada, esses empreendimentos estão concentrados nas regiões sul e sudeste do país e, estão enfrentando dificuldades em relação à disponibilidade de matéria-prima, pois a maior parte da madeira tem outro destino (VIDAURRE et al, 2007).

Quando surgiu a possibilidade de substituição da madeira oriunda de florestas nativas por madeira de Eucalipto, considerada vantajosa por vários motivos como evitar problemas ecológicos e diminuir o esgotamento das reservas de madeira nativa (COUTO, 1995).

Ainda segundo Couto (1995) o manejo da floresta de Eucalipto na produção madeireira usa práticas silviculturais diferenciadas das quais são utilizadas para a produção de celulose, energia e painéis dentre as praticas destacam-se o desbaste a desrama e o espaçamento usado no plantio .

Atualmente o uso da madeira de reflorestamento do gênero *Eucalyptus* tem chamado a atenção tanto por parte de pesquisadores como por parte do setor madeireiro, principalmente nos estados da região Sul e Sudeste, em função do seu grande potencial de disponibilidade em curto espaço de tempo (ROCHA, 2000).

4.MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho de caracterização de carvão vegetal foram utilizadas 4 espécies florestais:

- *Mimosa scabrella* Benth. (Fabaceae), Bracatinga;
- *Hovenia dulcis* Thunb. (Rhamnaceae) Uva do Japão;
- *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden (Myrtaceae) Eucalipto;
- *Pinus* sp. Pinus.

As amostras de madeira de Bracatinga e Uva do Japão foram cedidas pela Madeireira Dalmolin, situada no município de Pato Branco, onde foram escolhidas árvores saudáveis e abatidas. Após o corte das árvores as toras foram desdobradas em serra fita e posteriormente foi feito o desdobro final em serra circular.

A madeira de Pinus , foi disponibilizada pela empresa Madeireira Valmeri no município de Dois Vizinhos, as tábuas são utilizadas pela empresa para construção de vigas de madeira laminada colada e tinham as seguintes dimensões: 30mm x 25mm x 3000mm.

A madeira de *Eucalyptus grandis* é proveniente de plantios experimentais homogêneos de 11 anos de idade localizados no município de Telêmaco Borba, Paraná.

Para carbonização foram confeccionados 20 corpos de prova com dimensões de 25x25x100mm para cada espécie. Os mesmo corpos de prova utilizados para fabricação do carvão vegetal, anteriormente foram utilizados para determinação da massa específica aparente (0%) da madeira.

A determinação da massa específica aparente foi feita através da fórmula:

$$ME = \frac{P (g)}{V (cm^3)}$$

Onde :

ME : Massa Específica aparente

P seco = Peso da amostra em gramas (g) a 0% de umidade.

V seco = Volume da amostra, em cm³ a 0% de umidade

A carbonização das amostras e a análise das propriedades químicas do carvão vegetal foram realizadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos. A determinação do poder calorífico superior foi realizada no Laboratório de Energia da Biomassa da Universidade Federal do Paraná.

4.1 Processo de Carbonização

Antes de iniciar a carbonização os corpos de provas foram mantidos em uma sala climatizada com temperatura de 25°C e umidade relativa do ar próxima a 60%, resultando em uma umidade de equilíbrio da madeira de 15%. Após este período, 5 corpos de prova de cada espécie foram devidamente identificados e colocados em estufa com controle de temperatura e circulação de ar forçada a 105°C ± 2°C por 24 horas para a determinação da umidade da madeira de acordo com a NBR 6923.

Para a carbonização foi utilizado um forno mufla com controle de temperatura microprocessado . Foram colocadas 20 amostras de cada espécie, previamente pesadas, medidas e recobertas por papel alumínio, Figura 1, com a finalidade de diminuir ao máximo o contato das amostras com oxigênio. O regime de carbonização adotado foi o de rampas e patamares com temperatura final de 450°C. O tempo total de carbonização foi de 300 minutos, com uma taxa de aquecimento calculada de 1,5°C/minuto. Ao término da carbonização as amostras permaneceram no forno por aproximadamente 4 horas para resfriamento e após retirada da mufla foram mantidas em dessecador de vidro até a medição e pesagem, realizada em balança analítica, assim podendo ser calculado o rendimento gravimétrico e rendimento em carvão.



Figura 1. Corpos de Prova envoltos em Papel alumínio e devidamente identificados.
Fonte: O Autor (2016).

O rendimento gravimétrico foi calculado pela fórmula:

$$RG = \left(\frac{PC}{PM} \right) \cdot 100$$

Onde:

RG : Rendimento Gravimétrico

PC : Peso do Carvão a 0% de umidade (g);

PM : Peso da Madeira a 0% de umidade (g);

E o rendimento do carvão foi realizado através da seguinte equação.

$$RC = \frac{PC}{PU} \cdot 100$$

RC: Rendimento do carvão;

PC : Peso do carvão a 0% de umidade (g)

PU : Peso da madeira com teor de umidade de equilíbrio (g);

A análise química imediata do carvão vegetal foi realizada segundo a norma NBR 8112 (1986). A norma preconiza para análise de cinzas que a amostra deve ser mantida em forno mufla até que o carvão se queime

completamente, o tempo determinado neste trabalho foi de 4 horas. Para a determinação do Teor de Carbono Fixo foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Teor De Carbono fixo}(\%) = (100 - (\text{Cinzas}\% + \text{Volateis}\%))$$

O poder calorífico das amostras foi determinado através de um calorímetro adiabático, de acordo com a NBR 8633 (1984).

Os dados foram comparados através de análise estatística, teste de Tukey a 95% de probabilidade, realizado em software Statistica, versão 7.



Figura 2. Corpos de Prova após processo de carbonização.
Fonte: O Autor (2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As primeiras análises das espécies foram para cálculo da massa específica aparente a 0% da madeira, massa e volume no mesmo teor de umidade, apresentadas na Tabela 1. Dentre as espécies avaliadas a maior massa específica foi encontrada para *Hovenia dulcis*, embora não distintas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Machado et al (2010) encontraram valores próximos ao calculados neste trabalho para madeira de *Eucalyptus grandis*, de 0,53 g/cm³. Para Napoli et al (2013) a massa específica da madeira de *Hovenia dulcis* de 0,58 g/cm³ encontrada pelos autores foi muito semelhante a que foi apresentada neste trabalho.

Segundo o experimento feito por Friederichs et al. (2015) a massa específica aparente de indivíduos adultos de *Mimosa scabrella* foi de 0,68 g/cm³, valor superior a encontrada neste trabalho de 0,53g/cm³, vários fatores podem afetar a variação da massa específica dentre uma mesma espécie, dentre eles os principais são idade e posição no tronco.

Tabela 1. Valores para massa específica da madeira e do carvão e teor de umidade da madeira.

Espécies	M. E. da madeira (g/cm³)	M. E. do carvão (g/cm³)	Umidade (%)
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,52a	0,28a	10,46
<i>Pinus sp.</i>	0,49a	0,31a	12,77
<i>Hovenia dulcis</i>	0,57a	0,31a	30,72
<i>Mimosa scabrella</i>	0,53a	0,28a	42,78

*Valores seguidos de mesma letra na vertical , não diferem entre si significativamente pelo teste de tukey (p<0,05).

Fonte: O autor (2016).

Assim como os valores da massa específica da madeira, os resultados para massa específica do carvão vegetal não apresentaram diferenças

significativas, apesar disso é importante citar que a maior variação de massa específica foi para a espécie *Mimosa scabrella*.

Os resultados de rendimento gravimétrico e rendimento em carvão apresentaram comportamentos diferentes. Para este trabalho foi considerado para o cálculo do rendimento gravimétrico o peso do carvão e da madeira a um teor de umidade de 0%. Porém, para o cálculo do rendimento em carvão, considerou-se a umidade em que se encontravam as amostras no momento do início da carbonização, demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de rendimento gravimétrico e rendimento do carvão.

Espécies	R.G. (%)	R.C. (%)
<i>Eucalyptus grandis</i>	27,87ab	25,32a
<i>Pinus sp.</i>	28,24ab	24,46a
<i>Hovenia dulcis</i>	25,54b	19,58b
<i>Mimosa scabrella</i>	29,29a	16,34c

*Valores seguidos de mesma letra na vertical, não diferem entre si significativamente pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Fonte: O autor (2016).

Pode-se observar que a *Mimosa scabrella* apresentou o melhor rendimento gravimétrico, porém apresentou o pior desempenho em relação a rendimento do carvão, isso deve-se a maior presença de umidade no início da carbonização e o *Eucalyptus grandis* apresentou menor teor de umidade com isso, um maior rendimento de carvão, apresentados na gráfico 1.

Klitzke (1998) encontrou valores de rendimento de carvão de *Mimosa scabrella* de 25,74% com madeira com 30% de umidade e temperatura final de 450°C, com uma taxa de aquecimento de 3°C/min, um rendimento superior ao encontrado neste trabalho, que foi de 16,34%, o menor rendimento entre as espécies estudadas, um dos fatores que contribuíram com esse resultado foi a diferente taxa de aquecimento, 1,5°C/min ou seja maior tempo de carbonização.

Ainda para Klitzke (1998) o rendimento de carvão esta diretamente correlacionado com a idade da árvore, pelo fato de árvores mais velhas

apresentarem maior teor de lignina, afirmando que o teor de lignina está diretamente relacionado com um maior do rendimento em carvão .

Brito e Barrichelo (1977) encontraram o valor de rendimento do carvão de *E. grandis* de 31,3% com uma taxa de aquecimento de 3,3°C/min, superior a encontrada neste trabalho, de 25,32%, possivelmente pelo mesmo motivo citado para a espécie *Mimosa scabrella*, a taxa de aquecimento menor, proporcionando uma carbonização mais lenta .

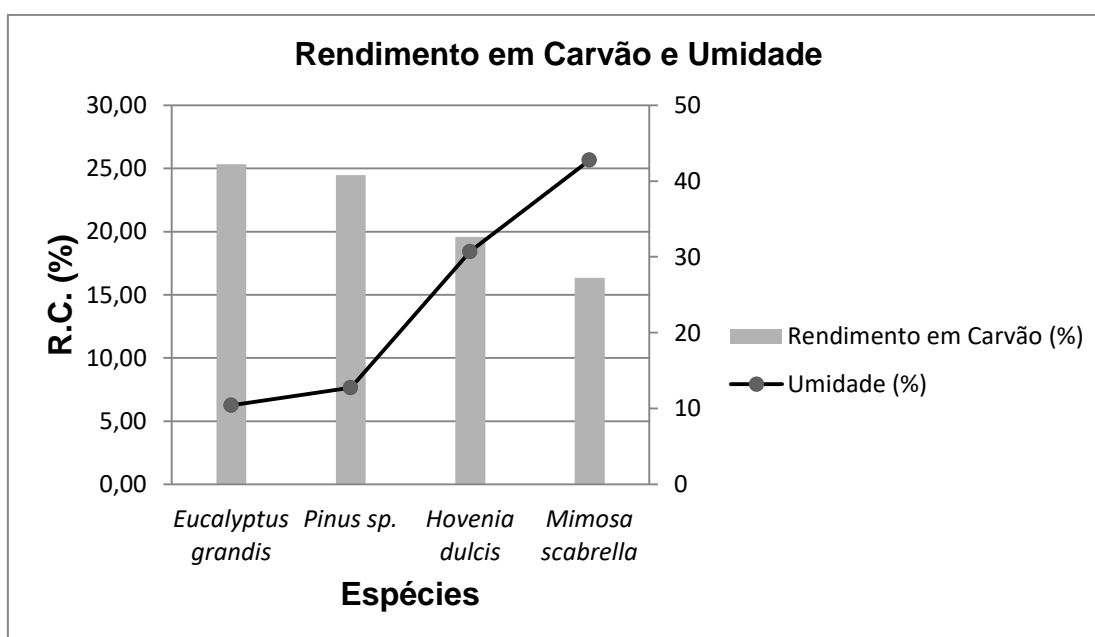


gráfico 1. Rendimento de Carvão e Umidade.

Fonte: O autor (2016).

Tabela 3. Valores da análise química imediata e poder calorífico superior.

Espécies	Teor de Cinzas (%)	Teor de Voláteis (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	PCS (Kcal/kg)
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,41a	12,74a	86,85a	8357
<i>Pinus sp.</i>	0,50a	14,19b	84,12b	8222
<i>Hovenia dulcis</i>	1,79b	15,38c	84,02b	7813
<i>Mimosa scabrella</i>	2,45c	16,79d	80,76c	7916

*Valores seguidos de mesma letra na vertical , não diferem entre si significativamente pelo teste de tukey (p<0,05).

Fonte: O autor (2016).

Os teores de cinzas de *E.grandis* e *Pinus* sp. não apresentaram diferença estatística e resultaram nas espécies com menor teor de cinzas dentre as estudadas, sendo a *Mimosa scabrella* com maior porcentagem de teor de cinzas.

Quanto a teor de carbono fixo todas as espécies atingiram um nível satisfatório, acima de 80%, sendo assim, com base nessa informação, podendo ser utilizadas para a indústria siderúrgica. De acordo com CENBIO (2008) o carvão desejável para indústria siderúrgica para a redução de minérios de ferro deve apresentar baixos teores de voláteis e cinzas e um valor mínimo de 80% de teor de carbono fixo. O *E. grandis* foi o que apresentou maior porcentagem de carbono fixo, *Pinus* sp e *H. dulcis* não se diferenciaram estatisticamente e apresentaram o segundo melhor resultado.

Para valores encontrados de poder calorífico o *E. grandis* apresentou o melhor resultado e a *H. dulcis* o mais baixo potencial energético, apresentados na Tabela 3.

Eucalipto e Pinus apresentaram um teor de cinzas considerados baixos e muito próximos, a Uva do Japão apresentou um alto teor de cinzas se comparado as outras espécies anteriormente citadas e a bracatinga foi a espécie que apresentou maior teor de cinzas, comprovado pelo teste estatístico.

Brito & Barrichelo (1977) encontraram um teor de cinzas no *Eucalyptus grandis* de 0,4%, próximos ao teor de cinzas médio de 0,41% apresentado neste trabalho. Klitzke (1998) apresenta resultados de 1,33 % de teor de cinzas para Bracatinga, inferiores a porcentagem de teor de cinzas aqui encontradas neste trabalho, 2,45%.

Segundo Morais et al (2005) a madeira de Pinus em geral apresenta um teor de cinzas de 0,5% , portanto semelhante a que foi encontrada neste trabalho .

Em relação a teor de voláteis todas as espécies estudadas diferenciaram-se estatisticamente.

Klitzke (1998) encontrou o valor de 23,93% para bracinga em uma taxa de aquecimento de 3°C/min e temperatura final de 450°C, um teor mais elevado do que encontrado neste trabalho que foi de 16,79%.

Brito e Barrichelo (1977) encontraram o valor de 22,5% de teor de voláteis para o carvão de Eucalipto, muito superior ao encontrado neste trabalho que foi 12,74%. França (2015) apresenta as condições de aquecimento, temperatura e tempo de carbonização, como sendo causa das propriedades do carvão vegetal. Desta forma, com condições diferentes as variações podem ser facilmente constatadas.

Brito & Barrichelo (1977) encontraram um valor de 77% de teor de carbono fixo no carvão de Eucalipto, menor que no encontrado neste trabalho, que foi de 86,85% , um dos motivos que explica a diferença de resultados obtidos é a taxa de carbonização . Uma carbonização mais lenta faz com que as características fiquem desejáveis como maior volatilização de matérias voláteis e de umidade , como foi realizado no presente trabalho esta diretamente correlacionada com teor de carbono fixo.

6.CONCLUSÃO

Das quatro espécies florestais avaliadas, o *E. grandis* foi o que apresentou os resultados mais satisfatórios. O rendimento do carvão vegetal de todas as espécies analisadas apresentaram estar proporcionalmente correlacionados ao teor de umidade da madeira, quanto maior o teor de umidade da madeira menor o rendimento de carvão.

O poder calorífico do *E. grandis* foi superior as demais espécies, seguido por *Pinus sp.*, *Mimosa scabrella* e a *Hovenia dulcis*.

Para os valores de rendimento gravimétrico a *M. scabrella* apresentou maior rendimento, *E. grandis* e *Pinus sp.* não diferenciaram-se estatisticamente e a *H. dulcis* apresentou o menor rendimento gravimétrico.

Levando em consideração o uso do carvão para a indústria siderúrgica o melhor carvão estudado foi o de *Eucalyptus grandis* o qual apresentou maior teor de carbono fixo, menor teor de cinzas e voláteis e maior poder calorífico que são quesitos desejáveis para a indústria siderúrgica.

A segunda espécie com mais quesitos positivos foi de *Pinus sp* e a espécie que apresentou os piores resultados foi *Mimosa scabrella*, única espécie nativa do experimento, apresentou maior teor de cinzas e voláteis e menor teor de carbono fixo.

7.REFERÊNCIAS

ANGELI 2003 Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) **Identificação de Espécies Florestais** Disponível em : <http://www.ipef.br/identificacao/mimosa.scabrella.asp> acessado em 05/10/2016.

BRITO, J. O.; BARRICHELO L. E.G Considerações Sobre A Produção De Carvão Vegetal Com Madeiras Da Amazônia. **IPEF SÉRIE TÉCNICA**, Piracicaba (SP) v.2 n.05 p.1-25 1981.

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

CARVALHO P. E. R. ECOLOGIA, SILVICULTURA E USOS DA UVA-DOJAPÃO (*Hovenia dulcis* THUNBERG) **CIRCULAR TÉCNICA, N° 23** EMBRAPA-FLORESTAS, 1994 Colombo (PR).

CENBIO –Centro Nacional de Referência em Biomassa. Carvão Vegetal: Aspectos técnicos, sociais, ambientais e econômicos. **Nota Técnica X. 48** p. IEE/SP. Dezembro. 2008

COUTO H. T. Z. **MANEJO DE FLORESTAS E SUA UTILIZAÇÃO EM SERRARIA** in SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA 1995 . São Paulo –SP IPT –IPEF 1995 p. 20-30.

COUTINHO, A. R. ; FERRAZ E. S. B. Determinação da Friabilidade do Carvão Vegetal em Função do Diâmetro das Árvores e Temperatura de Carbonização **IPEF SÉRIE TÉCNICA** , Piracicaba (SP) IPEF, n.38, p.33-37, abr.1988

DUBOC, E.; COSTA, J. C.; VELOSO, R. F.; OLIVEIRA, L. S.; PALUDO, A. Panorama Atual da Produção de Carvão Vegetal No Brasil e no Cerrado. 2008. Brasília-DF . in IX Simposio Nacional do Cerrado ,Anais ... Embrapa Cerrado , Planaltina- DF 2008 .

Friederichs G.; Brand M. A.; Carvalho A. F.; Küster L. C. Qualidade da madeira e do carvão vegetal de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) . **Brazilian Journal of Wood Science**. v6 n2 p79-87 2015.

LIMA, R. **Crescimento de Pinus taeda L. em diferentes espaçamentos**. 2010. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)–Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, 2010.

KLITZKE R. J. **AVALIAÇÃO DO CARVÃO DA BRACATINGA (Mimosa scabrella Bentham) EM FUNÇÃO DA IDADE, DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA E DA TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO** 1998. 138f Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba ,1998

Machado, A. D. P. ; Urbanetto, G. L. ; Baggio P. M.; Rosso, S. Avaliação da Propriedade Física - Massa Específica da Madeira de Eucalyptus grandis. **ANAIS**. Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão v. 2, n. 1 (2010).

Morais S. A. L.; Nascimento E. A. ; Melo D. C.; **ANÁLISE DA MADEIRA DE Pinus oocarpa PARTE I – ESTUDO DOS CONSTITUINTES MACROMOLECULARES E EXTRATIVOS VOLÁTEIS. Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.3, p.461-470, 2005

Napoli et al (2013) **PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA E DE PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM MISTURAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS, FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 43, n. 3, p. 475 -484, jul. / set. 2013.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT **Sistema de Informações de Madeiras Brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989b. 291p. (Relatório No 27 078).

INSTITUTO HÓRUS – Projeto do **PARQUE MUNICIPAL DO TANGUÁ - CURITIBA, PR** , controle de exóticas 2016, Curitiba (PR) Disponível em : http://www.institutohorus.org.br/index.php?modulo=pr_controle_curitiba acessado em :05/10/2016 .

IPEF 2015 Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais – **Chave de Identificação de Espécies Florestais** Disponível em : <http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/grandis.asp> acessado em :04/10/2016.

IPT 1997 Instituto de pesquisas tecnológicas - **INFORMAÇÕES SOBRE MADEIRA** Disponível em : http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=13 acessado em :24/09/2016

ISBAEX C. **Influência da densidade do carvão vegetal na produção de silício metálico** ,2014, 114f Dissertação Universidade Federal de Viçosa,

como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Viçosa – MG 2014.

MEDRADO, M. J. S. Cultivo do Pinus. Disponível em: <<http://www.triunfoflorestal.com.br/pdf/pinnus.pdf> >. Acesso em: 04/10/2016 .

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell, **Scientia. Forestalis.**, Piracicaba (SP) , v. 38, n. 87, p. 431-439, set. 2010

PONCE, R. H. **-MADEIRA SERRADA DE EUCALIPTO: DESAFIOS E PERSPECTIVAS** in SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA 1995 . São Paulo –SP IPT – IPEF 1995 p. 50-59

ROCHA M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como Fontes de Matéria Prima para Serrarias.** 186 f. 2000 Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Pós Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2000.

SILVA, M. G.; NUMAZAWA, S. ; ARAUJO, M. M.; NAGAISHI, T. Y. R.; GALVÃO, G. R. Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. **ACTA AMAZONICA** ,Manaus-AM VOL. 37(1) pagina : 61 – 70 ,2007.

SOUZA , Natalia Dias ; AMODEI, Juliana Bernardo; XAVIER Carolina Nogueira ;CARVALHO Alexandre Monteiro . Estudo de Caso de uma Planta de Carbonização: Avaliação de Características e Qualidade do Carvão Vegetal Visando Uso Siderúrgico . **Floresta e Ambiente**; Piracicaba Brasil. v23 n(2) p.270-277,2016.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE 2008 ,. Disponível em: https://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/Volume_1/pinus/taeda.htm . Acesso em:05/10/2016.

VIDAURRE Graziela. ; VITAL Benedito Rocha ; SILVA José Castro ;OLIVEIRA José Tarcísio da Silva.; MADEIRA SERRADA DE EUCALIPTO , **REVISTA DA MADEIRA** edição 102 2007. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1042&subject=Eucalipto&title=Madeira%20serrada%20de%20eucalipto Acessado em :26/09/2016