

ADRIEL FURTADO DE CARVALHO

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL
PRODUZIDO A PARTIR DE CINCO ESPÉCIES FLORESTAIS
UTILIZADAS NA REGIÃO DE BIGUAÇU, SC.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Martha Andreia Brand

Co-orientadoras: Prof. ^a Dr.^a Polliana Rios

Prof.^a Dr.^a Silvana Nisgoski

LAGES, SC

2013

C331c Carvalho, Adriel Furtado de
Caracterização da madeira e do carvão vegetal
produzido a partir de cinco espécies florestais
utilizadas na região de Biguaçu, SC / Adriel
Furtado de Carvalho. - Lages, 2013.
142 p. : il. ; 21 cm

Orientadora: Martha Andreia Brand
Coorientadora: Poliana Rios
Coorientadora: Silvana Nisgoski
Bibliografia: p. 135-139
Dissertação (mestrado) - Universidade do
Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2013.

1. Propriedade familiar. 2. Coivara.
3. Pirólise. 4. Floresta Ombrófila Densa. 5. Carvão para uso doméstico. I. Carvalho, Adriel Furtado de. II. Brand, Martha Andreia.
- III. Universidade do Estado de Santa Catarina.
- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
- IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do
CAV/UDESC

ADRIEL FURTADO DE CARVALHO

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DE CINCO ESPÉCIES FLORESTAIS UTILIZADAS NA REGIÃO DE BIGUAÇU, SC.

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca Examinadora:

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Martha Andreia Brand
Universidade do Estado de Santa Catarina
Centro de Ciências Agroveterinárias

Membros:

Prof.^a Dr.^a Silvana Nisgoski
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias

Prof. Dr. Alfredo Celso Fantini
Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Agrárias

Lages, 20 de novembro de 2013

Dedico à minha mãe Alba Furtado (*In memorian*), pelos conselhos e ensinamentos; ao meu pai Neri Carvalho, pelo estímulo; aos meus irmãos Aurélio, Carla, Andréia e Adriana, pelo companheirismo; aos meus sobrinhos Gregory, Andrey, Kauana e Bruno, pelo carinho e alegria. À minha esposa Danielle Purkot, pelo seu amor, compreensão e paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que esteve comigo em todos os momentos nesta caminhada. Porque D'Ele por Ele, para Ele são todas as coisas.

A minha amada esposa Danielle, meu alicerce, por estar sempre comprometida comigo nesta luta, e nunca me deixou desanimar.

Aos meus pais, minha mãe Alba Furtado (*in memoriam*), pelos conselhos e ensinamentos deixados, aos quais seguiremos sempre; ao meu pai, Neri Carvalho, pela educação e por sempre estar disposto a ajudar.

Meus irmãos Aurélio, Carla, Adriana e Andréia pelo incentivo constante e aos meus queridos e amados sobrinhos Gregory, Andrey, Kauana e Bruno.

À minha sogra Mara e avó Zila, por colaborarem comigo sempre que precisei sem medir esforços; só Deus sabe da gratidão que tenho por elas.

À minha orientadora, Dr^a Martha Andreia Brand, sempre disposta a auxiliar nas dúvidas, sugestões e correções no decorrer desta pesquisa.

Aos co-orientadores, Dr^a Polliana Rios e Dr^a Silvana Nisgoski, pela valiosa amizade e conhecimento repassados.

À Universidade do Estado de Santa Catarina, que possibilitou através do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, meu treinamento e desenvolvimento deste trabalho.

À coordenação do curso do Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina, através de seu coordenador professor Dr^o. Pedro Higuchi que deu a oportunidade e incentivo para a conclusão do curso de mestrado.

À Universidade Federal do Paraná, na pessoa da Dr^a Silvana Nisgoski, pelo desenvolvimento de algumas análises no Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira.

Ao Projeto Rede Sul Florestal na pessoa do pesquisador da EPAGRI, Dr. Tássio Dresch Rech, que proporcionou meios, subsídios e recursos através do CNPq e FAPESC, para a concretização desta pesquisa.

Aos bolsistas da graduação em Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina; Larissa Kuster, Gustavo

Friederichs, Franchesco de Marco e Dennys Brehmer, pelas incansáveis saídas a campo e horas de análises em laboratório, o meu muito obrigado.

As colegas da empresa Solumad: Sabrina, Elaine, Juliana e Gisele, pelo grande apoio no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos demais colegas que por ventura não estão aqui citados, pelo incentivo e amizade.

E finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito deste trabalho.

“Porque Dele e por Ele, e para Ele,
são todas as coisas; glória, pois, a
Ele eternamente.”

Paulo, aos Romanos

RESUMO

A Agricultura Familiar no Estado de Santa Catarina corresponde a 87% dos estabelecimentos agropecuários. Este elevado percentual mostra a relevância da atividade no Estado. No município de Biguaçu, SC, onde a Agricultura Familiar se faz presente de forma marcante e efetiva, os agricultores utilizam os recursos energéticos oriundos das formações secundárias da Floresta Ombrófila Densa, através do sistema “roça-de-toco”. A produção de carvão vegetal torna-se ferramenta de grande importância socioeconômica para as famílias inseridas nestas áreas. Desta forma, trabalhos que caracterizem e avaliem a qualidade do carvão produzido a partir das principais espécies utilizadas para a produção de carvão vegetal na agricultura familiar são de suma importância, pois permitirão aos agricultores melhorar o processo produtivo e agregar valor e qualidade ao produto. Portanto o objetivo deste trabalho foi determinar a qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido por cinco espécies florestais utilizadas pelos agricultores familiares do município de Biguaçu, SC. Para a determinação da qualidade da madeira, coletaram-se cinco árvores de cada espécie. A partir das mesmas foram serrados nove discos de cada uma, destinados às análises das propriedades físicas, análises das propriedades energéticas e carbonização em laboratório. O procedimento de carbonização utilizou três árvores das cinco espécies estudadas, onde consistiu na confecção de em média sete corpos de prova para cada árvore, variando conforme o diâmetro da árvore, com dimensões aproximadas de 2 x 2 x 2,5 cm. Posteriormente, os corpos de prova foram envolvidos com papel alumínio, identificados, e colocados em forno mufla com temperatura final de 450°C. Após a carbonização foram determinadas as propriedades físicas, energéticas e anatômicas do carvão. Os resultados revelaram através da análise global das propriedades físicas e energéticas da madeira, que a *Mimosa scabrella* ($MEB = 0,578 \text{ g/cm}^3$ e $PCS = 4.400 \text{ Kcal/Kg}$), *Hieronyma alchorneoides* ($MEB = 0,530 \text{ g/cm}^3$ e $PCS = 4.346 \text{ Kcal/Kg}$), *Miconia cinnamomifolia* ($MEB = 0,561 \text{ g/cm}^3$ e $PCS = 4.268 \text{ Kcal/Kg}$) e *Pera glabrata* ($MEB = 0,639 \text{ Kcal/Kg}$ e $PCS = 4.311 \text{ Kcal/Kg}$) terão melhor desempenho para a produção de carvão. Existiu forte correlação entre massa específica básica da madeira e massa específica aparente do carvão; destacando-se a *M. scabrella*, *H. alchorneoides*, *M. cinnamomifolia* e *P. glabrata*. Em termos gerais o carvão produzido

pelos agricultores apresentou melhores características energéticas (PCS = 7.215 Kcal/Kg; TV = 26,66 %; TC = 2,56 % e CF = 71,04 %). A análise anatômica do carvão indicou que a estrutura anatômica da madeira se mantém durante o processo de carbonização utilizado, com temperatura final de 450°C, podendo-se identificar o material com base nas células componentes.

Palavras-chave: Propriedade familiar. Coivara. Pirólise. Floresta Ombrófila Densa. Carvão para uso doméstico.

ABSTRACT

The Family Agriculture in the State of Santa Catarina corresponds to 87% of agricultural establishments. This high percentage shows the relevance of the activity in the State. In the municipality of Biguaçu , SC , where family farming is present in a striking and effective way, farmers use the derived energy resources of the secondary formations of the Ombrophilous Dense Forest, through the system " roça-de-toco". The production of charcoal becomes tool of great socio-economic importance for families in these areas. Thus, studies that characterize and evaluate the quality of coal produced from the main species used for charcoal production on family farms are of paramount importance as it will allow farmers to improve production process and add value and quality to the product. Therefore the aim of this study was to determine the quality of wood and charcoal produced by five forest species used by farmers in the municipality of Biguaçu, SC. To determine the quality of wood, five trees were collected from each species. From the same nine disks each, for the analysis of physical properties,analysis of the energetic properties and charring in the laboratory. For carbonization procedure used three of the five tree species studied, which consisted of making an average of seven specimens for each tree, varying according to the diameter of the tree, with approximate dimensions of 2 x 2 x 2.5 cm. Subsequently, the specimens were wrapped in aluminum paper identified, and placed in a muffle furnace with a final temperature of 450 ° C. After carbonization were certain the physical, energetic and anatomical properties of the coal. The results revealed by global analysis of the physical and energetic properties of the wood, the *Mimosa scabrella* (MEB = 0.578 g/cm³ and PCS = 4,400 Kcal/Kg), *Hieronyma alchorneoides* (MEB = 0.530 g/cm³ and PCS = 4,346 Kcal/Kg), *Miconia cinnamomifolia* (MEB = 0.561 g/cm³ and PCS = 4,268 Kcal/Kg) and *Pera glabrata* (MEB = 0,639 g/cm³ and PCS = 4,311 Kcal/Kg) will perform better for the production of coal. There was strong correlation between basic density of wood and apparent density of coal; highlighting the *M. scabrella*, *H. alchorneoides*, *M. cinnamomifolia* and *P. glabrata*. In general the coal produced by farmers showed better energy characteristics (PCS = 7.215 Kcal/Kg; TV = 26,66 %; TC = 2,56 % e CF = 71,04 %). Anatomical analysis of coal indicated that the anatomical structure of the wood is maintained during the carbonization process used, with a final temperature of 450 °C, allowing the identification of the material on the basis of cell components.

Keywords: Family owned. Coivara. Pyrolysis.Ombrophilous Dense Forest. Coal for domestic us.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Mapa do Município de Biguaçu no Estado de Santa Catarina.</i>	45
<i>Figura 2 – Calorímetro C 2000 basic.</i>	49
<i>Figura 3 - TGA.</i>	49
<i>Figura 4 – Degradação térmica dos componentes químicos da parede celular da madeira em função da temperatura.</i>	79
<i>Figura 5 - Fotomicrografias do lenho de Mimosa scabrella</i>	110
<i>Figura 6 – M. cinnamomifolia</i>	112
<i>Figuras 7 – M. cinnamomifolia</i>	113
<i>Figura 8 – H. alchorneoides</i>	114
<i>Figura 9 – Anatômica da madeira da Cecropia glaziovii</i>	115
<i>Figura 10 – Pera glabrata</i>	115
<i>Figura 11- Aspectos anatômicos do carvão de M. scabrella</i>	125
<i>Figura 12 - Aspectos anatômicos do carvão de C. glaziovii</i>	126
<i>Figuras 13 - Aspectos anatômicos do carvão de M. cinnamomifolia</i> ..	127
<i>Figuras 14 - Aspectos anatômicos do carvão de H. alchorneoides</i> ...	128
<i>Figuras 15 - Aspectos anatômicos do carvão de P. glabrata</i>	129

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Local de coleta das árvores de cada espécie.</i>	46
<i>Tabela 2 - Propriedades físicas da madeira das espécies utilizadas para a produção de carvão vegetal em Biguaçu, SC.</i>	51
<i>Tabela 3 - Comparaçao das médias entre espécies da análise física da madeira.....</i>	52
<i>Tabela 4 – Correlações entre TU x MEB da madeira de <i>M. scabrella</i>.</i>	55
<i>Tabela 5 – Correlações entre TU x MEB da madeira de <i>C. glaziovii</i> ..</i>	55
<i>Tabela 6 – Correlações entre TU x MEB da madeira de <i>M. cinnamomifolia</i>.....</i>	55
<i>Tabela 7 – Correlações entre TU x MEB da madeira <i>H. alchorneoides</i>.</i>	56
<i>Tabela 8 – Correlações entre TU x MEB da madeira de <i>P. glabrata</i>... </i>	56
<i>Tabela 9 - Análise energética de cinco espécies florestais usadas para produção de carvão vegetal em Biguaçu, SC.....</i>	58
<i>Tabela 10 - Comparaçao das médias da análise energética entre 5 espécies destinadas a produção de carvão em Biguaçu, SC.</i>	59
<i>Tabela 11 - Parâmetros utilizados para carbonização da madeira das espécies usadas para a produção de carvão vegetal em Biguaçu, SC.....</i>	81
<i>Tabela 12 - Propriedades físicas da madeira e do carvão obtidos na carbonização das espécies.</i>	85
<i>Tabela 13 - Propriedades físicas da madeira e do carvão das cinco espécies estudadas.....</i>	86
<i>Tabela 14 – Correlações para <i>M. scabrella</i></i>	89
<i>Tabela 15 – Correlações para <i>C. glaziovii</i>.</i>	89
<i>Tabela 16 – Correlações para a <i>M. cinnamomifolia</i>.</i>	90
<i>Tabela17 – Correlações para a <i>H. alchorneoides</i>.</i>	90
<i>Tabela18 – Correlações para a <i>P. glabrata</i>.</i>	91
<i>Tabela 19 – Correlações para <i>M. cinnamomifolia</i></i>	92
<i>Tabela 20 – Correlações para <i>P. glabrata</i>.</i>	93
<i>Tabela 21 – Correlações para <i>C. glaziovii</i>.....</i>	93
<i>Tabela 22 – Correlações para <i>M. cinnamomifolia</i></i>	94
<i>Tabela 23 – Correlações para <i>H. alchorneoides</i>.</i>	94
<i>Tabela 24 – Correlações para <i>P. glabrata</i></i>	94
<i>Tabela 25 - Análise energética e imediata do carvão vegetal de amostras carbonizadas a partir das 5 espécies presentes nas áreas de estudo.....</i>	121

<i>Tabela 26 - Comparação das médias da análise energética e imediata de cinco espécies florestais com carvão produzido nos fornos de alvenaria em Biguaçu, SC.....</i>	122
<i>Tabela 27 - Dimensões celulares no carvão.</i>	130

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
APG	<i>Angiosperm Phylogeny Group</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CF	Teor de Carbono Fixo
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional Do Meio Ambiente
D	Densidade
DIN	<i>Deutsches Institut Für Normung</i>
DOF	Documento de Origem Florestal
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food And Agriculture Organization Of The United Nations</i>
FAPESC	Fundação de Amparo a Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina
FATMA	Fundação do Meio Ambiente
GCA	Guia de Controle Ambiental
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMbio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDAF	Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IFFSC	Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina
INFOENER	Sistema de Informações Energéticas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
MAPA	Ministério da Agricultura, Pesca e Abastecimento
MEB	Massa Específica Básica
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
NBR	Norma Brasileira
P	Peso

PCS	Poder Calorífico Superior
RG	Rendimento Gravimétrico
RSF	Rede Sul Florestal
RV	Rendimento Volumétrico
SAA	Selo Ambiental Autorizado
SNIF	Sistema Nacional de Informações Florestais
TC	Teor de Cinzas
TGA	<i>Thermogravimetric Analyzer</i>
TU	Teor de Umidade
TV	Teor de Voláteis
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFPR	Universidade Federal do Paraná
V	Volume

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
μm	Micrômetro
g	Gramas
g/cm^3	Gramas por centímetro cúbico
Kcal/Kg	Kilocalorias por kilograma
mm	Milímetros
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
Kg	Kilograma
cm^3	Centímetro cúbico
min	Minutos
h	Hora
mm^2	Milímetros quadrado

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
PROPRIEDADES FÍSICAS E ENERGÉTICAS DA MADEIRA E A RELAÇÃO COM SEU USO PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL.....	39
1 INTRODUÇÃO	39
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	41
2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA E SUA RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL....	41
2.1.1 <i>Teor de Umidade (TU)</i>	41
2.1.2 <i>Massa Específica Básica (MEB)</i>	42
2.2 PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA E SUA RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL....	43
2.2.1 <i>Poder Calorífico Superior (PCS)</i>	43
2.2.2 <i>Teor de Voláteis (TV)</i>	43
2.2.3 <i>Teor de Cinzas (TC)</i>	43
2.2.4 <i>Teor de Carbono Fixo (CF)</i>	44
3 MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA	47
3.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA	47
3.3 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR	48
3.4 ANÁLISE IMEDIATA (TEOR DE VOLÁTEIS, TEOR DE CINZAS E TEOR DE CARBONO FIXO)	49
3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	51

<i>4.1.1 Teor de Umidade na Base Úmida (TU).....</i>	52
<i>4.1.2 Massa Específica Básica (MEB)</i>	56
4.2 PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA.....	58
<i>4.2.1 Poder Calorífico Superior (PCS)</i>	59
<i>4.2.2 Teor de Voláteis (TV).....</i>	60
<i>4.2.1 Teor de Cinzas (TC)</i>	61
<i>4.2.3 Teor de Carbono Fixo (CF).....</i>	61
5 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA EM LABORATÓRIO E ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CARVÃO PRODUZIDO POR CINCO ESPÉCIES FLORESTAIS UTILIZADAS NO MUNICÍPIO DE BIGUAÇU, SC	71
1 INTRODUÇÃO	71
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	75
3 MATERIAL E MÉTODOS	81
<i>3.1 CARBONIZAÇÃO.....</i>	81
<i>3.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA</i>	81
<i>3.3 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA</i>	82
<i>3.4 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO CARVÃO</i>	82
<i>3.5 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO</i>	82
<i>3.6 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO DO CARVÃO.....</i>	83
<i>3.7 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO VOLUMÉTRICO DO CARVÃO.....</i>	83
<i>3.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</i>	84

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	85
4.1 TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA	87
4.2 DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA.....	87
4.3 TEOR DE UMIDADE DO CARVÃO.....	87
4.4 DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO	88
4.5 RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO DO CARVÃO	92
4.6 RENDIMENTO VOLUMÉTRICO DO CARVÃO.....	95
5 CONCLUSÕES	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
PROPRIEDADES ENERGÉTICAS E ANATÔMICAS DO CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DE CINCO ESPÉCIES FLORESTAIS UTILIZADAS EM BIGUAÇU, SC	105
1 INTRODUÇÃO	105
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	107
2.1 SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL	107
3 MATERIAL E MÉTODOS	119
3.1 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR	119
3.2 DETERMINAÇÃO DA ANÁLISE IMEDIATA	119
3.3 ANÁLISE ANATÔMICA DO CARVÃO.....	120
3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	120
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	121
4.1 ANÁLISE ENERGÉTICA DO CARVÃO	121
4.1.1 <i>Poder Calorífico Superior (PCS)</i>	122
4.1.2 <i>Teor de Voláteis (TV)</i>	123
4.1.3 <i>Teor de Cinzas (TC)</i>	124
4.1.4 <i>Teor de Carbono Fixo (CF)</i>	124
4.2 ANÁLISE ANATÔMICA DO CARVÃO.....	125

4.2.1 <i>Mimosa scabrella</i> (<i>Bracatinga</i>).....	125
4.2.2 <i>Cecropia glaziovii</i> (<i>Embaúba</i>).....	126
4.2.3 <i>Miconia cinnamomifolia</i> (<i>Jacatirão Açu</i>).....	127
4.2.4 <i>Hieronyma alchorneoides</i> (<i>Licurana</i>)	128
4.2.5 <i>Pera glabrata</i> (<i>Seca Ligeiro</i>).....	129
5 CONCLUSÕES.....	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	141

INTRODUÇÃO GERAL

Dados do censo de 2006 indicam que a Agricultura Familiar¹ no Estado de Santa Catarina (SC) corresponde a 87% dos estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2006). Este elevado percentual de participação mostra a relevância da atividade no estado.

Os agricultores familiares do município de Biguaçu, SC, utilizam como complementação de renda, os recursos energéticos oriundos das formações secundárias da Floresta Ombrófila Densa (Floresta Pluvial Tropical), ecossistema associado ao Bioma Mata Atlântica.

Este ecossistema também é caracterizado pela ocorrência de formações florestais, como floresta ombrófila mista e aberta, floresta estacional semidecidual e estacional decidual, manguezais, restingas e campos de altitude associados a brejos interioranos no Nordeste e as florestas com Araucária (Ombrófila Mista) nos planaltos da região Sul, situados a oeste da Serra do Mar (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS, 2012). Eles não são produtores de carvão vegetal propriamente dito, mas veem na Floresta uma forma de gerar recursos para manutenção e permanência de suas famílias na zona rural.

Trabalhos desenvolvidos por Uller-Gómez e Gartner (2008) e Fantini *et al.* (2010), identificaram que o manejo tradicional da terra realizado nestas comunidades, consiste em derrubar a floresta, queimar os restos de vegetação existentes e ocupar a área por 3 a 4 anos para o plantio de mandioca. Após a colheita, a área é deixada em pousio por um período de 10 a 15 anos para que a floresta se regenere naturalmente. Este manejo em questão é conhecido como roça-de-toco ou coivara, podendo ser um sistema auto-sustentável de uso da terra (OLIVEIRA, 1994; SIMINSKI; FANTINI 2007). Esta tradição é milenar nas populações indígenas do litoral brasileiro (ADAMS, 2000; OLIVEIRA, 2002).

¹ A Lei da Agricultura Familiar (Lei nº 11.326 de 2006) define como agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo, simultaneamente, aos requisitos: I - não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 módulos fiscais; II – utilize predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento; III - tenha renda familiar predominantemente originada de atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento; IV - dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família.

A madeira retirada destas áreas, oriunda do sistema roça-de-toco, é a matéria prima que abastece os fornos de alvenaria, para a produção de carvão vegetal destinado ao uso doméstico.

Porém, nas últimas décadas, devido à aplicação da legislação ambiental, este sistema de manejo bem como o uso das espécies florestais do Bioma Mata Atlântica, tem sofrido restrições, gerando vários conflitos (ZUCHIWSCHI *et al.*, 2010).

Apesar de dados do IBGE (2011) considerarem como nula esta atividade na região, estudos ainda mostram que a produção de carvão vegetal é a principal fonte de renda para 30 % das famílias inseridas nas áreas de estudo do município de Biguaçu (ULLER-GÓMEZ; GARTNER, 2008).

Os estudos relacionados à caracterização da madeira e do carvão vegetal produzido pelas mesmas nas propriedades familiares do município de Biguaçu, SC, ainda são recentes e estão em fase de desenvolvimento (BRAND *et al.*, 2013). Os trabalhos mais alicerçados até agora, abordam mais diretamente o uso da terra e as questões sócio-econômicas que giram em torno da produção de carvão nas comunidades rurais da microrregião da Grande Florianópolis (SCHNEIDER, 2003; SIMINSKI, 2004; SIMINSKI; FANTINI, 2004; ULLER-GÓMEZ, 2006; SIMINSKI; FANTINI, 2007; ULLER-GÓMEZ; GARTNER, 2008; ULLER-GÓMEZ *et al.*, 2009; RECH *et al.*, 2010; BAUER, 2012) e estão servindo de suporte para os demais estudos que visam a caracterização das espécies florestais envolvidas no processo de carvoejamento.

Segundo Souza (2010), os agricultores familiares da região de Biguaçu S. C., classificam o material utilizado para a produção de carvão vegetal entre madeiras moles e duras. Esta classificação está relacionada empiricamente ao tempo de duração em que o carvão queima, ou seja, a madeira pesada produz um carvão com maior peso implicando em um maior tempo de duração na queima; em contrapartida madeiras moles produzem um carvão mais leve, diminuindo o tempo de permanência da queima. Esta classificação é de suma importância, pois vai determinar a qualidade do carvão, segundo os agricultores.

Conforme Bauer (2012) o carvão vegetal produzido nas áreas de estudo, é proveniente da madeira de espécies florestais oriundas de ao menos seis diferentes fontes: Somente Floresta Nativa; Floresta Nativa e Bracatinga; Floresta Nativa, Bracatinga e Eucalipto; Floresta Nativa e Eucalipto; somente Eucalipto e somente Bracatinga. Das 35

famílias entrevistadas na microbacia de São Mateus, a qual também faz parte da região de estudo na presente dissertação, 30 (86%) realizam a atividade carvoeira em suas propriedades para geração de renda. Grande parte destas famílias usa a mata nativa (33% dos agricultores entrevistados) para retirar a matéria prima para a produção de carvão, através do manejo de corte e queima; somente dois agricultores entrevistados (7%) utilizam exclusivamente madeira proveniente de reflorestamento (*Eucalyptus* sp.).

Em um estudo sobre a abundância de espécies e famílias em quatro classes diferentes de pousio em áreas de bracatingais, De Luca (2011) observou que na classe de pousio 0 a 5 anos, as famílias em ordem de maior abundância foram: Fabaceae, Asteraceae, Urticaceae e Euphorbiaceae. Na classe de pousio de 5 a 10 anos: Fabaceae, Urticaceae, Euphorbiaceae, Asteraceae, Myrsinaceae, Melastomataceae, Meliaceae, Annonaceae e Sapindaceae. Já nas áreas de classe 10 a 15 anos: Fabaceae, Bignoniaceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae, Aquifoliaceae, Asteraceae, Myrsinaceae, Urticaceae, Meliaceae, Rubiaceae, Arecaceae, Myrtaceae, Sapindaceae, Annonaceae e Cyatheaceae. E por fim a classe de 15 a 20 anos: Fabaceae, Melastomataceae, Euphorbiaceae, Asteraceae, Bignoneaceae, Urticaceae, Myrsinaceae, Cyatheaceae, Myrtaceae, Arecaceae, Meliaceae, Sapindaceae, Aquifoliaceae, Annoneaceae e Rubiaceae.

De Luca (2011) também identificou, em áreas de bracatingais, a existência de 28 espécies diferentes nestas áreas com 4 classes diferentes de pousio. São elas: *Mimosa scabrella* Benth, *Vernonia discolor* (Spreng.) Less., *Cecropia glaziovii* Snethlage, *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Hieronima alchorneoides* Fr. Allem., *Alchornea triplinervia* (Spreng.) Müell. Arg., *Baccharis* spp, *Myrsine coriacea* (Swartz) R. Brown ex Roemer &Schultz, *Bathysa australis* (St. Hill.) Hook., *Miconia cinnamomifolia* (DC) Naudin, *Miconia cabucu* Hoehme, *Cabralea canjerana* (Vell) Mart., *Annona glabra* L., *Matayba guianensis* Aub, *Miconia cinerascens* Miq., *Jacaranda puberula* Cham, *Ilex theezans* Mart. ex Reissek, *Bathysa australis* (St. Hill.) Hook., *Euterpe edulis* Mart., *Psidium cattleyanum* Sabine, *Astrocaryum* spp, *Inga sessilis* (Vell.) Mart., *Duguetia lanceolata* St. Hil., *Cyathea* spp, *Myrcia splendens* (Sw.) DC., *Posoqueria latifolia* (Rudge) Roem. & Schult., *Cedrela* spp e *Mimosa bimucronata* De Candolle Otto.

Em função do carvão vegetal produzido pelos agricultores ser formado por esta grande variabilidade de espécies principalmente da

floresta nativa, buscou-se neste trabalho quais seriam as mais importantes ou as mais utilizadas para este fim energético. Procurou-se a partir de entrevistas com os agricultores, quais madeiras eram mais usadas para a produção de carvão vegetal, como eram identificadas por seus respectivos nomes comuns, qual a qualidade da madeira para a produção de carvão e qual a qualidade do carvão produzido por estas espécies.

Conforme as informações obtidas junto aos agricultores, a *C. glaziovii* (Embaúba) aparece entre as madeiras moles mais citadas por eles para a produção de carvão vegetal, enquanto a *M. scabrella* (Bracatinga), *H. alchorneoides* (Licurana) e a *M. cinnamomifolia* (Jacatirão) são as três espécies consideradas madeiras duras mais citadas para a produção de carvão vegetal. Para muitos agricultores a *M. scabrella* (Bracatinga) é a madeira que produz carvão vegetal de melhor qualidade. A *P. glabrata* (Seca Ligeiro) é a espécie mais citada entre as madeiras com estado intermediário entre mole e dura.

Em entrevistas realizadas com agricultores da microbacia de São Mateus, município de Biguaçu, Souza (2010) também identificou as madeiras de: *M. cinnamomifolia* (jacatirão), *H. alchorneoides* (licurana) e a *M. scabrella* (bracatinga), como as madeiras duras mais citadas pelos agricultores utilizadas na produção de carvão; bem como a *C. glaziovii* (embaúva ou embaúba) dentre as madeiras moles mais citadas para este fim.

Outro parâmetro importante para a escolha de espécies a serem estudadas foram os dados preliminares de um inventário realizado pela Rede Sul Florestal (RSF) em algumas unidades amostrais na região, o qual identificou as espécies de maior riqueza nas parcelas de bracatinga (áreas suprimidas) no município de Biguaçu. Estes dados mostram a *M. scabrella*, a *H. alchorneoides*, a *C. glaziovii*, a *P. glabrata*, *M. coriacea* e a *M. cinnamomifolia*, são as seis espécies de maior riqueza nas parcelas de bracatinga (áreas suprimidas) levantadas pela rede. Logo após o inventário a madeira seria retirada e destinada à produção de carvão.

De Luca (2011) em seu estudo realizado nas comunidades de São Mateus, São Marcos, Canudos e Fazenda de Dentro, observou que a *M. scabrella* aparece como a principal espécie em abundância nas 4 classes de pousio com 93,9% (0 a 5 anos de pousio); 60,6% (5 a 10 anos de pousio); 37,46% (10 a 15 anos de pousio) e 32,58% (15 a 20 anos de pousio). Na classe de pousio de 5 a 10 anos, a *C. glaziovii* (6,33%) e a

H. alchorneoides (4,52%), aparecem na segunda e terceira posição, respectivamente após a *M. scabrella*, como as de maior abundância nestas áreas. A *M. cinnamomifolia* após a *M. scabrella*, é a segunda espécie de maior abundância (7,08%) na classe de pousio que compreende 15 a 20 anos. Aqui foram destacadas estas espécies em suas melhores posições, porém vale salientar que elas aparecem em todas as classes de pousio.

Comparando a abundância das espécies em classes de pousio, De Luca (2011) verificou que a *M. scabrella*, a *C. glaziovii*, a *H. alchorneoides* e a *M. cinnamomifolia*, estão entre as 10 espécies com maior porcentagem para este parâmetro nas 4 classes de pousio em bracatingais.

A partir daí, os dados do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC) (2013), também foram importantes para a definição de quais espécies seriam estudadas no presente trabalho. Vibrans *et al.* (2013) no IFFSC, onde foram incluídas algumas unidades amostrais localizadas no município de Biguaçu S. C., mostraram que a *P. glabrata* e a *M. cinnamomifolia*, encontram-se entre as cinco espécies com maior valor de importância na maioria das unidades amostradas; a *C. glaziovii* também merece destaque quanto ao valor de importância.

A *M. scabrella* e a *M. cinnamomifolia* são as espécies que apresentam ampla utilização energética pelas populações em torno das florestas catarinenses. Com 150 e 32 citações para este uso, respectivamente, estas duas espécies, incluído também a *H. alchorneoides*, estão entre as 13 espécies nativas mais citadas segundo Justen *et al.* (2012), como de uso atual ou potencial em Santa Catarina.

Segundo Justen *et al.* (2012) em relação ao potencial de uso para o futuro, a *M. scabrella* e a *M. cinnamomifolia* apresentam amplo valor no aspecto energético. Esta observação foi comprovada também por Coradin *et al.* (2011), que incluíram também a *H. alchorneoides* nesta lista de espécies.

A dominância relativa apresentada pela *H. alchorneoides* (3,1 %), destaca-se na floresta ombrófila densa de Santa Catarina em relação às outras espécies, tornando-se juntamente com a *M. cinnamomifolia*, uma das espécies de maior valor de importância no componente arbóreo/arbustivo da mesma (SCHORN *et al.*, 2012).

As áreas de estudo do presente trabalho localizam-se na Floresta Ombrófila Densa de Santa Catarina, município de Biguaçu, na qual as espécies: *H. alchorneoides*, *M. cinnamomifolia*, *C. glaziovii* e a

P. glabrata, pertencem às 30 espécies nativas de maior valor de importância neste componente da Mata Atlântica (VIBRANS *et al.*, 2013). A *P. glabrata* está associada à fitofisionomia terras baixas (abaixo de 30 m de altitude) como uma das mais importantes espécies deste grupo; a *C. glaziovii* e a *H. alchorneoides* destacam-se dentro das principais espécies encontradas no componente arbóreo/arbustivo que abrange 30 – 500 m de altitude; já a *M. cinnamomifolia* está entre as principais espécies de regeneração natural em altitudes abaixo de 30 m como também se encontra associada às espécies que ocorrem entre 30 – 500 m de altitude (LINGNER *et al.*, 2013a).

Lingner *et. al* (2013b) destaca em seu trabalho sobre a fitossociologia do componente arbóreo/arbustivo da Floresta Ombrófila Densa em Santa Catariana, a presença de 1.081 representantes de *H. alchorneoides*, 744 representantes de *M. cinnamomifolia*, 535 representantes de *P. glabrata*, 490 representantes da *C. glaziovii* e 27 representantes de *M. scabrella*. A família da *M. cinnamomifolia* (Melastomataceae) está entre as 7 famílias de maior riqueza de espécies, maior riqueza de gêneros e também maior número de indivíduos; dentre os gêneros amostrados, a *Miconia* também teve destaque pelo número de espécies apresentadas.

A *H. alchorneoides* e a *M. cinnamomifolia*, relacionam-se entre as 4 espécies de maior abundância na Floresta Ombrófila Densa de Santa Catarina, com 15,4 ind/ha e 10,6 ind/ha respectivamente; revelando a alteração ou a regeneração da floresta. A análise fitossociológica ainda mostra a importância destas duas espécies bem como a *C. glaziovii* para a Floresta Ombrófila Densa Submontana. Este alto valor de importância se deu pela dominância relativa ser elevada, que teve maior peso principalmente para a *H. alchorneoides*. Em relação à *C. glaziovii*, a mesma esteve entre as mais representativas por unidade amostral, com uma frequência em torno de 73 %; algumas unidades amostrais localizam-se no município de Biguaçu S. C. (LINGNER *et al.*, 2013b).

Para o parâmetro regeneração natural na Floresta Ombrófila Densa de Santa Catarina, a *M. scabrella*, a *P. glabrata*, a *M. cinnamomifolia*, a *H. alchorneoides* e a *C. glaziovii*, foram amostradas destacando-se pelo número de indivíduos dentro de suas respectivas famílias. A *P. glabrata* foi uma das espécies que apresentou alto valor de importância (3,6) na Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas,

para a análise fitossociológica da regeneração natural (MEYER *et al.*, 2013)

Na fitossociologia do componente arbóreo/arbustivo das regiões de restinga de Santa Catarina, a *P. glabrata* encontra-se entre as espécies mais importantes para esta formação com um valor de importância igual a 7,1 (KORTE *et al.*, 2013).

Segundo Sevegnani *et al.* (2013), a *H. alchorneoides* é a terceira espécie em estádio sucessional avançado da Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina, com maior valor de importância relativo no estrato arbóreo (2,2 %), a espécie ainda é a segunda que apresenta maior valor de dominância absoluta (1,0 m²/ha) dentre as espécies neste estádio; a *M. cinnamomifolia*, a *C. glaziovii* e a *P. glabrata* da mesma forma merecem destaque por se encontrarem entre as espécies com maior valor de dominância.

Quando se fala em estádio sucessional médio, a *H. alchorneoides* e a *M. cinnamomifolia*, formam junto com 10 espécies, o grupo com maior valor percentual de importância, além de a *H. alchorneoides* ser a terceira que se destaca no parâmetro dominância absoluta (0,5 m²/ha) (SEVEGNANI *et al.*, 2013).

As áreas, onde os produtores familiares de Biguaçu S. C. estão inseridos, são em grande parte florestas secundárias, onde segundo Schuch *et al.* (2008), a *M. cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin é uma das principais espécies dominantes.

Desta forma baseado nas informações obtidas através das entrevistas com os agricultores, que possuem um conhecimento bastante amplo das espécies que compõem a floresta nativa; de posse de dados internos do Projeto Rede Sul Florestal e também das informações do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, foram definidas cinco espécies para objeto de estudo nesta dissertação de mestrado: a *Mimosa scabrella* (Bracatinga), a *Hieronyma alchorneoides* (Licurana), a *Cecropia glaziovii* (Embaúba), a *Pera glabrata* (Seca Ligeiro) e a *Miconia cinnamomifolia* (Jacatirão).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, C. As roças e o manejo da Mata Atlântica pelos caiçaras: uma revisão. **Interciência**, v. 25, n. 3, p. 143-150, 2000.
- BAUER, E. **Mudanças no uso da terra em Biguaçu – SC:** Agricultores em permanente processo de adaptação. 2012. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- BRAND, M. A. *et al.* Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido à partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar, em Biguaçu, Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. v. 41, n.99, p. 401-410, 2013.
- DE LUCA, F. V. “**Botar a roça**”: Agricultura de corte e queima e manejo de bracatingais em Biguaçu/SC. Florianópolis, 2011. 56 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- FANTINI, A. C. *et al.* Produção de carvão e de saberes na agricultura familiar de SC. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 23, n. 3, p. 13-15, nov. 2010.
- FANTINI, A. C. **Inovações de base ecológica na produção de carvão vegetal dos agricultores familiares na região da grande Florianópolis/SC.** Edital MCT/CNPq/MDA/SAF/Dater Nº 033/2009.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE cidades: Biguaçu. Censo Agropecuário.** 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 12 out. 2013.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).** 2011. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=289&z=t&o=1&i=P>> Acesso em: 17 out. 2013.
- IFFSC. Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina. Vol. IV, **Floresta Ombrófila Densa.** Blumenau. Edifurb. 2013.

- JUSTEN, J. G. K., MÜLLER, J. J. V., TORESAN, L. Levantamento Socioambiental. In: VIBRANS, A. C. (eds.). Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, Vol. I, **Diversidade e conservação dos remanescentes florestais**. Blumenau. Edifurb. 2012.
- KORTE, A. *et al.* Composição florística e estruturas das Restingas em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C., SEVEGNANI, L., GASPER, A. L. de, LINGNER, D. V. (eds.). Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, Vol. IV, **Floresta Ombrófila Densa**. Blumenau. Edifurb. 2013.
- LINGNER, D. V. *et al.* Grupos florísticos estruturais da Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C., SEVEGNANI, L., GASPER, A. L. de, LINGNER, D. V. (eds.). Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, Vol. IV, **Floresta Ombrófila Densa**. Blumenau. Edifurb. 2013a.
- LINGNER, D. V. *et al.* Fitossociologia do componente arbóreo/arbustivo da Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C., SEVEGNANI, L., GASPER, A. L. de, LINGNER, D. V. (eds.). Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, Vol. IV, **Floresta Ombrófila Densa**. Blumenau. Edifurb. 2013b.
- MEYER, L. *et al.* Regeneração natural da Floresta Ombrófila Densa no Estado de Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C., SEVEGNANI, L., GASPER, A. L. de, LINGNER, D. V. (eds.). Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, Vol. IV, **Floresta Ombrófila Densa**. Blumenau. Edifurb. 2013.
- OLIVEIRA R.R. *et al.* Roça Caiçara: um sistema “primitivo” auto-sustentável. **Ciência Hoje**, v.18, n.104, p. 44-51, 1994.
- OLIVEIRA, R. R. Ação antrópica e resultantes sobre a estrutura e composição da Mata Atlântica na Ilha Grande, RJ. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 53, n. 82, p. 33-58, 2002.
- RECH T. D. *et al.* **Rede Sul Florestal: PD&I em sistemas florestais e produção de energia na agricultura familiar**. Edital MCT/CNPq/ MEC/CAPES/CT AGRO/CT HIDRO/FAPS/EMBRAPA Nº 22/2010 - Redes Nacionais de Pesquisa em Agrobiodiversidade e Sustentabilidade Agropecuária – REPENSA, Florianópolis. Projeto de pesquisa.

SCHNEIDER, S. **A pluriatividade na agricultura familiar.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. 254p.

SCHORN, L. A. *et al.* Síntese da estrutura dos remanescentes florestais em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C., SEVEGNANI, L., GASPER, A. L. de, LINGNER, D. V. (eds.). Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, Vol. I, **Diversidade e conservação dos remanescentes florestais.** Blumenau. Edifurb. 2012.

SCHUCH, C.; SIMINSKI, A.; FANTINI, A. C. Usos e potencial madeireiro do jacatirão-açu (*Miconia cinnamomifolia* (de Candolle) Naudin) no litoral de Santa Catarina. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 4, p. 735-741, 2008.

SEVEGNANI, L. *et al.* Estádios sucessionais da Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C., SEVEGNANI, L., GASPER, A. L. de, LINGNER, D. V. (eds.). Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, Vol. IV, **Floresta Ombrófila Densa.** Blumenau. Edifurb. 2013.

SIMINSKI, A. **Formações florestais secundárias como recurso para desenvolvimento rural e a conservação ambiental no Litoral de Santa Catarina.** 2004. 103 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

SIMINSKI, A.; FANTINI, A.C. Classificação da Mata Atlântica do litoral catarinense em estádios sucessionais: ajustando a lei ao ecossistema. **Floresta e Ambiente.** Rio de Janeiro, RJ, v. 11, n.2, p. 20 - 25, 2004.

SIMINSKI. A.; FANTINI, A. C. Roça-de-toco: uso de recursos florestais e dinâmica da paisagem rural no litoral de Santa Catarina. **Ciência Rural.** Santa Maria, RS, v. 37, p. 690-696, 2007.

SNIF. Sistema Nacional de Informações Florestais. **Bioma Mata Atlântica.** Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/os-biomas-e-suas-florestas>>. Acesso em: 12 jun. 2012.

SOUZA, M. C. **Estudo exploratório sobre o sistema de produção e a comercialização do carvão vegetal produzido por agricultores**

familiares da microbacia de São Mateus (Biguaçu/SC). 2010. 56 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

ULLER-GÓMEZ, C. Agricultura familiar e participação na gestão das águas na Bacia do Itajaí (SC, Brasil). 2006. 295 p. Tese (Doutorado Interdisciplinar em Ciências Humanas) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

ULLER-GÓMEZ, C. et al. Agricultura familiar e áreas de preservação permanente: uma análise a partir das representações sociais dos colonos de Botuverá/SC. **INTERthesis.** Florianópolis, SC, v. 6, p. 179-217, 2009.

ULLER-GÓMEZ, C.; GARTNER, C. **Um caminho para conhecer e transformar nossa comunidade.** Florianópolis. Epagri/MB2, 2008, 111p. Relatório final de pesquisa vinculada ao TOR 23/2006.

VIBRANS, A. C. et al. (eds.). Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, Vol. IV, **Floresta Ombrófila Densa.** Blumenau. Edifurb. 2013.

ZUCHIWSCHI, E. et al. Limitações ao uso de espécies florestais nativas pode contribuir com a erosão do conhecimento ecológico tradicional e local de agricultores familiares. **Acta Botanica Brasilica,** Feira de Santana, BA, v. 24, n. 1, p. 270-282, 2010.

PROPRIEDADES FÍSICAS E ENERGÉTICAS DA MADEIRA E A RELAÇÃO COM SEU USO PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

1 INTRODUÇÃO

Trabalhos de pesquisa que tratam da qualidade da madeira usada para a produção de carvão vegetal no município de Biguaçu, SC, vêm sendo desenvolvidos através do Projeto Rede Sul Florestal. Recentemente um estudo de Brand *et al.* (2013) avaliou a qualidade da madeira e do carvão produzido pela *Miconia cinnamomifolia* (Jacatirão), uma das espécies nativas com ampla utilização para a carbonização nos fornos de alvenaria das propriedades familiares deste município, a qual se mostrou com ótimo potencial para a produção de carvão vegetal.

Segundo Pimenta *et al.* (2008), como a madeira é a matéria-prima para a produção de carvão, deve-se conhecê-la em detalhes, pois suas características variam entre espécies, entre indivíduos da mesma espécie, dentro da árvore e conforme a idade da árvore. Assim o carvão produzido terá variação de acordo com a qualidade da matéria prima utilizada.

Alguns autores também destacam que qualidade bem como o rendimento do carvão produzido está diretamente ligada ao menos em parte, a qualidade da madeira utilizada (WENZL, 1970; OLIVEIRA *et al.*, 1982).

Em estudos com madeiras naturais de espécies tropicais, Doat e Petroff (1975) identificaram diversas correlações entre as propriedades físicas da madeira e do carvão vegetal.

Vários autores destacam a importância de alguns parâmetros da madeira que devem ser levados em consideração quando seu uso for destinado à produção de carvão vegetal e bioenergia. Dentre eles estão relacionados os valores de densidade básica e poder calorífico, baixo teor de minerais e altos teores de lignina, tais características acarretam em alto rendimento, baixo custo e elevada qualidade e produção do carvão vegetal (TRUGILHO *et al.*, 1997; TRUGILHO *et al.*, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2010; NEVES *et al.*, 2011; PROTÁSIO *et al.*, 2012).

Desta forma, trabalhos que caracterizem e avaliem a madeira das principais espécies utilizadas para a produção de carvão vegetal na agricultura familiar nas comunidades de Biguaçu, SC, é de suma importância, isso porque determinarão a qualidade do carvão produzido a partir de tais espécies. Os resultados destas pesquisas permitirão a classificação das espécies antes do processo de carbonização, visando a

homogeneização do produto, além de dar aos agricultores informações qualitativas do carvão que melhoram o preço do produto no mercado consumidor.

Além disso, estes trabalhos permitirão a melhoria do processo produtivo, valorizando o carvão produzido na agricultura familiar. Estas pesquisas também fornecem informações para subsidiar os órgãos fiscalizadores para a legalização e valorização das atividades realizadas pelo pequeno agricultor, disponibilizando informações técnico-científicas, para a escolha e uso correto das espécies, disponíveis em suas propriedades.

Neste sentido, este capítulo abordará sobre a análise da qualidade da madeira de cinco espécies: *Mimosa scabrella* (Bracatinga), *Miconia cinnamomifolia* (Jacatirão-açú), *Hieronyma alchorneoides* (Licurana), *Cecropia glaziovii* (Embaúba) e *Pera glabrata* (Seca Ligeiro). Estas espécies apresentam amplo uso para a produção de carvão vegetal nas comunidades de São Mateus e Fazenda de Dentro no município de Biguaçu, S.C.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA E SUA RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

2.1.1 Teor de Umidade (TU)

Conforme Pimenta *et al.* (2008) o teor de umidade e a densidade são alguns dos parâmetros da qualidade da madeira mais importantes a serem estudados para a produção de carvão.

O teor de umidade da madeira é uma propriedade física muito importante quando o uso da madeira é destinado à geração de energia, pois uma considerável quantidade de calor é despendida na forma de vapor de água. Por este motivo teores de umidade acima do limite, exigem energia externa para secar e posteriormente entrar em combustão. Quando a madeira possui uma maior porcentagem de umidade, menor a sua combustão, pois o processo de evaporação absorve energia na queima (CUNHA *et al.*, 1989; JARA, 1989).

Segundo Figueroa e Moraes (2009), há uma variação na taxa de carbonização da madeira influenciada diretamente pelo teor de umidade, massa específica, dimensões das peças, da forma da seção transversal e da intensidade do fluxo de calor.

Em outro estudo desenvolvido por Valente e Lelles (1979), estes autores destacam a importância de se ter o controle da umidade no processo de carbonização, pois quando a madeira é carbonizada a teores de umidade entre 25 a 50%, o consumo de lenha aumenta em 13,27%.

Quanto mais elevada for a umidade da madeira, uma maior quantidade de lenha consumida no forno será necessária para a secagem da mesma, isto resultará em uma menor quantidade de carvão (Forest Products Laboratory , 1961).

Outros autores também ratificam a influencia do teor de umidade no rendimento do carvão. Arruda *et al.* (2011) observaram a influência direta do teor de umidade da lenha sobre os parâmetros de rendimento gravimétrico, tempo de ignição, temperatura média e taxa de aquecimento, no processo de produção de carvão.

Klitzke (1998), avaliando a influência do teor de umidade e da idade no rendimento do carvão de bracatinga, em diferentes temperaturas de carbonização, concluiu, com relação à influência da umidade, que o aumento desta ocasiona uma redução significativa do rendimento do carvão, onde o valor médio mais elevado do rendimento foi obtido na temperatura de 450°C a 0% de umidade. Já o menor valor

para o rendimento foi observado na temperatura final de 550°C a 30%. Pode-se observar que há uma tendência do rendimento em carvão diminuir com o aumento do teor de umidade da madeira.

Marcos Martín (1997) concluiu que o teor de umidade da madeira, apresenta influencia direta no rendimento em carvão vegetal de maneira mais importante que a própria espécie.

2.1.2 Massa Específica Básica (MEB)

Outro parâmetro de suma importância a ser estudado quando se fala de qualidade da madeira para produção de carvão é a massa específica. Brasil e Ferreira (1979) destacam que a massa específica é o índice mais utilizado quando se quer determinar a qualidade da madeira, pois a mesma influencia em outras propriedades da mesma e consequentemente os derivados provenientes dela.

A densidade básica da madeira é uma propriedade física simples de ser analisada e um excelente dado técnico quanto a sua utilização em várias aplicações (PANSHIN; DE ZEENW, 1980).

No que se refere à produção de carvão vegetal, pode-se analisar a influencia da densidade sob vários aspectos. Em termos de produção na carvoaria, para certo volume do forno madeiras com maior densidade resultarão em uma maior produção em peso. Outro aspecto que se deve levar em consideração é que madeira mais densa produz carvão com densidade mais elevada. Isto pode ser vantajoso dependendo do uso (OLIVEIRA *et al.*, 1982; BRITO, 1993).

A densidade da madeira tem uma relação direta com o rendimento do carvão quando expresso em volume, pois quanto maior a densidade maior a quantidade de matéria seca por unidade de volume (BRITO; BARRICHELLO, 1977).

Da mesma forma Oliveira *et al.* (1989), encontraram a existência de correlação positiva quando analisaram a densidade básica da madeira em relação à densidade aparente do carvão. Esta correlação é destacada por outros autores avaliando outras espécies (VALENTE; VITAL, 1985; VALE *et al.*, 2001)

2.2 PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA E SUA RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

2.2.1 Poder Calorífico Superior (PCS)

O poder calorífico superior é definido, quando não se leva em consideração a quantidade de calor necessário para evaporar a água originada da combustão do hidrogênio e da umidade do material; ou seja, o poder calorífico superior é a quantidade de energia liberada por unidade de massa, com material isento de umidade.

Segundo Brand (2010) o poder calorífico superior é um excelente parâmetro para determinar o potencial energético apresentado pela biomassa.

De acordo com Brito e Barrichello (1979) pode-se encontrar o poder calorífico da madeira variando de 3.000 kcal/kg até 5.400 kcal/kg. Os autores apregoam que as resinas oriundas das espécies florestais apresentam uma média de poder calorífico médio equivalente a 9.460 kcal/kg, assim espécies com elevados teores de resinas possuem elevado poder calorífico (coníferas), em contrapartida espécies com menores teores de resina apresentam menor poder calorífico (folhosas).

Para Brito (1993), o valor para poder calorífico superior (PCS) de folhosas tropicais situa-se entre 3.500 a 5.000 kcal/kg.

2.2.2 Teor de Voláteis (TV)

Os materiais voláteis podem ser definidos como as substâncias que são desprendidas da madeira, como gases durante o processo de carbonização. Brito e Barrichello (1982) mencionaram que os teores de voláteis da madeira se encontram entre 75% a 85%.

2.2.3 Teor de Cinzas (TC)

A cinza é um resíduo mineral originado dos componentes minerais do lenho e da casca (COTTA, 1996 citando VITAL *et al.*, 1986).

As cinzas não sofrem combustão, porém fazem parte da massa total do combustível quando o mesmo está em processo de queima (BRAND, 2010). Desta forma as cinzas presentes na madeira para

carbonização, irão interferir no rendimento em carvão no final do processo.

Outra característica apresentada pelo teor de cinzas na madeira é que quanto mais elevado for este índice, menor será o poder calorífico superior da biomassa (BRAND, 2010).

Existe uma relação direta entre teor de cinzas do material carbonizado e o teor de cinzas apresentado no carvão produzido (VITAL *et al.*, 1986). De acordo com Oliveira (2003) o teor de cinzas, bem como seus componentes químicos, poderão ter influência dos minerais no solo.

Conforme Brand *et al.* (2013) teores de cinzas inferior a 5%, é uma característica positiva encontrada na madeira para o uso energético, tanto na forma de lenha como para a produção de carvão vegetal.

O teor de cinzas varia de 0,5% a mais de 5%, estes valores vão depender da espécie estudada, da quantia de casca e se a madeira apresenta terra e areia (PEREIRA *et al.*, 2000).

2.2.4 Teor de Carbono Fixo (CF)

O carbono fixo pode ser definido como a quantidade de carbono presente na madeira. Segundo Brito e Barrichelo (1982) o valor de carbono fixo presente na madeira varia entre 15% a 25%. Os autores ainda afirmam que combustíveis com elevado teor de carbono fixo, carbonizam lentamente, permanecendo por maior tempo dentro dos aparelhos de queima, comparado aos de menor teor de carbono fixo.

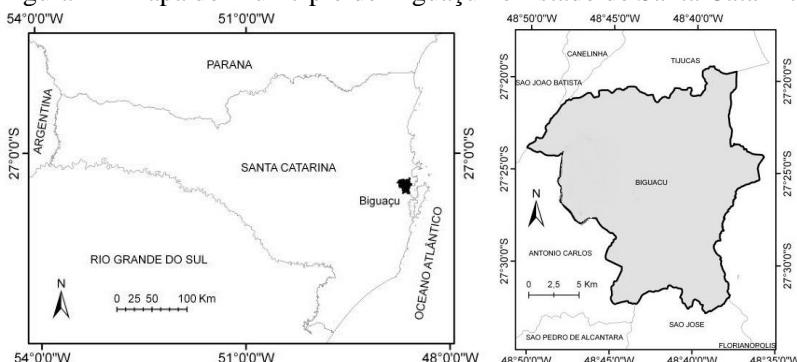
Carmo (1988) destaca que a quantidade de carbono fixo fornecida por unidade de madeira é função da porcentagem de lignina da madeira. Porém estudos mostram que para algumas espécies esta afirmativa não se aplica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido nas comunidades de São Mateus e Fazenda de Dentro, pertencentes a localidade de Três Riachos, localizada no município de Biguaçu, litoral do Estado de Santa Catarina (ver Figura 1). A comunidade de São Mateus está inserida na Microrregião de São Mateus, onde em sua maior porção ($32,23 \text{ km}^2$), apresenta formações elevadas de até 586 m de altitude e declividades predominantemente acima de 30% (SILVA, 2007).

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009), o clima da região é Cfa - mesotérmico úmido com verão quente definido. A precipitação anual é de 1.588 mm e a temperatura média anual é de $20,5^\circ\text{C}$, com a média mínima no mês de julho de $16,4^\circ\text{C}$ e a média máxima no mês de fevereiro de $24,6^\circ\text{C}$.

Figura 1 – Mapa do Município de Biguaçu no Estado de Santa Catarina.



Fonte: produção do próprio autor, adaptado de Bauer (2012).

Foram realizadas coletas de campo nas propriedades rurais participantes do Projeto Rede Sul Florestal. Algumas amostras encontravam-se estocadas em pilhas recebendo ação do ambiente ou em galpões de armazenamento, as demais amostras foram obtidas a partir do corte da espécie estudada dentro da floresta em seu ambiente natural (ver Tabela 1).

Foi colhido material vegetativo das espécies que foram cortadas dentro da floresta para a confecção de exsicatas e identificação botânica

das mesmas, as quais estão depositadas no Herbário do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina.

Tabela 1 – Local de coleta das árvores de cada espécie.

Espécie	Árvore	Local de Coleta
<i>Mimosa scabrella</i> (Bracatinga)	1	Pilha de Secagem – Ambiente
	2	Floresta
	3	Floresta
	4	Pilha de Secagem – Protegida
	5	Pilha de Secagem – Protegida
<i>Cecropia glaziovii</i> (Embaúba)	1	Floresta
	2	Floresta
	3	Floresta
	4	Floresta
	5	Floresta
<i>Miconia cinnamomifolia</i> (Jacatirão-açú)	1	Floresta
	2	Pilha de Secagem – Protegida
	3	Floresta
	4	Floresta
	5	Floresta
<i>Hieronyma alchorneoides</i> (Licurana)	1	Floresta
	2	Floresta
	3	Floresta
	4	Floresta
	5	Floresta
<i>Pera glabrata</i> (Seca Ligeiro)	1	Floresta
	2	Floresta
	3	Floresta
	4	Floresta
	5	Floresta

Fonte: produção do próprio autor.

Conforme informações dos próprios agricultores, tanto as árvores quanto as toras, tinham idade inferior a 15 anos, já que foram coletadas em áreas de pousio, utilizadas sob manejo “roça-de-toco”. Para cada espécie foram selecionadas cinco árvores ou toras escolhidas aleatoriamente. A partir de cada material retirou-se nove discos para a confecção dos corpos de prova. Destes discos, três foram destinados para a determinação do teor de umidade, três para a determinação da

massa específica básica e três para a carbonização. Para o poder calorífico e análise imediata foram utilizados os discos provenientes da análise do teor de umidade e da massa específica básica, após a determinação destes parâmetros.

As amostras foram devidamente identificadas, armazenadas em sacos plásticos fechados para evitar alterações e levadas até o Laboratório de Tecnologia da Madeira do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages.

3.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA

Três discos foram selecionados e pesados individualmente após a chegada da madeira no laboratório para determinação do teor de umidade na base úmida conforme NBR 14929(ABNT, 2003a). O restante do material foi acondicionado em câmara climatizada para estabilização do teor de umidade.

O teor de umidade na base úmida foi determinado através da diferença de pesagem entre o material úmido, como recebido para análise, e após secagem em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até peso constante, conforme equação abaixo.

$$H_s = (P_t - O_s)/P_t$$

Onde:

H_s = Teor de umidade na base úmida (%) (kg água/kg material nas condições de trabalho);

P_t = massa da amostra úmida (g), na condição de queima;

O_s = massa da amostra seca (g), estado da biomassa seca em estufa a 105°C , até peso constante.

3.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

A determinação da massa específica básica seguiu a NBR 11491(ABNT, 2003b). Foram utilizados os discos em seu estado natural, entretanto, a casca foi retirada.

A massa específica básica foi obtida através da relação entre o peso seco e o volume saturado da madeira, sendo expressa em (g/cm^3) .

Para obtenção do volume, os discos foram previamente saturados e posteriormente imersos em um recipiente com água, colocado sobre uma balança de precisão (método de pesagem). O volume foi obtido diretamente da leitura da balança que foi previamente tarada antes da imersão do disco.

Após a obtenção do volume, os discos foram colocados em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$, sendo obtido o peso seco. Com a estabilização do peso, os mesmos foram resfriados em dessecador e pesados em balança com precisão de 0,01g. Para o cálculo da massa específica básica utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Meb} = \text{Po} / \text{Vs}$$

Onde:

Meb = Massa específica básica (g/cm^3);

Po = Peso seco (g);

Vs = Volume saturado (cm^3).

3.3 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR

O poder calorífico Superior foi determinado em Calorímetro C 2000 basic – IKA WERKE (ver Figura 2), conforme a norma DIN 51900 (DIN, 2000). Para tal, os corpos de prova de cada espécie florestal, foram triturados em moinho martelo e posteriormente, as amostras foram pesadas (aproximadamente 1,000 g) em Balança Determinadora de Umidade a fim de baixar a umidade das mesmas até atingir 0%. Findo este procedimento as amostras foram colocadas no calorímetro o qual fornece diretamente no visor as leituras de Poder Calorífico Superior.

Figura 2 – Calorímetro C 2000 basic.



Fonte: produção do próprio autor.

3.4 ANÁLISE IMEDIATA (TEOR DE VOLÁTEIS, TEOR DE CINZAS E TEOR DE CARBONO FIXO)

O teor de voláteis (TV%) – 900° C, teor de carbono fixo (C FIXO%) e o teor de cinzas (TC%) – 700° C, foram determinados em Termobalança gravimétrica TGA, *Automatic Multiple Sample Thermogravimetric Analyzer TGA – 2000* – Navas Instruments (ver Figura 3), conforme a norma ASTM 1762 (ASTM, 2007). Para que esta análise fosse possível, parte do material de cada espécie florestal foi triturado em moinho martelo e acondicionado em estufa a 105°C por 24 h até atingir 0% de umidade. Ao fim de 24 h, as amostras foram retiradas da estufa. Em média 1,500 g de cada amostra eram colocadas nos cadiinhos componentes do TGA para a análise imediata.

Figura 3 - TGA.



Fonte: produção do próprio autor.

3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As variáveis estudadas foram analisadas estatisticamente através da análise de variância (ANOVA) por meio do programa SPSS *Statistics*. Antecedendo a ANOVA, aplicou-se o teste de Bartlett para verificação da homogeneidade de variâncias, sendo transformados os dados quando necessário. Em todas as variáveis analisadas que apresentaram diferenças estatísticas significativas, aplicou-se o teste de comparação de médias pelo método de Tukey a 95% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

As propriedades físicas das espécies avaliadas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades físicas da madeira das espécies utilizadas para a produção de carvão vegetal em Biguaçu, SC.

ESPÉCIE	ÁRVORE	TU (%)	MEB (g/cm ³)
<i>Mimosa scabrella</i> (Bracatinga)	1	34 c	0,622 a
	2	51 a	0,507 d
	3	46 b	0,601 b
	4	17 e	0,544 c
	5	19 d	0,617 a
<i>Cecropia glaziovii</i> (Embaúba)	1	66 a	0,200 b
	2	67 a	0,210 b
	3	59 b	0,242 b
	4	51 d	0,363 a
	5	56 c	0,340 a
<i>Miconia cinnamomifolia</i> (Jacatirão)	1	49 b	0,551 b
	2	18 d	0,609 a
	3	47 c	0,564 b
	4	57 a	0,483 c
	5	48 b	0,598 a
<i>Hieronyma alchorneoides</i> (Licurana)	1	34 e	0,739 a
	2	37 d	0,438 d
	3	45 c	0,546 b
	4	48 b	0,514 c
	5	61 a	0,412 d
<i>Pera glabrata</i> (Seca Ligeiro)	1	39 a	0,611 bc
	2	38 a	0,629 b
	3	37 b	0,642 ab
	4	36 b	0,653 a
	5	35 b	0,658 a

Fonte: produção do próprio autor.

Nota: Médias seguidas da mesma letra, para cada espécie na coluna, não apresentam variação estatística significativa para o Teste de Tukey ($P > 0,05$).

As médias das propriedades físicas (Massa específica básica e Teor de umidade), comparando as diferentes espécies estudadas, estão indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Comparação das médias entre espécies da análise física da madeira.

ESPÉCIE	⁽¹⁾ TU (%)	⁽¹⁾ MEB (g/cm ³)	⁽²⁾ TU (%)	⁽²⁾ MEB (g/cm ³)
<i>Mimosa scabrella</i> (Bracatinga)	33 c	0,578 a	49 ab	0,554 a
<i>Cecropia glaziovii</i> (Embaúba)	60 a	0,271 b	60 a	0,271 b
<i>Miconia cinnamomifolia</i> (Jacatirão)	44 ab	0,561 a	50 ab	0,549 a
<i>Hieronyma alchorneoides</i> (Licurana)	45 ab	0,530 a	45 bc	0,530 a
<i>Pera glabrata</i> (Seca Ligeiro)	37 c	0,639 a	37 c	0,639 a

Fonte: produção do próprio autor.

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam variação estatística significativa para o Teste de Tukey ($P > 0,05$).

⁽¹⁾ Médias de todas as árvores, ⁽²⁾ Médias somente das árvores coletadas diretamente na floresta.

4.1.1 Teor de Umidade na Base Úmida (TU)

Ocorreu diferença significativa entre todas as médias dos teores de umidade das árvores amostradas da espécie *M. scabrella*. Os indivíduos 1, 4 e 5 estavam estocados em pilhas para secagem próxima aos fornos de carbonização. O representante 4 que apresentou menor teor de umidade (17%), seguida do indivíduo 5 (19%) encontrava-se em uma pilha para secagem, porém em local coberto e protegida da exposição direta a chuva e outros intempéries do ambiente. A árvore 1 foi amostrada de pilhas que estavam expostas diretamente ao ambiente, sem cobertura alguma. Já os indivíduos 2 e 3, foram coletadas em campo no seu estado natural, por isso apresentaram maior teor de umidade, 51% e 46%, respectivamente.

A espécie que teve menor variação entre árvores foi a *P. glabrata*, onde se formou apenas dois grupos homogêneos para este parâmetro.

Todas as árvores de *C. glaziovii* foram coletadas em campo, por isso todas apresentaram elevado teor de umidade. Entre os indivíduos 1 e 2, não houve diferença significativa entre as médias para teor de

umidade e foram os que apresentaram maior valor para este parâmetro (66% e 67%).

Os indivíduos de *M. cinnamomifolia* apresentaram diferença entre todas as médias para teor de umidade. Destaca-se, porém a árvore 2 com menor teor de umidade (18%) entre os indivíduos analisados. Este indivíduo foi retirado de uma pilha coberta protegido da ação direta do ambiente, os demais representantes foram derrubados em campo onde se encontravam em seu estado natural.

A análise estatística realizada para o teor de umidade entre as árvores de *H. alchorneoides*, apresentou diferença significativa para todos os representantes. Todas as árvores estudadas foram coletadas a campo. Destacando-se o indivíduo 5 com elevado teor de umidade (61%).

Os agricultores da região de estudo não possuem um padrão de estocagem e nem de secagem da madeira que vai para a carbonização. A madeira destinada à produção de carvão vegetal estocada sob cobertura, é mais eficiente na perda de umidade em relação às que estão expostas a ação do ambiente.

O alto teor de umidade na madeira influencia diretamente o tempo de queima nos fornos para produção de carvão vegetal. Quanto maior a umidade, maior o tempo de queima para atingir uma melhor qualidade.

É importante frisar que a umidade da madeira, varia principalmente conforme o clima, tipo e tempo de armazenamento, e as dimensões da lenha (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Segundo Figueroa e Moraes (2009), o tempo de produção de carvão vegetal é afetado pelo alto teor de umidade na madeira, pois a taxa de carbonização é menor; isto foi também destacado por Arruda *et al.* (2011), onde excesso de vapor de água liberado no momento da queima da madeira, aumenta o tempo de ignição e consequentemente o de carbonização.

Analizando as médias para o teor de umidade entre as espécies florestais, a que apresentou a menor média foi a *M. scabrella* (33%), já a *C. glaziovii* foi a que obteve a maior média (60%).

O teor de umidade ótimo para a carbonização da madeira encontra-se abaixo de 20 ou 30 % da base seca (VALENTE, 1986), que na base úmida, corresponde a 25 % (BRAND, 2010). Portanto nenhuma das espécies recém-colhidas apresentou teor de umidade ideal para a carbonização. As árvores que estavam nas pilhas de secagem protegidas

da ação do ambiente: árvore 4 (17%) e árvore 5 (19%) de *M. scabrella*, bem como a árvore 2 (18%) de *M. cinnamomifolia*, estão dentro do teor de umidade ideal para produção de carvão.

Outra variável influenciada pelo alto teor de umidade e pela idade da madeira no processo produtivo é o rendimento do carvão vegetal. Klitzke (1998) verificou que em bracatinga, ocorreu um maior rendimento de carvão quando a umidade da madeira encontrava-se a 0% relacionado a uma temperatura de 450° C; comparando ao rendimento observado com material a 30 % de umidade a uma temperatura de 550° C.

Desta forma, a umidade da madeira afeta significativamente o rendimento em carvão, causando uma diminuição do mesmo com o aumento do seu teor, pois a água contida na madeira fará parte do líquido condensado, tendo como consequência um aumento deste. Na prática, quanto maior a umidade mais material lenhoso é consumido no forno para a secagem da mesma, reduzindo com isso seu rendimento em carvão (KLITZKE, 1998).

Segundo Briane e Doat (1985), quanto mais elevado for o teor de umidade da madeira, ocorre uma queda no rendimento em carvão produzido, portanto este parâmetro torna-se fator preponderante na carbonização.

Segundo Earl (1975), citado por Cunha *et al.* (1989), o teor de umidade tem grande influência na qualidade da madeira para fins energéticos. Assim, é de suma importância que o teor de umidade da madeira seja menor que 30%, pois desta forma o manejo e os custos com transporte são reduzidos e a qualidade energética é otimizada.

Também foi determinada para cada espécie a média das árvores que foram somente coletadas dentro da floresta, a fim de verificar se existe correlação entre o teor de umidade recém-chegado (*in natura*) da madeira com o incremento em massa específica básica. Pelo coeficiente de correlação de Pearson, observou-se uma forte correlação entre este parâmetro para todas as espécies (ver Tabelas 4-8). A *C. glaziovii* que apresentou maior teor de umidade (60%) obteve uma menor massa específica básica (0,271 g/cm³), em contrapartida a *P. glabrata* com menor teor de umidade (37%) revelou maior massa específica básica (0,639 g/cm³).

Tabela 4 – Correlações entre TU x MEB da madeira de *M. scabrella*.

Correlações		TU	MEB
TU	Correlação de Pearson	1	- 0,960 **
	Sig. (2 extremidades)		0,000
	N	12	12
MEB	Correlação de Pearson	- 0,960 **	1
	Sig. (2 extremidades)	0,000	
	N	12	12

Fonte: produção do próprio autor.

** A correlação é significativa no nível 0,01.

Tabela 5 – Correlações entre TU x MEB da madeira de *C. glaziovii*

Correlações		TU	MEB
TU	Correlação de Pearson	1	- 0,860 **
	Sig. (2 extremidades)		0,000
	N	30	30
MEB	Correlação de Pearson	- 0,860 **	1
	Sig. (2 extremidades)	0,000	
	N	30	30

Fonte: produção do próprio autor.

** A correlação é significativa no nível 0,01.

Tabela 6 – Correlações entre TU x MEB da madeira de *M. cinnamomifolia*.

Correlações		TU	MEB
TU	Correlação de Pearson	1	- 0,871 **
	Sig. (2 extremidades)		0,000
	N	24	24
MEB	Correlação de Pearson	- 0,871 **	1
	Sig. (2 extremidades)	0,000	
	N	24	24

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01.

Tabela 7 – Correlações entre TU x MEB da madeira *H. alchorneoides*.

Correlações		TU	MEB
TU	Correlação de Pearson	1	- 0,623 **
	Sig. (2 extremidades)		0,000
	N	30	30
MEB	Correlação de Pearson	- 0,623 **	1
	Sig. (2 extremidades)	0,000	
	N	30	30

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01.

Tabela 8 – Correlações entre TU x MEB da madeira de *P. glabrata*.

Correlações		TU	MEB
TU	Correlação de Pearson	1	- 0,575 **
	Sig. (2 extremidades)		0,001
	N	30	30
MEB	Correlação de Pearson	- 0,575 **	1
	Sig. (2 extremidades)	0,001	
	N	30	30

Fonte: produção do próprio autor.

** A correlação é significativa no nível 0,01.

4.1.2 Massa Específica Básica (MEB)

Analizando a variação entre as árvores, ocorreu diferença significativa entre as médias de massa específica básica dentro das cinco espécies; observa-se, porém que para a *C. glaziovii* esta variação foi menor, formando apenas dois grupos homogêneos para a mesma.

A análise estatística revelou que não houve diferença significativa entre as médias de massa específica básica das espécies *M. scabrella*, *M. cinnamomifolia*, *H. alchorneoides* e *P. glabrata*. Estas espécies são consideradas pelos agricultores como “madeiras pesadas”. Somente a *C. glaziovii* apresentou diferença significativa para este parâmetro comparada as demais espécies, sendo que a *C. glaziovii* é definida pelos agricultores como “madeira leve”. A espécie que apresentou uma maior média para este parâmetro foi a *P. glabrata* (0,639 g/cm³), que segundo a *Forest Products Laboratory* (1974) pode ser classificada como madeira muito pesada. Comparada ao *Eucalyptus saligna* - 0,66 g/cm³, *E. grandis* – 0,62 g/cm³ (BRITO; BARRICHELO,

1977) e ao *E. benthami* – 0,47 g/cm³ (PEREIRA *et al.*, 1997) que também são espécies amplamente utilizadas para a produção de carvão vegetal, a *P. glabrata* apresentou um valor satisfatório, inclusive também superior a *M. scabrella* (0,578 g/cm³) e a *M. cinnamomifolia* (0,561 g/cm³) que são as espécies consideradas “madeiras pesadas” pelos agricultores com maior aceitação para a produção de carvão. Desta forma, a massa específica básica destas duas espécies está dentro da classificação madeiras pesadas, de acordo com o *Forest Products Laboratory* (1974).

Neste trabalho a *M. scabrella* obteve uma massa específica básica semelhante a encontrada por Pereira e Lavoranti (1986), que ao comparar a qualidade da madeira de bracatinga de 3 procedências para fins energéticos, identificaram uma densidade básica média de 0,537 g/cm³.

Já a espécie que apresentou a menor média para massa específica básica foi a *C. glaziovii* (0,271 g/cm³); este valor classifica a sua madeira como excessivamente leve (*FOREST PRODUCTS LABORATORY*, 1974). Desta forma, confirma-se a idéia dentro das comunidades familiares que a madeira da *C. glaziovii* é muito leve, implicando na produção de um carvão também leve.

O uso de madeiras com massa específica baixa implica em uma queima mais rápida nos fornos comparada às madeiras com massas específicas maiores; portanto o uso de madeiras com maior massa específica básica aumenta o tempo de carbonização. Outro fator importante está relacionado à dificuldade de iniciar a queima nos fornos, madeiras com massa específica básica menor terão ignição mais rápida.

Existe uma tendência de que o indivíduo de maior massa específica básica produza um carvão com maior massa específica aparente (BRAND *et al.*, 2013); observação identificada em 12 espécies do cerrado, onde a correlação foi alta entre massa específica básica e massa específica aparente do carvão vegetal produzido (VALE *et al.*, 2001).

A massa específica básica não está correlacionada ao poder calorífico, contudo se for carbonizado um volume maior de madeira a densidade básica influenciará o seu conteúdo energético (CUNHA *et al.*, 1989); ou seja, ao carbonizar madeiras mais pesadas se tem uma quantidade maior de energia, pois existe uma maior quantidade de massa por volume.

Em termo de massa específica básica, as espécies que apresentam melhor qualidade energética tanto para uso direto como lenha ou para a produção de carvão serão a *P. glabrata*, seguida da *M. scabrella*, *M. cinnamomifolia*, *H. alchorneoides* e *C. glaziovii*, respectivamente.

4.2 PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA

Os resultados da análise energética e da análise imediata obtida a partir das espécies usadas em Biguaçu, para a produção de carvão vegetal, encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 - Análise energética de cinco espécies florestais usadas para produção de carvão vegetal em Biguaçu, SC.

Espécie	Árvore	PCS (Kcal/kg)	TV (%)	TC (%)	CF (%)
<i>Mimosa scabrella</i>	1	4.127 d	81,05 bc	0,74 ab	18,22 ab
	2	4.100 d	81,82 ab	0,63 ab	17,56 b
	3	4.539 c	82,36 a	0,54 b	17,10 b
	4	4.656 a	80,42 c	0,80 ab	18,78 a
	5	4.577 b	80,73 b	1,00 a	18,27 ab
<i>Cecropia glaziovii</i>	1	4.232 c	83,33 a	1,28 a	15,39 a
	2	4.171 d	82,35 a	1,10 ab	16,55 a
	3	4.316 b	83,15 a	0,96 b	15,89 a
	4	4.543 a	82,30 a	0,94 b	16,75 a
	5	4.035 e	82,80 a	0,91 b	16,29 a
<i>Miconia cinnamomifolia</i>	1	4.224 a	79,55 b	0,80 ab	19,65 a
	2	4.316 a	79,17 b	0,71 b	20,11 a
	3	4.204 a	80,08 b	0,82 ab	19,09 a
	4	4.163 a	81,87 a	1,04 a	17,09 b
	5	4.433 a	82,76 a	0,78 b	16,45 b
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	1	4.455 a	78,85 b	0,59 c	20,56 a
	2	4.249 a	80,40 a	0,79 b	18,81 bc
	3	4.369 a	79,08 ab	0,62 bc	20,31 ab
	4	4.309 a	80,27 a	0,71 b	19,02 b
	5	4.348 a	78,34 b	1,18 a	20,48 a
<i>Pera glabrata</i>	1	4.214 c	81,89 a	1,14 ab	16,96 a
	2	4.220 c	82,47 a	1,44 a	16,10 a
	3	4.165 d	82,13 a	0,60 c	17,27 a

4	4.489 a	82,47 a	1,23 ab	16,30 a
5	4.468 b	83,30 a	0,90 bc	15,80 a

Fonte: produção do próprio autor.

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na coluna para cada espécie, não apresentam variação estatística significativa para o Teste de Tukey ($P > 0,05$).

A Tabela 10 compara a análise energética e a análise imediata das espécies usadas para a produção de carvão em Biguaçu.

Tabela 10 - Comparaçao das médias da análise energética entre 5 espécies destinadas a produção de carvão em Biguaçu, SC.

ESPÉCIE	PCS (Kcal/Kg)	TV (%)	TC (%)	CF (%)
<i>Mimosa scabrella</i> (Bracatinga)	4.400 a	81,28 ab	0,74 a	17,98 bc
<i>Cecropia glaziovi</i> (Embaúba)	4.259 a	82,79 a	1,04 a	16,17 c
<i>Miconia cinnamomifolia</i> (Jacatirão)	4.268 a	80,69 bc	0,83 a	18,48 ab
<i>Hyeronima alchorneoides</i> (Licurana)	4.346 a	79,39 c	0,78 a	19,83 a
<i>Pera glabrata</i> (Seca Ligeiro)	4.311 a	82,45 ab	1,06 a	16,49 c

Fonte: produção do próprio autor.

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam variação estatística significativa para o Teste de Tukey ($P > 0,05$).

4.2.1 Poder Calorífico Superior (PCS)

Não houve diferença significativa entre os valores de poder calorífico superior (PCS) para as árvores analisadas dentro das espécies de *M. cinnamomifolia* e *H. alchorneoides*, já para as demais espécies esta diferença foi significativa. Analisando as espécies, não houve diferença significativa para poder calorífico superior, sendo que a *C. glaziovii* foi a que apresentou menor poder calorífico superior (4.259 Kcal/Kg) e a *M. scabrella* a que obteve maior poder calorífico superior (4.400 Kcal/Kg). De acordo com Brand (2010), para efeito prático de uso da biomassa para geração de energia são consideradas relevantes apenas diferenças superiores a 300 kcal/kg.

A média de cada espécie analisada encontra-se dentro dos valores preconizados por BRITO (1993), que define que o valor para poder calorífico superior de folhosas tropicais deve estar entre 3.500 a 5.000 kcal/kg.

Os valores encontrados são considerados inferiores aos de *E. saligna* – 4.889 Kcal/Kg e *E. grandis* – 4.790 Kcal/Kg (BRITO *et al.*, 1983).

Vale salientar que entre poder calorífico líquido e teor de umidade, existe uma correlação negativa, pois quando se carboniza madeira com alta umidade, esta produz menos energia devido às perdas na vaporização da água; portanto para uma melhor combustão o ideal é utilizar madeiras com teores de umidade menores que 25 % (PEREIRA *et al.*, 2000).

4.2.2 Teor de Voláteis (TV)

A análise estatística não demonstrou diferença significativa entre os valores de teor de voláteis relacionados às árvores das espécies *C. glaziovii* e *P. glabrata*, já entre as demais espécies as médias apresentaram diferença significativa. A *H. alchorneoides* teve o menor valor (79,39%), muito próximo ao do *E. saligna* – 77,50% e inferior ao do *E. grandis* – 89,90% (BRITO; BARRICHELO, 1978). Comparando os teores de voláteis das 5 espécies, a *C. glaziovii* foi a que apresentou maior valor para este parâmetro (82,79%) e a *H. alchorneoides* a que obteve menor valor (79,39%).

Os valores médios para teor de voláteis encontrados para as cinco espécies estudadas contemplam o que BRITO e BARRICHELO (1982) definiram; onde os teores de voláteis na madeira devem estar entre 75 % a 85 %.

Madeiras com teores elevados de voláteis carbonizam mais rapidamente, pois os voláteis quando submetidos a altas temperaturas evaporam-se e ao entrar em contato com o oxigênio do ar, ocorrendo combustão mais rápida (PEREIRA *et al.*, 2000).

4.2.1 Teor de Cinzas (TC)

Para teor de cinzas a diferença foi significativa entre árvores dentro das espécies, porém entre as espécies, esta diferença não foi observada.

A *H. alchorneoides* apresentou o menor valor para este parâmetro (0,78%), comparando as 5 espécies, onde os mesmos são superiores ao do *E. saligna* – 0,41% e ao *E. grandis* – 0,31% (BRITO; BARRICHELO, 1978), porém para todas as madeiras o teor de cinzas foi considerado baixo, inferior a 5%, o que é positivo para o uso energético da madeira, tanto na forma de lenha como para a produção de carvão vegetal.

As médias das cinco espécies estudadas encontram-se nos limites definidos por PEREIRA *et al* (2000) que descreve que o teor de cinzas é a fração de areia e terra presente na madeira que pode variar de 0,5% a mais de 5%, isto depende também da espécie e da quantidade de casca existente.

4.2.3 Teor de Carbono Fixo (CF)

A análise estatística não demonstrou diferença significativa entre os valores de teor de carbono fixo relacionados às árvores das espécies *C. glaziovii* e *P. glabrata*, porém para as demais espécies estudadas esta diferença foi observada. A *H. alchorneoides* foi a espécie que obteve um maior teor de carbono fixo.

BRITO e BARRICHELO (1982) preconizam que o teor de carbono fixo na madeira deve estar numa faixa de 15 % a 25 %. Os teores de carbono fixo médio encontrados nas cinco espécies estudadas estão dentro destes limites.

Combustíveis com alto índice de carbono fixo carbonizam lentamente agindo diretamente no tempo de permanência nos fornos, comparando com aqueles que possuem um teor de voláteis menor (BRITO; BARRICHELO, 1982).

5 CONCLUSÕES

- a) Os agricultores não possuem um padrão de estocagem e nem o controle de umidade da madeira que será carbonizada;
- b) A manutenção da madeira estocada sob cobertura antes da carbonização, contribuiu para a redução significativa do teor de umidade, melhorando as características da madeira para produção de carvão;
- c) Existe uma forte correlação entre teor de umidade *in natura* e massa específica básica;
- d) A *M. scabrella*, *M. cinnamomifolia*, *H. alchorneoides* e a *P. glabrata* confirmam-se como “madeiras pesadas” e apresentam ótima densidade para a produção de carvão;
- e) A análise global das propriedades físicas e energéticas das 5 espécies avaliadas indica que as espécies que terão melhor desempenho para uso energético direto e para produção de carvão serão: *M. scabrella*, *H. alchorneoides* e *M. cinnamomifolia*, tendo comportamento similar e as que terão desempenho menos eficiente serão *P. glabrata* e *C. glaziovii*, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14929**. Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2003a.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11491**. Determinação da Densidade Básica. mar, 2003b.
- ARRUDA, T. P. M. *et al.* Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 949-955. 2011.
- ASTM. American Society for Testing and Material Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. **D 1762 – 84, 2001** (2007). West Conshohocken, PA: ASTM International, 2007, DOI: 10.1520/D1762-84R07. <http://www.astm.org>.
- BAUER, E. **Mudanças no uso da terra em Biguaçu – SC:** Agricultores em permanente processo de adaptação. 2012. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- BRAND, M. A. *et al.* Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido à partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar, em Biguaçu, Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. v. 41, p. 401, 2013.
- BRAND, M. A., **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.
- BRASIL, M.A.M.; FERREIRA, M. Características das fibras de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. Aos 3 anos de idade. IPEF, Piracicaba, SP, n. 19, p. 80-97, 1979.
- BRIANNE, D.; DOAT, J.: **Guide technique de la carbonisation**. Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie - Association Bois de Feu - Centre technique forestier tropical, 1985. 180p.

BRITO, J.O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: VI CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., PAN AMERICANO, 1., 1993, Curitiba, **Anais...** Curitiba: SBS, 1993. p.280-282.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. **IPEF**, 1979.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L.E.G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**. Piracicaba, SP, n.16, p.63-70, 1978

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L E.G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira a produção de carvão: 1 Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, SP, n. 14, p. 9-20, 1977.

BRITO, J.O. *et al.* Análise da Produção Energética e de Carvão Vegetal de Espécies de Eucalipto. **IPEF**, n.23, p.53-56, abr.1983

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G.; FONSECA, S.M. Bracatinga: características químicas do carvão vegetal. **Brasil Madeira**, Curitiba, PR, v. 3, n. 33, p.6-7, set. 1979.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: **SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS**, 2., 1982, São Paulo. São Paulo, 1982. p. 101-137.

CARMO, J.S. **Propriedades físicas e químicas do carvão vegetal destinado à siderurgia e metalurgia**. 1988. 36p. Monografia (Graduação em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

COTTA, A.M.G. 1996. **Qualidade do Carvão Vegetal para Siderurgia**. Monografia. Viçosa.

CUNHA, M.P.S.C. *et al.* Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: **Anais**, v.2, p. 93-121, São Carlos, 1989.

DIN. Deutsches Institut für Normung. **DIN 51900**: Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value. Berlim, 2000.

DOAT, J.; PETROFF, G. **La carbonization des bois tropicaux. Revue bois et forêts des tropiques. Nojent sur Marne/Francce. Centre Technique Forestier tropical - CTFT** 159: 55-72, jan./fev., 1975.

EARL, D.E. **Charcoal**. André Mayer Research Dellow. Food and Agriculture Orgazation of the United Nations. Roma. 1974, 97p.

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

FPL. Forest Products Laboratory. **Charcoal, Production Marketing and Use** - U.S. Department of Agriculture - Forest Service - 137p. 1961

FPL. Forest Products Laboratory. **Wood handbook:Wood as an engineering material**. Washington, Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, 1974. 521p. (Agriculture Handbook, 72).

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, Estação Climatológica e Sínotica de Florianópolis. **Dados Históricos de 1911 a 2009**. Epagri/Ciram, Florianópolis, 2009.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT**, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

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. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

MARCOS MARTÍN, F. **Otros aprovechamientos forestales.** Ed. Fernando Martín Asín. Madrid, 1997. 62p.

NEVES, et al. Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais, visando a produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, PR, v.31, n. 68, p. 319-330, 2011.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semi-árido nordestino.** 2003. 122f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

OLIVEIRA, E. et al. Efeito da qualidade da madeira sobre o rendimento e qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 13, n. 1, p. 85-97, 1989.

OLIVEIRA, E. et al. 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, 2010.

OLIVEIRA, J.B. et al. Produção de carvão vegetal, aspectos técnicos. In: CETEC. **Carvão vegetal**. Belo Horizonte, 1982. p. 63-102. (SPT 006).

PANSHIN, A.J.; De ZEEUW, C. 1980. **Textbook of technology**. 3. ed., New York, McGraw Hill. 722p.

PEREIRA, J. C. D.; LAVORANTI, O. J. **Comparação da qualidade da madeira de três procedências de *Mimosa scabrella* Benth. para fins energéticos.** Boletim de Pesquisa Florestal (EMBRAPA, Brazil), v. 12, p. 30-34, 1986.

PEREIRA, J.C.D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de *Eucalyptus* plantadas no Brasil.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38)

PEREIRA, J.C.D.; SCHAITZA, E. G.; SHIMIZU, J. **Características físicas, químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Eucalyptus benthamii*. Características da madeira de algumas**

espécies de Eucalyptus plantadas no Brasil. Curitiba: Embrapa Florestas; 1997. 2 p. (Relatório de Pesquisa em Andamento; n. 35).

PIMENTA, A. S.; BARCELLOS, D. C.; OLIVEIRA, E. **Carbonização.** Viçosa: UFV, 2008. 94 p. (Apostila).

PROTÁSIO, T.P. *et al.* Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v.40, n.95, p.317-326, 2012.

SILVA, V. R. **Análise Sócio-Ambiental da bacia do Rio Biguaçu-SC: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial.** 2007. 227f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TRUGILHO, P.F. *et al.* Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 2, p.259 - 267, 1997.

TRUGILHO, P.F. *et al.* Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, MG, v.7, n.2, p.104–114, 2001.

VALE, A.T. *et al.* Relação entre a densidade básica da madeira, o rendimento e a qualidade do carvão vegetal de espécies do cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, n. 89, p. 89-95, 2001.

VALENTE, O. F.; LELLES, A. R.: Carbonização da madeira. In: Associação Brasileira de Metais - ABM. **Carvão e coque aplicados à metalurgia**, 2a. ed. São Paulo, n.1, p. 85- 151, 1979.

VALENTE, O. F.; VITAL, B. L.: **A densidade da madeira e a produtividade em carvão vegetal.** Informativo SIF, Viçosa, 01: p. 1-6, mai.. 1985.

VALENTE, O.F. **Carbonização da madeira de eucalipto.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, MG, n. 141, p.74-79, 1986

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.10, n.2, p.151-160, 1986.

WENZL, H.F.J.: **The chemical tecnology of wood**. Academic Press, New York, 1970. 69.

CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA EM LABORATÓRIO E ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CARVÃO PRODUZIDO POR CINCO ESPÉCIES FLORESTAIS UTILIZADAS NO MUNICÍPIO DE BIGUAÇU, SC

1 INTRODUÇÃO

A produção de carvão vegetal tem origem na pré-história. Relatos históricos descrevem o uso dos produtos derivados do carvão vegetal para embalsamar os mortos no Egito (3.000 a.C.) (ROSILLO-COLLE; BEZZON, 2005). Na África por volta de 2.500 anos atrás, a arqueologia sugere que o abandono de uma região localizada próximo ao lago Vitória, deu-se devido ao desmatamento provocado pela produção de carvão vegetal para fabricação de ferro (NOOTEN; RAYMAEKERS, 1988).

Cerca de 1.100 a. C. na Europa, a produção de carvão vegetal tornou-se uma atividade industrial muito importante para a recuperação de ferro e outros metais. Antes da revolução industrial o carvão vegetal foi a principal fonte de energia usada para a produção de ferro. A Inglaterra usou grandes áreas florestais para fins carvoeiros em várias regiões do país, tal fato foi agravado por volta do século XVI, onde foi necessária a tomada de medidas importantes para preservação das florestas (SCHUBERT, 1957).

O carvão antes da segunda guerra mundial era o combustível mais utilizado no mundo. A descoberta do petróleo e o surgimento da energia nuclear tornaram o carvão uma fonte subsidiária de energia (PIMENTA *et al.*, 2008).

No Brasil, a origem da produção de carvão vegetal se dá conforme relatos, nas fundições da família Sardinha no século XVI. A história da produção de carvão vegetal no país está associada diretamente à história da produção de ferro-gusa em Minas Gerais, onde seu maior salto se deu a partir da década de 60, principalmente como agente redutor na siderurgia (ROSILLO-COLLE; BEZZON, 2005).

O Brasil é o maior produtor e consumidor de carvão vegetal, aonde sua principal utilização vem a ser como fonte energética e redutora (coque vegetal) principalmente pelo setor industrial, para fabricação de cimento, ferro gusa, aço e ferroligas (SEIXAS *et al.*, 2006; JOAQUIM, 2009).

Os setores que consomem mais carvão vegetal, em escala, são: o industrial, o residencial e o agrícola. O industrial equivale a 90% do consumo de toda a produção, somente o Estado de Minas Gerais

consome aproximadamente 63,5% do total, pois neste estão localizadas várias siderúrgicas que utilizam de forma direta este produto (Associação Mineira de Silvicultura, 2007).

Dados da Infoener – Sistema de Informações Energéticas e Cenbio – Centro Nacional de Referência em Biomassa (2006) revelam que o setor residencial consome cerca de 9% e em seguida vem o setor comercial (pizzarias, padarias e churrascarias) com 1,5% de consumo. Segundo a FAO (2008) a madeira usada como lenha ou carvão vegetal, é um combustível vital na cocção de alimento para uma grande parcela das comunidades em várias localidades do planeta.

No ano 2000, 9% de todo carvão vegetal produzido no país foi consumido pelas residências com a finalidade de cocção (MAPA, 2006). Já a partir de 2004, observou-se uma queda no consumo do carvão vegetal no Brasil, verificada principalmente no setor residencial. Porém de acordo com Brito e Cintra (2004), o uso deste produto tenderia a crescer principalmente nas famílias de baixa renda onde 30 milhões de brasileiros dependem desta energia oriunda da biomassa.

Quando se fala de carvão para uso domiciliar, a maioria dos Estados brasileiros carece de estudos referente a este produto, grande parte das pesquisas dedica-se ao estudo do carvão vegetal para uso industrial, fato este devido à representação econômica que esse insumo possui na produção do aço.

Ribeiro e Vale (2006) preconizam que para o carvão vegetal possuir boa qualidade para o uso doméstico, deve ter como características principais: alta densidade relativa aparente; alto teor de carbono fixo; alto poder calorífico; baixa umidade; baixo teor de materiais voláteis e baixo teor de cinzas.

Contudo a qualidade do carvão vegetal para o uso doméstico é muito variável e duvidosa, pois o controle da carbonização é difícil em grande parte dos fornos, este material é bastante heterogêneo, com variações principalmente em densidade, umidade, composição química, friabilidade, resistência mecânica, reatividade e higroscopididade (COUTINHO; FERRAZ, 1988).

No processo de carbonização ocorre a liberação de substâncias tóxicas; por este motivo quando o processo é mal conduzido ou a madeira utilizada é muito heterogênea, parte destas madeiras não carbonizam totalmente (tiços) permanecendo em sua estrutura uma alta concentração de materiais voláteis, que no momento da queima durante

o preparo de alimentos, podem contaminá-los através da liberação destas substâncias tóxicas (ROSA, 2010).

Uma falha no Código Florestal Brasileiro (2004), é que no mesmo não se encontra nenhuma norma que determine aos produtores de carvão vegetal, uma qualidade mínima exigida ou sequer uma regulamentação para usar como parâmetro. Porém assegura-se que o produto comercializado tenha baixa umidade, baixo teor de materiais voláteis, elevado teor de carbono fixo e ausência de “tiços” ou outras substâncias que podem contaminar o homem (ROSA, 2010).

Desta forma o Estado de Santa Catarina não se exclui deste cenário. Atualmente existem poucos estudos direcionados à produção e à qualidade do carvão vegetal para uso residencial, sendo este trabalho um dos primeiros que abordam de forma técnica à qualidade da madeira utilizada como matéria prima, bem como o carvão vegetal originado da mesma para uso doméstico, proveniente das propriedades familiares do município de Biguaçu S.C.

O processo de carbonização realizado no presente capítulo foi realizado em laboratório e de maneira controlada em termos experimentais e priorizou que os testes fossem o mais próximo possível da forma que os agricultores do município de Biguaçu produzem o carvão vegetal, a fim de dar suporte e parâmetros de rendimento, densidade aparente e teor de umidade apresentado a partir da carbonização de cinco espécies florestais utilizadas neste processo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO

O objetivo do processo de carbonização da madeira é o de aumentar o teor de carbono fixo através do tratamento térmico. Isto se dá pela ação de transformações físicas e químicas que ocorrem na matéria prima (PIMENTA *et al.*, 2008).

Quando a madeira é carbonizada, o carvão resultante do processo é somente uma porção dos possíveis produtos que podem ser originados. O uso de sistemas que permitem a recuperação do líquido pirolenhoso e dos gases-não condensáveis são mais eficientes, por sua vez é definido como destilação seca da madeira (PIMENTA *et al.*, 2008).

O carvão vegetal é originado pela carbonização ou pirólise da madeira quando a mesma é submetida a temperaturas entre de 450° C a 600° C e ausência de oxigênio (CENBIO, 2013). Este processo origina três produtos: sólido (carvão vegetal), líquido (pirolenhoso) e gasoso (não condensável).

Conforme Almeida e Resende (1982) o processo de carbonização divide-se em quatro etapas:

1 – SECAGEM: Fase em que a água da madeira evapora-se conforme a descrição a seguir:

- Até 110°C, interior das fibras (Higroscópica);
- A partir de 110°C a 150°C, absorvida pelas paredes das células;
- De 150°C a 200°C, a água que está quimicamente ligada.

2 – PRÉCARBONIZAÇÃO: Temperaturas entre 180°C a 200°C até 250°C a 300°C. Nesta fase ocorrem reações endotérmicas onde se formam uma porção de licor pirolenhoso e pequenas quantidades de gases não condensáveis.

3 – CARBONIZAÇÃO: De 250°C a 300°C, nesta fase uma reação exotérmica e violenta acontece, caracteriza-se também pela formação da maior parte do alcatrão e ácido pirolenhoso.

4 – FASE FINAL: O teor de carbono fixo eleva-se e por sua vez o teor de voláteis diminui. Esta fase também é marcada pela alta produção de alcatrão.

Segundo Oliveira *et al.*, (1982a) e Medeiros e Resende (1983), outra forma de definir os estágios do processo de carbonização pode ser descrita assim:

- Zona A: Até 200°C, temperatura onde ocorre a produção de gases não condensáveis (vapor d'água, CO₂, ácido fórmico e acético);
- Zona B: Etapa onde a temperatura varia entre 200 e 280°C, esta Zona produz os mesmos gases não condensáveis, porém com uma diminuição elevada de vapor d'água e aparecimento de CO; aqui as reações são endotérmicas;
- Zona C: Zona compreendida entre 280 a 500°C, as reações são exotérmicas, onde os produtos oriundos podem sofrer reações secundárias, incluindo combustíveis e alcatrão, CO e CH₄;
- Zona D: Acima de 500°C. Esta Zona é caracterizada pela presença de carvão. Aqui ocorrem inúmeras reações secundárias e o leito de carbonização serve de catalizador.

Pimenta *et al.* (2008) destaca a importância de se conhecer a matéria-prima (madeira) para se entender com clareza o processo produtivo do carvão vegetal; pois a qualidade da madeira varia entre espécies, entre indivíduos dentro da mesma espécie, internamente na árvore e conforme a idade da árvore. Assim, o carvão produzido também terá variação na sua qualidade.

A carbonização é um processo interessante, pois 30 a 40% da madeira submetida ao processo são recuperados na forma de carvão vegetal e, portanto, não são convertidos em gases (BRITO, 1990; CARIOCA; ARORA, 1984).

Segundo Brasil e Ferreira (1971) a densidade da madeira é uma das propriedades físicas de maior importância, já que a mesma afeta significativamente a qualidade do carvão vegetal produzido. Panshin e De Zeew (1980) lembram que a madeira é um material poroso, e neste caso a densidade depende da inclusão do volume de poros ou não. Caso o mesmo seja incluído se tem a densidade aparente. A não inclusão do volume de poros resultará em uma densidade chamada de real ou verdadeira, onde seja qual for a espécie em questão, corresponde a densidade da parede celular (1,53 g/cm³). Se for considerada a massa real seca e o volume úmido saturado de água, se tem a densidade básica.

Em termos de produção de carvão vegetal, devem-se considerar vários aspectos; um deles é que a densidade da madeira atua diretamente na capacidade de produção, pois se levando em consideração o volume do forno, madeiras mais densas geram um carvão mais denso e por sua vez uma produção final mais pesada (OLIVEIRA *et al.*, 1982a; BRITO, 1993).

Com relação à densidade do carvão vegetal, a mesma tem variação também conforme sua granulometria e a presença de trincas, isto terá influência sobre as demais propriedades do carvão. A densidade aparente, que considera a porosidade do carvão, tende a variar conforme as peças escolhidas (MENDES *et al.*, 1982).

Já o processo de carbonização em si, é bastante estudado com a finalidade de entender os mecanismos e os processos que levam madeira a se transformar em carvão. Sabe-se que este processo depende diretamente do tempo e da temperatura. Assim, quando as peças não submetidas a uma temperatura e em tempo adequado, a madeira não irá carbonizar em sua totalidade, formando “tições” (OLIVEIRA *et al.*, 1982b; MEDEIROS; RESENDE, 1983).

2.2 COMPORTAMENTO DOS COMPONENTES QUÍMICOS DA MADEIRA NA CARBONIZAÇÃO

A celulose é o componente da madeira mais estudado na carbonização e contribui pouco para o rendimento gravimétrico do carvão. A celulose a 300°C, submetido à atmosfera de nitrogênio produz 34,2% de carvão. Porém ocorre uma queda acelerada nesta porcentagem à medida que a temperatura eleva-se. A 600°C ela é totalmente degradada restando apenas 5% de carvão sendo pouco representativa no processo de carbonização (OLIVEIRA *et al.*, 1982b).

As hemiceluloses representam a formação da maior parte de ácido acético resultante do processo de carbonização que por ser amorfo é o componente da madeira menos estável (OLIVEIRA *et al.*, 1982b). A elevação da temperatura provoca uma alteração brusca nas hemiceluloses em se tratando do rendimento do carvão, pois a 500 °C o rendimento em carvão é apenas 10%, isto demonstra que as hemiceluloses contribuem muito pouco para a formação de carvão nos fornos de alvenaria (OLIVEIRA *et al.*, 1982b).

No caso da lignina, os trabalhos sobre seu processo de decomposição são poucos devido à dificuldade de isolá-la da madeira. A complexidade de sua estrutura possibilita a formação de vários compostos no processo de carbonização, dificultando o entendimento de seus mecanismos de decomposição tornando a lignina o principal elemento para a formação do carvão vegetal em termos de rendimento. Estudos de Sarkany e Ludwig (1971)

e Oliveira *et al.*, (1982b) mostraram que em temperaturas variando de 450 a 550 °C se obtém um rendimento em carvão de 55%.

Os três componentes descritos anteriormente (Celulose, Hemiceluloses e Lignina) geram produtos diferentes no processo, pois quimicamente também são diferentes. A determinação de quanto se perde em peso destes componentes é uma técnica importante para definir as etapas do processo de carbonização. Como a celulose se degrada rapidamente em um intervalo pequeno de temperatura, o seu peso é perdido por volta de 77 % a uma temperatura de 500°C; no caso das hemiceluloses a perda de peso ocorre em temperaturas próximas a 225°C degradando-se completamente a 325°C (SARKANEN; LUDWIG, 1971; OLIVEIRA *et al.*, 1982b).

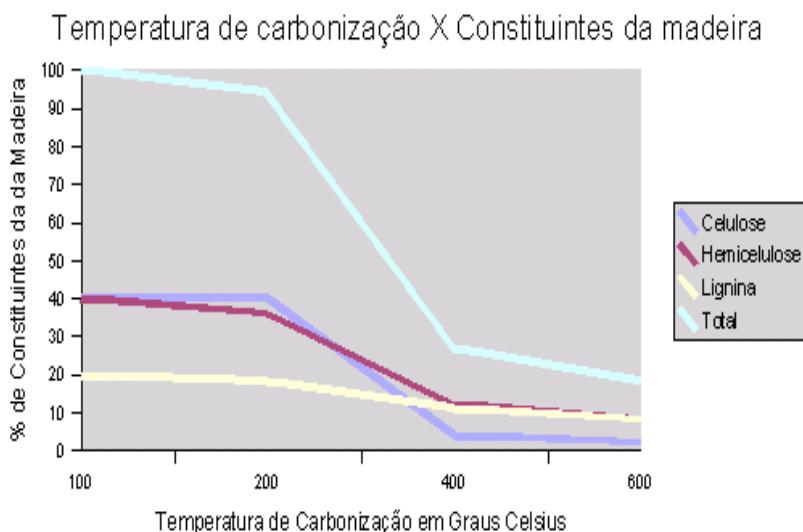
A temperatura afeta de forma direta individualmente cada um dos componentes químicos da madeira. Aos 200°C, inicia-se a decomposição da celulose e das hemiceluloses, esta é a temperatura em que 20% do peso original é perdido. No intervalo compreendido entre 200 a 300°C, ocorrem as reações de decomposição fazendo com que a fase sólida reduza o peso inicial em 40%. Quando a temperatura atinge valores superiores a 300°C, reduz a perda de peso, quando finalmente a 500°C resta 30% do peso inicial sob a forma de carvão (OLIVEIRA *et al.*, 1982b).

2.3 TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO

Como regra geral, à medida que se eleva a temperatura de carbonização, aumentam de forma direta os rendimentos de líquido e gás, e de maneira inversa ocorre a diminuição do rendimento em carvão. Seguindo outro raciocínio, com o aumento da temperatura de carbonização, os voláteis vão se perdendo, incrementando as fases líquida e gasosa, com isso induz uma elevação no teor de carbono fixo e considerável melhora na qualidade do carvão vegetal (PIMENTA *et al.*, 2008).

A Figura 4 descreve o comportamento dos constituintes da madeira em função da temperatura de carbonização.

Figura 4 – Degradação térmica dos componentes químicos da parede celular da madeira em função da temperatura.



Fonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC, 1982.

A taxa de aquecimento ou velocidade de aquecimento também pode influenciar de forma considerável a qualidade do carvão vegetal, e esta pode ser definida como a velocidade de elevação da temperatura em um intervalo de tempo, durante o processo de carbonização da madeira (PIMENTA *et al.*, 2008).

Durante a carbonização da madeira, uma maior taxa de aquecimento tem grande influência em termos de rendimentos gravimétricos de seus produtos e também no teor de carbono fixo do carvão vegetal (CETEC, 1982).

Pode-se definir o rendimento gravimétrico como sendo o rendimento em carvão ao final do processo de carbonização levando em consideração a matéria prima (madeira). Conforme Oliveira (1988) o rendimento gravimétrico possui correlações positivas com o teor de lignina total, teor de extrativo e densidade básica; e correlação negativa entre largura e diâmetro dos lumens das fibras. A temperatura máxima

média e a taxa de aquecimento lenta, também devem ser levadas em consideração na elevação do rendimento gravimétrico do carvão.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARBONIZAÇÃO

O procedimento de carbonização consistiu na confecção de em média sete corpos de prova para cada uma das três árvores de cada uma das cinco espécies estudadas, variando conforme o diâmetro da árvore, com dimensões aproximadas de 2 x 2 x 2,5 cm.

Posteriormente, os corpos de prova foram envolvidos com papel alumínio, identificados, e colocados em mufla, para carbonização, conforme rampa de aquecimento visualizada na Tabela 11.

Tabela 11 - Parâmetros utilizados para carbonização da madeira das espécies usadas para a produção de carvão vegetal em Biguaçu, SC.

Tempo (min (h)	Temperatura (°C)	Taxa de aquecimento (°C/min)
00	25	
20 (0:00 h)	150	7,50
87 (1:27 h)	200	2,30
184 (3:04 h)	250	1,36
288 (4:48 h)	350	1,22
362 (6:02 h)	450	1,24
394 (6:32 h)	450	

Fonte: produção do próprio autor.

As amostras foram pesadas e medidas antes da carbonização, para a determinação da massa específica aparente da madeira e do rendimento gravimétrico e volumétrico do carvão.

Após a carbonização e resfriamento, os corpos de prova foram novamente medidos e pesados para a determinação do rendimento volumétrico, rendimento gravimétrico e densidade específica aparente do carvão.

3.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA

Três corpos de prova, além dos utilizados para carbonização, foram selecionados para a determinação do teor de umidade, antes da carbonização.

O teor de umidade na base úmida foi determinado através da NBR 14929 (ABNT, 2003), que seria a diferença de pesagem entre o material úmido, antes da carbonização e após secagem em estufa a 103 ± 2°C, até peso constante, conforme equação abaixo.

$$H_s = (P_t - P_s)/P_t$$

Onde:

H_s = Teor de umidade na base úmida (%) (kg água/kg material nas condições de trabalho).

P_t = massa da amostra úmida (g), na condição de queima;

P_s = massa da amostra seca (g), estado da biomassa seca em estufa a 105°C, até peso constante.

3.3 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA

A densidade aparente da madeira foi calculada pela fórmula:

$$D_{ap} = P_{Ac}/V_{Ac}$$

Onde:

D_{ap} = Densidade aparente (g/cm^3);

P_{Ac} = Peso antes da carbonização (g);

V_{verde} = Volume antes da carbonização (g/cm^3).

3.4 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO CARVÃO

Foi obtido o teor de umidade na base úmida através da Balança Determinadora de Umidade Shimadzu - Modelo MOC-63U.

3.5 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO

A densidade aparente foi obtida por meio da equação abaixo:

$$Dap = P_{carvão}/V_{carvão}$$

Onde:

Dap = Densidade aparente (g/cm^3);

$P_{carvão}$ = Peso do carvão seco (g);

$V_{carvão}$ = Volume do carvão seco (g/cm^3).

3.6 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO DO CARVÃO

O rendimento gravimétrico (RG) foi determinado a partir da relação entre a massa seca do carvão e a massa seca da madeira, antes da carbonização (BRITO; BARRICHELO, 1977).

$$RG = [(Ps_{carvão}/ Ps_{madeira}) \times 100]$$

Onde:

RG = Rendimento gravimétrico (%);

$Ps_{carvão}$ = Peso absolutamente seco de carvão (g);

$Ps_{madeira}$ = Peso absolutamente seco de madeira (g).

3.7 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO VOLUMÉTRICO DO CARVÃO

O rendimento volumétrico (RV) foi determinado a partir da relação entre o peso seco do carvão e o volume da madeira antes da carbonização (BRITO; BARRICHELO, 1977).

$$RV = [(Ps_{carvão}/ V_{madeira}) \times 100]$$

Onde:

RV = Rendimento gravimétrico (%);

$Ps_{carvão}$ = Peso absolutamente seco de carvão (g);

$V_{madeira}$ = Volume de madeira (g/cm^3)

3.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As variáveis estudadas foram analisadas estatisticamente através da análise de variância (ANOVA) por meio do programa SPSS *statistics*. Antecedendo a ANOVA, aplicou-se o teste de Bartlett para verificação da homogeneidade de variâncias. Em todas as variáveis analisadas que apresentaram diferenças estatísticas significativas, aplicou-se o teste de comparação de médias pelo método de Tukey a 95% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 12 encontram-se as médias das propriedades físicas da madeira dos indivíduos (Teor de Umidade - TU, Massa Específica Básica e Massa Específica Aparente), analisadas antes da carbonização e os Teores de Umidade (TU), Rendimentos Gravimétricos, Rendimentos Volumétricos e Densidade Aparente do carvão produzido.

Tabela 12 - Propriedades físicas da madeira e do carvão obtidos na carbonização das espécies.

Propriedades Físicas das Espécies	Árvores		
	1	2	3
<i>Mimosa scabrella</i>			
TU da madeira (%)	12,37 a	12,44 a	14,09 a
Densidade Básica da madeira (g/cm³)	0,622 a	0,507 c	0,601 b
Densidade Aparente da madeira (g/cm³)	0,784 a	0,559 c	0,708 b
TU do carvão (%)	6,37 a	4,56 a	5,49 a
Densidade Aparente do carvão (g/cm³)	0,319 a	0,126 b	0,243 a
Rendimento Gravimétrico (%)	31 a	33 a	36 a
Rendimento Volumétrico (%)	21 a	16 a	22 a
<i>Cecropia glaziovii</i>			
TU da madeira (%)	11,68 a	11,77 a	11,50 a
Densidade Básica da madeira (g/cm³)	0,200 a	0,210 a	0,242 a
Densidade Aparente da madeira (g/cm³)	0,194 b	0,260 a	0,206 b
TU do carvão (%)	5,35 ab	4,92 b	5,73 a
Densidade Aparente do carvão (g/cm³)	0,126 a	0,086 b	0,097 ab
Rendimento Gravimétrico (%)	38 a	32 a	32 a
Rendimento Volumétrico (%)	7 a	8 a	6 a
<i>Miconia cinnamomifolia</i>			
TU da madeira (%)	14,28 a	10,03 b	14,27 a
Densidade Básica da madeira (g/cm³)	0,551 b	0,609 a	0,564 b
Densidade Aparente da madeira (g/cm³)	0,666 a	0,682 a	0,642 a
TU do carvão (%)	5,34 a	6,21 a	3,95 b
Densidade Aparente do carvão (g/cm³)	0,268 b	0,341 a	0,324 a
Rendimento Gravimétrico (%)	36 a	35 a	37 a
Rendimento Volumétrico (%)	20 a	22 a	20 a
<i>Hieronyma alchorneoides</i>			
TU da madeira (%)	11,68 b	10,08 c	16,82 a
Densidade Básica da madeira (g/cm³)	0,739 a	0,438 c	0,546 b
Densidade Aparente da madeira (g/cm³)	0,841 a	0,512 c	0,631 b
TU do carvão (%)	5,87 a	5,81 a	4,56 b
Densidade Aparente do carvão (g/cm³)	0,445 a	0,308 b	0,280 b

Rendimento Gravimétrico (%)	37 a	35 a	37 a
Rendimento Volumétrico (%)	28 a	16 c	20 b
<i>Pera glabrata</i>	1	2	3
TU da madeira (%)	18,52 a	23,73 a	19,70 a
Densidade Básica da madeira (g/cm³)	0,611 b	0,629 a	0,642 a
Densidade Aparente da madeira (g/cm³)	0,621 a	0,647 a	0,682 a
TU do carvão (%)	1,37 b	1,05 b	2,13 a
Densidade Aparente do carvão (g/cm³)	0,354 a	0,385 a	0,389 a
Rendimento Gravimétrico (%)	31 b	35 a	33 b
Rendimento Volumétrico (%)	17 a	19 a	19 a

Fonte: produção do próprio autor.

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na linha, não apresentam variação estatística significativa entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

A tabela 13 compara as médias das propriedades físicas das espécies obtidas na carbonização e os rendimentos gravimétricos e rendimentos volumétricos do carvão.

Tabela 13 - Propriedades físicas da madeira e do carvão das cinco espécies estudadas.

Propriedades Analisadas	Espécies				
	<i>Mimosa scabrella</i>	<i>Cecropia glaziovii</i>	<i>Miconia cinnamomifolia</i>	<i>Hieronyma alchorneoides</i>	<i>Pera glabrata</i>
TU madeira (%)	12,96 b	11,65 b	13,01 b	13,17 b	19,70 a
MEB madeira (g/cm³)	0,577 a	0,217 b	0,575 a	0,574 a	0,627 a
MEA madeira (g/cm³)	0,683 a	0,220 b	0,663 a	0,660 a	0,650 a
TU carvão (%)	5,47 a	5,34 a	5,17 a	5,41 a	1,52 b
MEA carvão (g/cm³)	0,289 a	0,103 b	0,311 a	0,344 a	0,376 a
RG carvão (%)	33 a	34 a	36 a	37 a	33 a
RV carvão (%)	20 a	7 b	21 a	21 a	19 a

Fonte: produção do próprio autor.

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na linha, não apresentam variação estatística significativa entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

4.1 TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA

Houve diferença significativa entre as médias de teor de umidade comparando as árvores dentro das espécies: *C. glaziovii*, *M. cinnamomifolia* e *H. alchorneoides*. Em relação à *M. scabrella* e *P. glabrata* não houve diferença significativa para este parâmetro.

Comparando as médias das espécies, a *P. glabrata* foi a que apresentou um maior teor de umidade (19,70%) no momento da carbonização, as demais não apresentaram diferença significativa entre as médias.

De acordo com Marcos Martín (1997), a umidade da madeira interfere em maior escala no rendimento em carvão que a própria espécie analisada. Briane e Doat (1985) observaram a mesma relação negativa entre teor de umidade da madeira e rendimento gravimétrico do carvão.

Klitzke (1998) em seu estudo com *M. scabrella* de diferentes espécies, salienta que há uma tendência do rendimento em carvão de diminuir com o aumento do teor de umidade da madeira.

4.2 DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA

Ocorreu diferença significativa entre as médias das árvores dentro das espécies de *M. scabrella*, *C. glaziovii* e *H. alchorneoides*, já para as árvores de *H. cinnamomifolia* e *P. glabrata* não houve diferença estatística para o Teste de Tukey ($p>0,05$).

Analizando as médias de densidade aparente entre as espécies de *M. scabrella*, *M. cinnamomifolia*, *H. alchorneoides* e *P. glabrata*, não houve diferença significativa.

4.3 TEOR DE UMIDADE DO CARVÃO

Para teor de umidade do carvão entre as médias das árvores dentro das espécies, houve diferença significativa, com exceção das árvores de *M. scabrella*, onde esta diferença não foi observada pelo teste de Tukey. Analisando a média das espécies para este parâmetro, houve diferença significativa somente entre a *P. glabrata* em relação às demais espécies estudadas. Estas diferenças não excederam 2% de umidade,

sendo que, de forma geral, os valores obtidos ficaram próximos àquele desejado para o uso doméstico.

A média entre árvores apontou uma variação no teor de umidade entre 1,52% e 5,41%, o que demonstra um ótimo padrão de umidade referente ao uso doméstico deste produto a partir das espécies estudadas. O Selo Premium, promulgado pela a Resolução n°10 SAA, de 11 de julho de 2003, no estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2003) determina que a umidade do carvão vegetal para uso doméstico deve estar abaixo de 5%.

A *P. glabrata*, como apresentou menor teor de umidade (1,52%) e o mais próximo do determinado pelo Selo Premium para qualidade do carvão doméstico, seria a melhor espécie para este uso.

Os resultados foram similares aos obtidos por Rosa *et al.* (2012) em seu trabalho com amostras de carvão vegetal de várias origens que variaram entre 4,17 e 5,57%.

Ribeiro e Vale (2006), em um estudo sobre qualidade do carvão vegetal para o uso doméstico concluíram que o carvão comercializado em Brasília era o de melhor qualidade, pois além de apresentar ótimos valores de teor de carbono fixo, poder calorífico e densidade mais elevada; menor teor materiais voláteis e teor de cinzas, a análise revelou um teor de umidade igual a 3,99%.

Já Paula *et al.* (2009) em seu estudo sobre a qualidade do carvão vegetal para o uso doméstico, vendido na região de Lavras, Minas Gerais – MG obtiveram resultado de 7,45% para teor de umidade, concluindo então que o carvão vegetal comercializado em Lavras não era de boa qualidade.

4.4 DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO

Houve diferença significativa quanto à densidade aparente do carvão entre as médias das árvores dentro das espécies, com exceção das amostras pertencentes a *P. glabrata* que também foi o que apresentou maior média para densidade aparente entre as cinco espécies.

A análise revelou pelo coeficiente de correlação de Pearson, uma forte influência da massa específica básica da madeira sobre a massa específica aparente do carvão entre todas as espécies (Tabelas 14-18). A *P. glabrata* que apresentou maior média para massa específica básica ($0,639 \text{ g/cm}^3$) gerou um carvão com maior média para densidade aparente ($0,376 \text{ g/cm}^3$) dentre as espécies. Já a *C. glaziovii* apresentou

em sua madeira uma menor média para massa específica básica ($0,271 \text{ g/cm}^3$) e a carbonização da espécie produziu um carvão com a menor média de densidade aparente ($0,103 \text{ g/cm}^3$). Esta correlação direta entre massa específica básica da madeira e densidade aparente do carvão foi encontrada também por outros autores (DOAT; PETROFF, 1975; BRITO; BARRICHELO, 1980; OLIVEIRA *et al.*, 1982b; VALENTE; VITAL, 1985; OLIVEIRA *et al.*, 1989).

Tabela 14 – Correlações para *M. scabrella*.

Correlações		MEA Carvão	MEB Madeira	RG Carvão
MEA Carvão	Correlação de Pearson	1	0,784**	-0,09
	Sig. (2 extremidades)		0	0,637
	N	30	30	30
MEB Madeira	Correlação de Pearson	0,784**	1	-0,133
	Sig. (2 extremidades)	0		0,483
	N	30	30	30
RG Carvão	Correlação de Pearson	-0,09	-0,133	1
	Sig. (2 extremidades)	0,637	0,483	
	N	30	30	30

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01.

Tabela 15 – Correlações para *C. glaziovii*.

Correlações		MEA Carvão	MEB Madeira	RG Carvão
MEA Carvão	Correlação de Pearson	1	0,849**	0,426*
	Sig. (2 extremidades)		0	0,019
	N	30	30	30
MEB Madeira	Correlação de Pearson	0,849**	1	-0,013
	Sig. (2 extremidades)	0		0,946
	N	30	30	30
RG Carvão	Correlação de Pearson	0,426*	-0,013	1
	Sig. (2 extremidades)	0,019	0,946	
	N	30	30	30

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01;

*A correlação é significativa no nível 0,05 .

Tabela 16 – Correlações para a *M. cinnamomifolia*.

	Correlações	MEA Carvão	MEB Madeira	RG Carvão
MEA Carvão	Correlação de Pearson	1	0,859**	0,758**
	Sig. (2 extremidades)		0	0
	N	30	30	30
MEB Madeira	Correlação de Pearson	0,859**	1	0,675**
	Sig. (2 extremidades)	0		0
	N	30	30	30
RG Carvão	Correlação de Pearson	0,758**	0,675**	1
	Sig. (2 extremidades)	0	0	
	N	30	30	30

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01.

Tabela 17 – Correlações para a *H. alchorneoides*.

	Correlações	MEA Carvão	MEB Madeira	RG Carvão
MEA Carvão	Correlação de Pearson	1	0,712**	0,500**
	Sig. (2 extremidades)		0	0,001
	N	39	39	39
MEB Madeira	Correlação de Pearson	0,712**	1	0,231
	Sig. (2 extremidades)	0		0,158
	N	39	39	39
RG Carvão	Correlação de Pearson	0,500**	0,231	1
	Sig. (2 extremidades)	0,001	0,158	
	N	39	39	39

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01.

Tabela 18 – Correlações para a *P. glabrata*.

Correlações		MEA Carvão	MEB Madeira	RG Carvão
MEA Carvão	Correlação de Pearson	1	0,605**	- 0,415**
	Sig. (2 extremidades)		0	0,009
	N	39	39	39
MEB Madeira	Correlação de Pearson	0,605**	1	- 0,442**
	Sig. (2 extremidades)	0		0,005
	N	39	39	39
RG Carvão	Correlação de Pearson	- 0,415**	- 0,442**	1
	Sig. (2 extremidades)	0,009	0,005	
	N	39	39	39

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01.

A média da densidade aparente do carvão da *P. glabrata* (0,376 g/cm³) foi similar aos valores obtidos por Rosa *et al.* (2012) que avaliou amostras de carvão vegetal comercializados no estado do Espírito Santo, obtendo valores 0,373 e 0,379 g/cm³, para várias procedências do carvão.

A *M. cinnamomifolia* também apresentou densidade aparente do carvão (0,344 g/cm³) que juntamente com a *P. glabrata* (0,376 g/cm³) superaram aos valores obtidos por Botrel *et al.* (2007) para clones híbridos de *Eucalyptus* com 78 meses de idade (0,336 g/cm³).

A média da densidade aparente do carvão para a *M. scabrella* (0,289 g/cm³), foi superior às apresentadas por Klitzke (1998) que ao carbonizar madeiras de bracatinga com 3, 5 e 7 anos, encontrou valores de 0,265 g/cm³, 0,243 g/cm³ e 0,261 g/cm³, respectivamente.

As médias de todas as espécies foram inferiores aos valores dos carvões de clones de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* com 7 anos de idade, que foi em média de 0,448 g/cm³ (TRUGILHO *et al.*, 2001). Porém outro trabalho realizado por OLIVEIRA *et al.* (1989), determinaram a densidade aparente do carvão de *E. grandis*, encontrando valores a partir de 0,24 até 0,36 (g/cm³), ou seja similares aos da *M. scabrella* (0,289 g/cm³), *M. cinnamomifolia* (0,344 g/cm³), *H. alchorneoides* (0,311 g/cm³) e *P. glabrata* (0,376 g/cm³).

Oliveira *et al.* (1982c) ao analisar *E. grandis* com 6 e 10 anos, observou que quanto maior a densidade da madeira, maior a densidade do carvão vegetal produzido, pois com uma massa específica da madeira de 0,60 g/cm³ e 0,71 g/cm³, a densidade aparente do carvão foi de 0,32 g/cm³ e 0,41 g/cm³, respectivamente.

4.5 RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO DO CARVÃO

Houve diferença significativa somente entre as médias das árvores de *P. glabrata*. Para as demais espécies e entre as médias das cinco espécies carbonizadas esta diferença não foi observada.

As médias de rendimento gravimétrico entre as espécies variaram de 33% a 37% sendo superiores aos encontrados por Neves *et al.* (2011), que avaliando a qualidade do carvão obtido de clones de *Eucalyptus* obtiveram valores de 30,89% a 32,08%; porém foram inferiores aos de Chagas (2010), que trabalhando com carbonização de *Eucalyptus* com diferentes diâmetros e teores de umidade concluiu que o rendimento gravimétrico diminui (38,7% para 37,7%) com o aumento do teor de umidade (0% à 32%).

Estes valores foram similares aos encontrado por Brand *et al.* (2013), que ao carbonizar a madeira de *M. cinnamomifolia*, encontraram um rendimento gravimétrico em carvão de 36%.

Klitzke (1998), carbonizando bracatinga obteve rendimento gravimétrico médio de 28,83% e 25,74% para madeira com 15% e 30% de umidade. Silva e Machado (2011), carbonizando cinamomo com 13% de umidade na base seca, obtiveram rendimento de 32,96%.

Através do coeficiente de correlação de Pearson, observou-se uma correlação moderada entre massa específica básica da madeira (MEB madeira) e rendimento gravimétrico do carvão (RG Carvão) para as espécies *M. cinnamomifolia* (ver Tabela 19) e *P. glabrata* (ver Tabela 20).

Tabela 19 – Correlações para *M. cinnamomifolia*.

	Correlações	MEB Madeira	RG Carvão
MEB Madeira	Correlação de Pearson Sig. (2 extremidades) N	1 30	0,675** 0 30

RG Carvão	Correlação de Pearson	0,675**	1
	Sig. (2 extremidades)	0	
	N	30	30

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01.

Tabela 20 – Correlações para *P. glabrata*.

	Correlações	MEB Madeira	RG Carvão
MEB Madeira	Correlação de Pearson	1	- 0,442**
	Sig. (2 extremidades)		0,005
	N	39	39
RG Carvão	Correlação de Pearson	- 0,442**	1
	Sig. (2 extremidades)	0,005	
	N	39	39

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01.

Existe uma correlação moderada entre massa específica aparente do carvão (MEA Carvão) e rendimento gravimétrico (RG Carvão) para as espécies *C. glaziovii*, *M. cinnamomifolia*, *H. alchorneoides* e *P. glabrata* (ver Tabelas 21- 24).

Tabela 21 – Correlações para *C. glaziovii*.

	Correlações	MEA Carvão	RG Carvão
MEA Carvão	Correlação de Pearson	1	0,426*
	Sig. (2 extremidades)		0,019
	N	30	30
RG Carvão	Correlação de Pearson	0,426*	1
	Sig. (2 extremidades)	0,019	
	N	30	30

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01;

*A correlação é significativa no nível 0,05 .

Tabela 22 – Correlações para *M. cinnamomifolia*.

Correlações		MEA Carvão	RG Carvão
MEA Carvão	Correlação de Pearson	1	0,758**
	Sig. (2 extremidades)		0,000
	N	30	30
RG Carvão	Correlação de Pearson	0,758**	1
	Sig. (2 extremidades)	0,000	
	N	30	30

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01.

Tabela 23 – Correlações para *H. alchorneoides*.

Correlações		MEA Carvão	RG Carvão
MEA Carvão	Correlação de Pearson	1	0,500**
	Sig. (2 extremidades)		0,001
	N	39	39
RG Carvão	Correlação de Pearson	0,500**	1
	Sig. (2 extremidades)	0,001	
	N	39	39

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01.

Tabela 24 – Correlações para *P. glabrata*.

Correlações		MEA Carvão	RG Carvão
MEA Carvão	Correlação de Pearson	1	- 0,415**
	Sig. (2 extremidades)		0,009
	N	39	39
RG Carvão	Correlação de Pearson	- 0,415**	1
	Sig. (2 extremidades)	0,009	
	N	39	39

Fonte: produção do próprio autor.

**A correlação é significativa no nível 0,01.

De acordo com Vale *et al.* (2001) o aumento do rendimento gravimétrico não se mostra relacionado ao incremento da densidade básica da madeira e da densidade aparente do carvão.

4.6 RENDIMENTO VOLUMÉTRICO DO CARVÃO

Houve diferença significativa somente entre às médias das árvores dentro da espécie *H. alchorneoides*. Analisando as médias entre as espécies, somente a *C. glaziovii* obteve diferença significativa, a qual produziu um carvão de menor densidade e menor rendimento volumétrico.

De acordo com Brito e Barrichelo (1977) levando em consideração um mesmo volume de madeira, geralmente correspondente à capacidade do forno de carbonização, existe uma relação positiva entre um carvão mais denso maior rendimento volumétrico.

5 CONCLUSÕES

- a) O teor de umidade do carvão apresentado pelas cinco espécies encontra-se dentro dos parâmetros determinados pelo Selo Premium, para carvão doméstico;
- b) Existe correlação entre massa específica básica da madeira e densidade aparente do carvão;
- c) A *P. glabrata* foi a espécie que apresentou maior média para densidade aparente do carvão;
- d) A *C. glaziovii* é a que produz o carvão com menor densidade na carbonização, característica não desejada em termos de produção;
- e) Não houve diferença significativa entre os rendimentos em carvão para as madeiras das cinco espécies;
- f) A densidade aparente do carvão da *P. glabrata* é superior a *M. scabrella*, contrariando a idéia dos agricultores de que a madeira de bracatinga é a que produz o carvão mais denso entre as espécies estudadas;
- g) Mesmo a *P. glabrata* tendo média de densidade aparente do carvão superior às demais espécies, não foi observado diferença estatística entre as médias da *M. scabrella*, *M. cinnamomifolia* e *H. alchorneoides*; sendo as mesmas ótimas espécies para a produção de carvão;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14929**: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2003.

ALMEIDA, M. R.; RESENDE, M. E. A. O Processo de carbonização contínua da madeira. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: 1982. p.141-156 (Série de Publicações Técnicas, 8).

AMS. Associação Mineira de Silvicultura. **Anuário estatístico 2008**. Minas Gerais, 2007. Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br/>>. Acesso em: 17 mar. 2010.

BOTREL, M. C. *et al.* Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 391-398, 2007.

BRAND, M. A. *et al.* Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido à partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar, em Biguaçu, Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 41, p. 401 - 410, 2013.

BRASIL, M.A.A.; FERREIRA, M. 1971. Variação da densidade básica da madeira de *Eucayiptus alba* Reinw, *E. saligna* Smith e *E. Grandis*, Hill ex Maiden aos cinco anos de idade, função do local e do espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, SP, n. 2/3, p. 129-149.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa IBAMA nº 112, de 21 de Agosto de 2006. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 ago. 2006. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em: 23 set. 2013.

BRASIL. Senado Federal. **Código Florestal**. Brasília: Subsecretaria de Edições Técnicas, 2004.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation**. Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie - Association Bois de Feu - Centre technique forestier tropical, 1985. 180p.

BRITO, J. O. Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais. **Estudos Avançados.** n° 9, São Paulo, 1990.

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

BRITO, J. O.; CINTRA, T. C. Madeira para energia no Brasil: realidade, visão estratégica e demandas de ações. **Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 1, n. 2, p. 157-163, 2004.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G.: Correlações entre características físicas e químicas da madeira para produção de carvão: 2 Densidade da madeira x densidade do carvão. **IPEF**, Piracicaba, SP, n. 20, p. 121-6, 1980.

BRITO, J.O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. **IPEF**, Piracicaba.6p. (Circular técnica nº 181). 1993.

CARIOCA, J. O. B.; ARORA, H.L. **Biomassa- Fundamentos e Aplicações Tecnológicas**. Edição UFC/BNB.1984

CENBIO. Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Extração Vegetal**. 2013. Disponível em
<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=289&z=t&o=18&i=P>>Acesso em: 25 de mar. 2013

CETEC. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. 1982. **Produção e Utilização de Carvão Vegetal**. Séries Técnicas CETEC, Belo Horizonte, 393 p.

CHAGAS, L. Secagem natural da madeira no campo para produção de carvão vegetal. In: **FORUM NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL**, 2., 2010, Sete Lagoas: SIF, 2010. Disponível em:
http://www.sif.org.br/arquivos_internos/downloads/Leonardo+Chagas.pdf. Acesso em: 13 dezembro. 2013.

COUTINHO, A. dos R.; FERRAZ, E. S. B. Determinação da friabilidade do carvão vegetal em função do diâmetro das árvores e temperatura de

carbonização. **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais**, Piracicaba, n.38, p.33-37, 1988.

DOAT, J.; PETROFF, G.: **La carbonization des bois tropicaux**. Reveu bois et forêts des tropiques. Nojent sur Marne/France. Centre Technique Forestier tropical - CTFT 159: 55- 72, jan./fev., 1975.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Wisdom for cities**: analysis or wood energy and urbanization using WISDOM methodology. Washington, 2008. Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em: 25 set. 2013.

Infoener. Sistema de Informações Energéticas. Banco de Dados de Biomassa no Brasil - **Carvão Vegetal**. Disponível em: <http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_carvao.asp 2006>. Acesso em: 25 set. 2013.

JOAQUIM, M. S. **Carvão vegetal**: Uma alternativa para produtores rurais do Sudeste Goiano. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: <http://efl.unb.br/arq_pdf/dissertacao/2009/Maisa_Santos_Joaquim.pdf>. Acesso em: 25 set. 2013.

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. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

MARCOS MARTÍN, F. **Otros aprovechamientos forestales**. Ed. Fernando Martín Asín. Madrid, 1997. 62p.

MEDEIROS, C. A.; RESENDE, M. E.A. Alcatrão vegetal: perspectivas de produção e utilização. **Revista da Fundação João Pinheiro**, Belo Horizonte, MG, v. 13, n. 9-12, p. 42-48, 1983.

MENDES, M.G.; GOMES, P.A.; OLIVEIRA, J.B. 1982. **Propriedades e controle da qualidade do carvão vegetal. Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC. p.77-89.

NEVES, T. A. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais, visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319- 330, 2011.

NOOTEN, F.; RAYMAEKERS, V. Early iron smelting in Central Africa. **Scientific American**. 259 (1), 1988. p. 84.

OLIVEIRA, E. de et al. Efeito da qualidade da madeira sobre o rendimento e qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.13, n. 1, p. 85-97, 1989.

OLIVEIRA, E. de. **Correlação entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de Eucalyptus grandis** (W. Hill ex-Maiden). 1988. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1998.

OLIVEIRA, J.B.de. GOMES, P.A.; ALMEIDA, M.R.de. Propriedades do carvão vegetal. In: PENEDO,W.R. (ed) **Carvão vegetal**: destilação, carvoejamento, controle de qualidade. Belo Horizonte, CETEC. p.39-61. 1982a.

OLIVEIRA, J.B.de.; VIVACQUA FILHO, A.; GOMES, P.A. Produção de Carvão Vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W.R. (ed) **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte, CETEC. p.60-73. 1982b.

OLIVEIRA, J.B. et al. Produção de carvão vegetal, aspectos técnicos. In: CETEC. **Carvão vegetal**. Belo Horizonte, 1982c. p. 63-102. (SPT 006).

PANSHIN, A.J.; De ZEEUW, C. 1980. **Textbook of wood technology**. 3. ed., New York, McGraw Hill. 722p.

PAULA, L. E. de R.; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. N. **Avaliação de uma amostra de carvão vegetal de Eucalyptus para uso doméstico comercializado em Lavras/MG**. Remade, 2009. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 19 abr. 2013.

PIMENTA, A. S.; BARCELLOS, D. C.; OLIVEIRA, E. **Carbonização**. Viçosa: UFV, 2008. 94 p. (Apostila).

RIBEIRO, P. G.; VALE, A. T. Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico. In: Reunião Anual da SBPC., 58, 2006, Florianópolis - SC. **Anais...58^a** Reunião Anual da SBPC., 2006. v. 01. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra/SENIOR/RESUMOS/resumo_1078.html>. Acesso em: 20 abr. 2013.

ROSA, R. A. **Qualidade do carvão vegetal, para uso doméstico, comercializado em três municípios do estado do Espírito Santo.** 2010. 55 p. Monografia (Engenheiro Industrial Madeireiro) - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

ROSA, R. A. et al. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity.** Tocantins, v. 3, n. 2, p. 41-48, 2012.

ROSILLO-CALLE, F.; BEZZON, G. Produção e uso de carvão vegetal. In ROSILLO-CALLE, BAJAY E ROTHMAN (org). **“Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira”.** Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2005.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. **Resolução n°10 SAA, de 11 de julho de 2003.** São Paulo, 2003.

SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. 1971. **Lignins: occurrence, formation, structure and reaction.** New York, John Wiley & Sons, 916p.

SCHUBERT, H. R. **History of the British iron and steel industry.** Londres: Rantledge and Keagan Paul. 1957.

SEIXAS, F.; COUTO, L.; RUMMER, R. B. Harvesting short-rotation woody crops (srwc) for energy. **Biomassa e Energia**, Viçosa, MG, v. 3, n. 1, p.1-16, 1 jan. 2006. Disponível em:
<http://www.renabio.org.br/arquivos/p_colheita_energia_14678.pdf>. Acesso em: 27 set. 2013.

SILVA, M. M.; MACHADO, G. O. Teor de umidade da madeira e rendimento gravimétrico do carvão de cinamomo (*Melia azedarach* L.). In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – EAIC, 20.,

ENCONTRO DE PESQUISA – EPUEPG, 10., 2011, Ponta Grossa,
Anais... Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2011.
Disponível em:<http://eventos.uepg.br/eaic/portal/>. Acesso em: 12 dezembro
2012.

TRUGILHO, P. F. *et al.* Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção
de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

VALE, A. T. *et al.* Relação entre a densidade básica da madeira, o
rendimento e a qualidade do carvão vegetal de espécies do cerrado. **Revista
Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, n. 89, p. 89-95, 2001.

VALENTE, O. F.; VITAL, B. L.: A densidade da madeira e a
produtividade em carvão vegetal. **Informativo SIF**, Viçosa, 01: p. 1-6, mai.
1985.

PROPRIEDADES ENERGÉTICAS E ANATÔMICAS DO CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DE CINCO ESPÉCIES FLORESTAIS UTILIZADAS EM BIGUAÇU, SC

1 INTRODUÇÃO

O carvão vegetal produzido nas propriedades rurais do município de Biguaçu, S.C., é proveniente de um sistema artesanal, característica principal da produção carvoeira no Brasil.

O uso de fornos convencionais do tipo “rabo-quente” construídos pelos próprios agricultores familiares é comum na região e apesar de ser um sistema de produção rudimentar, é bastante eficiente.

Os fornos são de alvenaria e de fácil construção; usam-se tijolos e argila, variando de um a dois fornos por propriedade familiar, os quais geralmente ficam distantes das áreas de manejo havendo a necessidade do transporte da madeira através de locais íngremes e de difícil acesso, tornando o trabalho bastante árduo. Os meios de transportes utilizados para o deslocamento até os fornos são: o “carro de boi”, micro tratores (tobatas) ou transporte braçal.

A madeira é transportada próximo aos fornos, onde geralmente as “pilhas de secagem” ficam ao ar livre sofrendo a ação do ambiente ou ficam por várias semanas na própria área de manejo expostas ao ambiente. Poucos produtores preocupam-se em armazenar a madeira em local coberto, permanecendo nestes locais por alguns dias ou até mesmo por meses com teor de umidade relativamente elevado. Sabe-se que a umidade da madeira é uma propriedade física de suma importância a ser analisada na produção de carvão, pois a mesma interfere diretamente no processo produtivo e por sua vez na qualidade do carvão vegetal.

Todo o tipo de madeira é carbonizado, o forno é abastecido manualmente com as diversas espécies presentes na mata nativa, de diferentes diâmetros e tamanho. Não existe padronização do material para aperfeiçoar o processo produtivo e principalmente melhorar a qualidade do carvão produzido. Prioriza-se a carbonização dos troncos, dificilmente os galhos são utilizados, a não serem os de maiores diâmetros.

O “período de queima” até o carvão dar “o ponto” é variável conforme a condição ambiental, podendo levar em média três dias caso o ambiente esteja quente e seco. Ao dar “o ponto” que é identificado pela

coloração da fumaça e pela temperatura das paredes, os fornos sofrem o processo de resfriamento que pode levar vários dias.

Passado o resfriamento, inicia-se o descarregamento, onde o carvão é embalado em sacos de cimento, transportado até galpões próximos à residência dos produtores para armazenamento. Este carvão é vendido para terceiros e posteriormente distribuído em mercados e armazéns da região.

Apesar do conhecimento do processo produtivo ser empírico e existir pouca informação técnica a respeito da qualidade da madeira usada para a produção de carvão bem como da qualidade do carvão vegetal produzido, os agricultores realizam a atividade com muita eficiência. Observa-se que comparado aos testes de laboratório, a qualidade do carvão produzido nos fornos de alvenaria da região, equipara-se em termos de qualidade.

Um tipo de estudo que pode ser difundido nestas comunidades a fim de melhorar o processo produtivo, são os que envolvam a descrição anatômica da madeira e sua influência na variabilidade da qualidade do carvão vegetal produzido pelas espécies presentes na floresta.

Diante dos fatores expostos, acredita-se que os agricultores da região de estudo atingiram o domínio do processo produtivo e provavelmente a variação existente na qualidade do carvão não está ligada a este processo e sim na grande riqueza de espécies florestais que compõe este produto.

Portanto este trabalho teve por objetivo realizar a análise das propriedades energéticas do carvão produzido em laboratório comparado ao produzido nos fornos de alvenaria de alguns agricultores do município de Biguaçu, bem como realizar a descrição anatômica do carvão produzido a partir das espécies em estudo, a fim de proporcionar dados preliminares sobre a caracterização das mesmas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

A produção de carvão vegetal no município de Biguaçu é uma atividade bastante complexa que inicialmente exige dos agricultores um vasto conhecimento da floresta e de seus recursos (VILLAZÓN, 2013).

Uma característica importante no processo produtivo nas áreas de estudo é o uso dos fornos de alvenaria como instrumento para a carbonização. Segundo Pimenta *et al.* (2008), estes fornos possuem algumas vantagens tais como: facilidade para vedar as entradas de ar, fácil controle do processo de carbonização, o seu custo é baixo, simples de ser construído e possibilita o seu deslocamento conforme a área de exploração.

De acordo com Pimenta e Barcellos (2000), os fornos de alvenaria resultam em um carvão com baixo rendimento gravimétrico e consequente baixa utilização da matéria prima. Os gases resultantes da carbonização são lançados diretamente no meio ambiente, afetando a saúde dos trabalhadores. As paredes de tijolos e argila são más condutoras de calor, acarretando em um maior período de resfriamento do carvão dificultando manuseio, carga e transporte. Além disso, o carvão produzido é desuniforme, conforme a posição das peças no forno. Existem tições no chão como carvão com teor de carbono fixo em 80% que se forma na parte superior.

No caso do carvão para uso industrial, a qualidade do carvão vegetal não atende as características técnicas das indústrias consumidoras, como por exemplo, composição química, poder calorífico, densidade a granel e resistência mecânica. O trabalho é braçal, requerendo elevado esforço dos trabalhadores e o conhecimento empírico dificulta o treinamento de mão-de-obra para padronização do processo (PIMENTA; BARCELLOS, 2000).

As áreas de estudo na região de Biguaçu são de topografia bastante accidentada e geralmente estes fornos encontram-se em locais de difícil acesso na maioria das vezes nas partes mais altas dos morros, onde se percorre muitas vezes distâncias acima de 1 km (VILLAZÓN, 2013).

No “Brasil existem dois tipos de fornos mais comuns, o “rabo-quente” e o “superfície ou colméia”. O “rabo-quente” é feito de tijolos, na maioria das vezes sem chaminé, de aproximadamente 3 a 7 metros de diâmetro, uma porta e capacidade de 4,5 e 250 toneladas de madeira. O de “superfície ou colméia”, também construído com tijolo, possui de 1 a 6

chaminés, uma ou duas portas e capacidade de 17,5 e 75 toneladas de madeira. Os pontos positivos destes fornos são o baixo custo, simetria no momento de carbonização da madeira e a possibilidade de serem construídos próximos as florestas; porém o controle da temperatura e do oxigênio torna-se difícil (ROSILLO-CALLE; BEZZON, 2005).

No município de Biguaçu, o forno do tipo “rabo-quente” é o mais característico nas propriedades familiares (VILLAZÓN, 2013). Devido à sua simplicidade e baixo custo. Sua construção é à base de tijolos e argamassa de barro e areia. A finalidade desta mistura com areia é diminuir as trincas que se formam nos fornos durante as carbonizações (CETEC, 1982).

Algumas características do forno rabo-quente devem ser consideradas, como por exemplo, o fato de resultar em um carvão com baixo rendimento gravimétrico e qualidade variável devido à posição das peças no forno. Outra dificuldade encontrada em seu uso é em relação ao controle empírico da carbonização, feito através das observações da fumaça ou do calor da parede, o que desfavorece o controle adequado da temperatura e da taxa de aquecimento que são fatores preponderantes para a qualidade do carvão vegetal. O manuseio constante do carvão na descarga gera um grande número de finos, o qual é uma característica indesejável para a produção (PIMENTA *et al.*, 2008).

As etapas de operação do forno são o carregamento, que é a colocação da lenha na parte interna; a carbonização e a descarga do carvão produzido. O uso de madeira com baixa umidade é imprescindível para que o forno tenha um bom rendimento (CETEC, 1982).

Os agricultores do município de Biguaçu carregam os fornos com madeira úmida ou seca, de espécies e diâmetros variados, prolongando o tempo de trabalho em até 12 h, desde o transporte da madeira das áreas de manejo até os fornos por muitas vezes em aclive (VILLAZÓN, 2013).

Após carregar o forno, fecha-se a porta e se faz a ignição por meio de um buraco deixado na parte superior da porta, com auxílio de materiais que pegam fogo com facilidade (tiços ou gravetos). Neste processo observa-se o andamento da combustão pela coloração da fumaça, que no início é esbranquiçada e de cor escura quando a combustão está ocorrendo, é neste momento que a porta pode ser totalmente fechada (CETEC, 1982).

Quando se procede ao fechamento do orifício, a fumaça começa a sair pelas “baianas” onde a mesma possui uma cor branca ou meio encardida, que no decorrer do tempo torna-se azulada; a cor azulada é o indicativo que as “baianas” devem ser fechada. A carbonização

desuniforme da madeira pode ser afetada pelo carregamento mal feito do forno, variação nos tamanhos e na umidade, variações climáticas como ventos fortes e chuvas. Estes fatores levam uma constante vigilância do forno no processo de carbonização (CETEC, 1982).

A temperatura ótima para o forno ser descarregado é de mais ou menos 60°C; o que deve ser observado com cuidado é que não se deve abrir um forno caso não esteja suficientemente frio, pois a entrada de ar provoca incêndio do carvão. Em média, do acendimento a retirada do carvão, leva-se 7 dias; três dias para carbonização propriamente dita, três dias para esfriar e um dia para descarregar/encher o forno (CETEC, 1982).

O carvão vegetal é produzido nestes fornos de alvenaria, sem controle dos processos, pouca tecnologia e dependente da mão-de-obra humana. O processo de produção ainda é o mesmo de séculos passados. A baixa tecnologia, processos de carbonização e controles quantitativos e qualitativos da produção são inexistentes (BRITO, 1990).

2.2 ESTUDOS ANATÔMICOS DA MADEIRA E DO CARVÃO

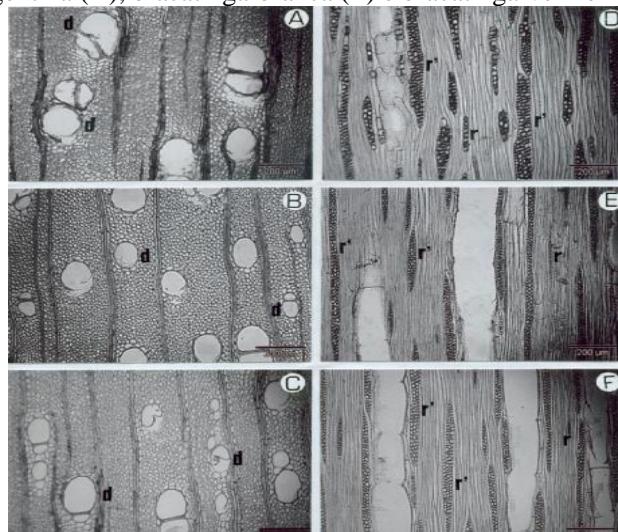
Em relação aos estudos sobre anatomia da madeira que buscam uma melhoria no processo produtivo como um todo as características físicas, químicas e anatômicas da madeira estão relacionadas diretamente às propriedades do carvão vegetal produzido (TRUGILHO; SILVA, 2004).

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho constatou-se que a literatura sobre a descrição anatômica do carvão das espécies estudadas é escassa. No entanto, foi possível encontrar referências bibliográficas que descrevem a anatomia do lenho das cinco espécies em estudo.

Estudos anatômicos microscópicos comparativos, entre três variedades populares da *M. scabrella* (ver Figura 5) realizados por Fabrowski *et al.* (2005), apresentaram as seguintes características: porosidade difusa, a forma da seção dos poros é oval, bem visíveis, ausência de conteúdo sendo a maioria solitários e em múltiplos radiais, com regularidade de 6-11-18 poros/mm². Os elementos vasculares podem ser curtos ou longos com uma variação de 160-286-390 µm, o conteúdo possui coloração escura, diâmetro tangencial pequeno a médio variando de 50-105-138 µm com paredes estreitas medindo 5-6-8 µm, espessamentos espiralados e outras estriações nas paredes ausentes, apêndices raros. Possui placas com perfuração simples, próximas do sentido transversal. Pontoações intervасculares ovais a poligonais, diâmetro de 5-7-8 µm, abertura externa, semelhante a uma fenda horizontal, inclusa e protegida;

abertura interna, delgada, exclusa, comumente longo-coalescente. Pontoações radio-vasculares e parênquimo-vasculares, alternas e adornadas, não aderentes.

Figura 5 - Fotomicrografias do lenho de *Mimosa scabrella*, Bentham. Seção transversal (A, B, C) destacando o diâmetro tangencial dos poros (d): mm e a quantidade de poros/mm² da bracatinga-argentina (A), bracatinga-branca (B) e bracatinga-vermelha (C). Seção tangencial (D, E, F) destacando a largura (mm) dos raios unisseriados (r) e os multisериados (r') da bracatinga-argentina (D), bracatinga-branca (E) e bracatinga-vermelha (F).



Fonte: Fabrowski *et al.* (2005).

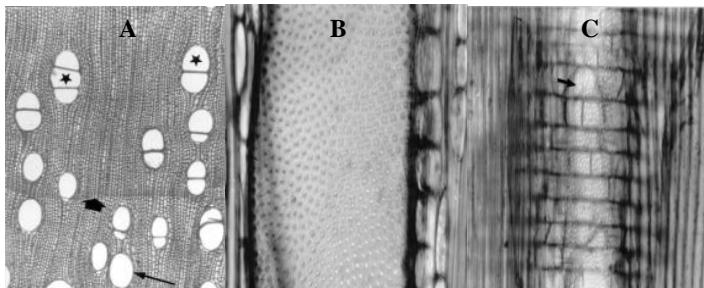
As pontoações radio-vasculares e pontoações parênquimo-vasculares são semelhantes, com abertura externa delgada e inclusa; abertura interna delgada, comumente exclusa. Parênquima axial visível a olho nu, pouca quantidade, em camadas, geralmente paratraqueal vasicêntrico, podendo às vezes ser aliforme até curto-confluente. Células de parênquima axial apresentam forma de fuso, podendo medir de 50-111-175 µm de altura e 15- 27-43 µm de diâmetro tangencial. Células de parênquima axial seriadas com altura entre 170-298-370 µm e 2 a 4 células por série. Parênquima radial: raios homogêneos, comuns, presença ou não

de conteúdo, o número de raios por mm varia entre 4-7-9 raios, ausência de células especiais (FABROWSKI *et al.*, 2005).

Na periferia dos raios, as células procumbentes são comumente altas, curtas e regularmente irregulares. Apresenta poucos raios unisseriados, baixos (48-137-298 μm), de extremamente finos a muito finos (5-10-20 μm) e com 2-8-18 células de altura. Raios multisseriados, de extremamente baixos a médios (130-874-2.700 μm), de extremamente finos a medianamente espessos (10-30-53 μm) com 8-54-203 células de altura e 2-3-5 células de largura, na maioria trisseriados, abundantes bisseriados e tetrasseriados. As fibras constituem-se de tecido fibroso proeminente, libriformes, não-septadas, frequentemente gelatinosas, com pontoações simples muito pequenas, de extremamente curtas a curtas (550-899-1.220 μm), de estreitas a médias (10-18-28 μm de diâmetro) e com diâmetro do lume de 5-10-18 μm (FABROWSKI *et al.*, 2005).

Analizando a anatomia da madeira da *M. cinnamomifolia* (ver Figura 6), a espécie apresenta camadas de crescimento distintas, onde as fibras do lenho tardio são achatadas e possuem espessamento parietal maior. Os elementos de vasos são de porosidade difusa (3-7)(-12) vasos/ mm^2 ; isolados, em múltiplos de 2-4 ou ocasionalmente em cachos de 3-4 elementos; arranjo difuso; seção circular a oval; diâmetro tangencial de (81-)147(-216) μm ; comprimento de (320-)572(-899) μm ; paredes com espessura de 4 μm ; placas de perfuração simples; pequenas pontoações intervesselares, alternadas, em forma de círculo e ornamentadas; pontoações raio-vasculares e parênquimovasculares parecidas na forma e no tamanho com às intervesselares, algumas são alongadas horizontalmente e verticalmente (MARCON; COSTA, 2000).

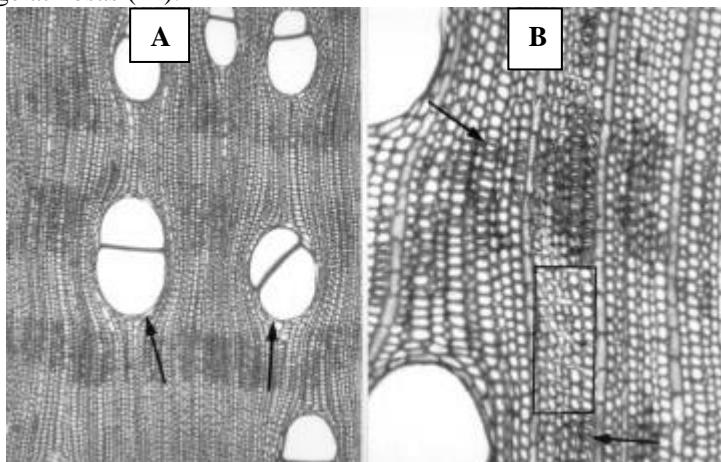
Figura 6 – *M. cinnamomifolia*. Seção transversal evidenciando camada de crescimento (A) demarcada pelo achatamento e maior espessamento parietal das fibras no lenho tardio (\rightarrow); porosidade difusa; elementos de vaso solitários (\rightarrow) e em múltiplos de 2 e 3 elementos (). Seção tangencial (B): Pormenor de um elemento de vaso, evidenciando a forma e a disposição das pontoações intervasculares. Seção radial (C): Detalhe das pontoações raio-vasculares.



Fonte: Marcon e Costa (2000).

As fibras libriformes medem (627-) 875 (-1474) μm de comprimento; diâmetro tangencial de (10-)19(-24) μm ; lume de (4)10(-17) μm ; paredes delgadas a espessas; apresenta faixas contínuas de fibras que se assemelham a parênquima alternadas com fibras típicas (Figura 7). As fibras destas faixas apresentam paredes delgadas, lume largo (13-) 20 (-32) μm e vários espaços intercelulares, seção transversal (ver Figura 7); as pontoações aparecem na parede radial dos dois tipos de fibras; fibras gelatinosas e septadas presentes. O parênquima axial é paratraqueal escasso, em grupos de 2 a 14 células, com (151-)511(-693) μm de altura. Os raios medem (10-)14(-17)/mm; unisseriados e unisseriados com partes bisseriadas, unidas por células quadradas e eretas, procumbentes raras: largura de (13-)21(-36) μm ; altura de (124-)383(-976) μm ; raios em forma de fusos. Presença de mácula medular (MARCON; COSTA, 2000).

Figuras 7 – *M. cinnamomifolia*. Seção transversal (A), evidenciando faixas de fibras típicas, de coloração mais escura alternadas com faixas de fibras semelhantes a parênquima que apresentam coloração mais clara; parênquima axial paratraqueal escasso (→). Seção transversal (B): Detalhe das fibras semelhantes a parênquima (□) que se diferenciam por apresentar paredes mais delgadas, lúmen mais largo e espaços intercelulares; presença de fibras gelatinosas (→).



Fonte: Marcon e Costa (2000).

A descrição anatômica macroscópica da madeira da Licurana (ver Figura 8) mostra a presença de vasos em porosidade difusa, sem padrão, solitários, com diâmetro tangencial variando de (120–)200–300 µm e freqüência de 4-7 vasos/mm². O comprimento dos elementos vasculares está entre 590–1220–1730 µm. As placas de perfuração são simples. Possui pontoações intervesselares distribuídas de forma opostas ou alternadas, a medida do diâmetro vertical das mesmas são de 6–10 µm. Raramente pontoações intervesselares. As pontoações radiovasculares apresentam aréolas pequenas ou simples, a forma é arredondada, angulares, horizontais a verticais, o tipo dos elementos são adjacentes ou no mesmo sentido compostas e grossa. Presença de tilos, paredes delgadas (RICHTER; DALLWITZ, 2000).

Figura 8 – *H. alchorneoides*. Seção transversal (A), seção tangencial (B) e seção radial (C).

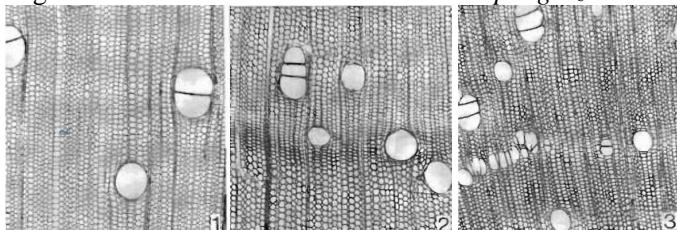


Fonte: Richter e Dallwitz (2000).

Em relação às fibras e traqueídos, os traqueídeos são vasculares ou vasicênicos presentes de maneira comum. A espessura das paredes das fibras é média. O comprimento das fibras varia de 1700– 3480 µm. Apresenta pontoações das fibras nas paredes radial e tangencial, visivelmente areoladas. O parênquima axial é apotraqueal difuso em agregados e em série, com 3-8 células por série. Número de raios está entre 6-10 por mm, multiseriados, com 3-7 células de largura. Dois tamanhos de raios, a altura dos mesmos comumente é maior de 1000 µm, formados por dois ou mais tipos de células (heterocelulares). Raios heterocelulares apresentam células quadradas e eretas específicas das fileiras marginais, com 2-4 fileiras ou com mais de 4 fileiras. Não apresenta estrutura estratificada e nem canais intercelulares (RICHTER; DALLWITZ, 2000).

ALVES (1995) avaliou a estrutura anatômica da madeira da espécie *C. glaziovii* (ver Figura 9), coletadas no Vale do Rio Pilões, no Estado de São Paulo, em árvores com altura média de 11 m e DAP entre 15 a 17 cm. A madeira de *C. glaziovii* tem vasos difusos, solitários e múltiplos de 2 a 3 poros e raramente 4, placa de perfuração simples, o diâmetro dos vasos variou de 160 a 210 µm, as pontoações intervesselares são alternas (12 a 15 µm), as raio-vasculares tem as aréolas muito pequenas, parecendo simples. As fibras têm pontoações simples muito pequenas (1,0 a 1,3 mm de comprimento). O tipo de parênquima predominante é paratraqueal escasso ou vasicêntrico com algumas partes confluentes. Os raios são trisseriados ou multisseriados com 4 células de largura, sendo que os trisseriados são compostos unicamente por células eretas ou quadradas. Os multisseriados tem a região central composta por células procumbentes e margens com células eretas e quadradas.

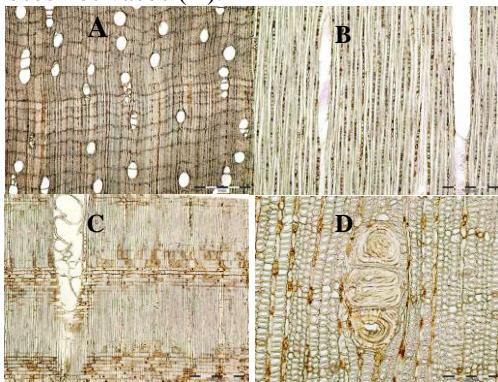
Figura 9 – Anatômica da madeira da *Cecropia glaziovii*.



Fonte: Alves (1995).

A anatomia da madeira da *P. glabrata* (ver Figura 10), caracteriza-se por ser uma madeira de porosidade difusa, vasos com disposição sem ser específica, em grupos radiais curtos com 2–3 vasos ou em grupos radiais de 4 vasos ou mais. No sentido tangencial medem 120–180 µm de diâmetro. A frequência varia de 5–8 vasos/mm². Já o comprimento dos elementos vasculares pode atingir 350–850 µm. Possui placas de perfuração simples, com pontoações intervasculares alternadas, com 9–11 µm de diâmetro. As pontoações radiovasculares apresentam aréolas, assim com as pontoações intervasculares. Ausência de tilos (RICHTER; DALLWITZ, 2000).

Figura 10 – *Pera glabrata*. Seção transversal (A), seção tangencial (B), seção radial (C) e tiloses nos vasos (D).



Fonte: Richter e Dallwitz (2000).

Em relação às fibras e aos traqueídos, as fibras possuem paredes com espessura média, com comprimento variando de 1044–1674 µm.

Presença de pontoações que se restringem às paredes radiais, simples ou com aréolas minúsculas. O parênquima axial em faixas, é de característica fina com até 3 células de largura; já o parênquima axial em série, apresenta 5-8 células/série de parênquima axial. O número de raios é de 10–15/mm, somente uma série, formado por dois ou mais tipos de células (heterocelulares), com forma quadradas e eretas restringidas a fileiras marginais, na maioria das vezes 1 fileira de células quadradas e eretas (RICHTER; DALLWITZ, 2000).

O carvão vegetal que é o produto resultante da combustão incompleta da madeira, mantém a estrutura anatômica de sua matéria prima. Pode-se realizar a partir do mesmo a identificação botânica da espécie que o originou, levando-se em consideração as características anatômicas da espécie, a dimensão dos pedaços do carvão e o estado de preservação do material (MARGUERIE; HUNOT, 2007).

Estudos sobre a análise anatômica do carvão das espécies *Pouteria macrophylla* e *Micropholis guianensis* (MUÑIZ et al. 2013), *Copaifera cf. langsdorffii* e *Dipteryx odorata* (NISGOSKI et al. 2012), *Cedrelinga catenaeformis* Ducke e *Enterolobium schomburgkii* Benth (MUÑIZ et al. 2012a), e outras espécies florestais (MUÑIZ et al. 2012b) concluíram que a uma temperatura final de 450°C as alterações dimensionais ocasionadas pela carbonização da madeira, não interferiram no aspecto qualitativo das características anatômicas do carvão, possibilitando a diferenciação das espécies e a identificação do lenho carbonizado por meio da descrição da madeira

Vernet e Thiebault (1987) destacaram a importância da identificação de espécies a partir de madeira carbonizada e o uso de técnicas e equipamentos de microscopia para análise da estrutura anatômica do carvão, as quais tornaram os estudos mais rápidos, sendo também importante na antracologia.

Quando se fala de fiscalização do carvão, é de suma importância a análise das estruturas anatômicas para a identificação do mesmo (MUÑIZ et al., 2012b). De acordo com Gonçalves et al. (2008) a identificação taxonômica de espécies tem como principal base a comparação anatômica de estruturas carbonizadas com amostras de madeiras.

2.3 ASPECTOS SOBRE A LEGISLAÇÃO

Outro problema enfrentado pelos agricultores na região de estudo e que interfere diretamente em todo o processo, está relacionado à legislação

para o carvão vegetal, principalmente porque a matéria prima em sua grande parte é originada de floresta nativa e a partir daí surgem vários entraves na produção.

Em termos gerais os Estados da Federação individualmente, possuem suas próprias leis relacionadas à produção do carvão vegetal. Estas leis, que obedecem ao Código Florestal Brasileiro, abrangem selos, certificados, registros, documentos, notas fiscais, guias, etc, a fim de controlar a produção, a comercialização e crimes que venha a ser cometidos contra o meio ambiente (ROSA, 2010).

De acordo com a Instrução Normativa do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA nº112, de 21 de Agosto de 2006, ao produtor de carvão vegetal de origem nativa, é necessário Documento de Origem Florestal do produto (DOF), no qual apresenta informações de origem do carvão a fim de melhorar o controle do transporte e armazenamento; o mesmo será identificado por meio de um código e deve vir acompanhado da expressão “preto”, caracterizando-o como carvão vegetal (BRASIL, 2006a).

O município de Biguaçu encontra-se na formação Floresta Ombrófila Densa pertencente ao Bioma Mata Atlântica. A Lei 11.428 em seu artigo nº 8 do dia 22 de dezembro de 2006, diz que o corte desta vegetação deve ser feito conforme seu estado de regeneração (BRASIL, 2006b). Estes critérios são ditados pela resolução 04/1994 do CONAMA (BRASIL, 1994), que segundo sua classificação, torna o processo ilegal já que a mata é derrubada em estágio avançado de regeneração.

Alguns Estados da Federação são exemplos na organização de questões legais relacionadas à produção, transporte, armazenamento e comercialização do carvão vegetal. Um exemplo é o estado de Minas Gerais, que de acordo com Rosa (2010) possui uma legislação bastante rigorosa em relação ao cumprimento tanto das leis internas quanto federais desde a sua produção até ao consumidor final. O autor ainda destaca a Portaria do Instituto Estadual de Florestas – IEF nº. 106, de 02 de setembro de 2002 (MINAS GERAIS, 2002), onde instituiu o Selo Ambiental Autorizado (SAA) que procura controlar e a Guia de Controle Ambiental (GCA) que legaliza o transporte, armazenamento, comercialização e transferência de produtos e subprodutos florestais, inclusive o carvão vegetal.

Outro exemplo é o Estado do Espírito Santo que criou a Instrução Normativa do Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo – IDAF nº 003, de 22 de julho de 2008 (ESPIRITO SANTO, 2008),

que tem o intuito de controlar a produção e os estabelecimentos de produção de carvão.

O Estado de São Paulo, em 2003, criou o Selo Premium para o carvão vegetal, promulgado pela Resolução nº10 SAA, de 11 de julho de 2003, que infere alguns padrões mínimos para que o carvão produzido adquira este selo. Alguns aspectos desta resolução estão relacionados aos níveis técnicos de umidade do carvão vegetal que deve estar abaixo de 5,00%, o teor de carbono fixo (CF) deve ser maior que 75,00%, teor de voláteis (TV) e o teor de cinzas (TC) devem ser menores que 23,50% e 1,50% respectivamente (SÃO PAULO, 2003).

Em se falando de direito do consumidor, o Selo Premium é um avanço, podendo ser implantado em outros estados (ROSA, 2010). Como o Estado de Santa Catarina não possui nenhuma normativa que forneça padrões mínimos de qualidade do carvão, este selo poderia perfeitamente ser adotado, salvo talvez algumas adaptações em relação à origem e a qualidade da matéria prima.

Uma importante iniciativa promovida pela Rede Sul Florestal (RSF), esta sendo em relação ao manejo da *M. scabrella* (Bracatinga), espécie exótica na região de Biguaçu. Os processos de manejo desta espécie já estão bem encaminhados e com grandes perspectivas.

Segundo Siminski (2009), a Lei 11.428/2006 (BRASIL, 2006b) e o Decreto 6.660/2008 (BRASIL, 2008), fundamentam formas de manejo para espécies que crescem rapidamente e se mostram potencialmente fortes para seu uso múltiplo, considerando o manejo de formações da floresta secundária.

Algumas sugestões das várias propostas pela Rede Sul Florestal para os órgãos legisladores e fiscalizadores são: tratar as áreas de Bracatingais, como plantio (floresta antrópica); fomentar pesquisas relacionadas ao melhoramento genético da espécie; aprimorar os técnicos e agricultores por meio de capacitação; elaborar uma política florestal no estado que também englobe as espécies nativas; maior assistência técnica aos agricultores para o licenciamento; etc.

Outro passo importante tomado foi em relação ao transporte e ao comércio do carvão. A RSF busca a elaboração/aprovação de uma normativa sobre o transporte do carvão no Estado de Santa Catarina, onde não existe um parâmetro legal para estas atividades.

Vale também destacar a criação de uma embalagem para o armazenamento do carvão vegetal produzido nas comunidades do município de Biguaçu, uma parceria da RSF e dos agricultores locais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de carvão para a análise energética foram provenientes da carbonização em laboratório dos corpos de prova confeccionados a partir das cinco espécies florestais em estudo.

Também foram coletadas amostras de carvão produzidas nos fornos de alvenaria nas propriedades de dois agricultores das comunidades estudadas, aqui chamado de “Carvão Biguaçu”, a fim de comparar a qualidade deste carvão com o carbonizado em laboratório. Este carvão é proveniente da carbonização direta de diversas espécies presentes na floresta.

Foi realizada também uma carbonização exclusiva para que fosse possível descrever a anatomia do carvão a partir do lenho das cinco espécies estudadas.

3.1 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR

O poder calorífico Superior foi determinado em Calorímetro C 2000 basic – IKA WERKE, conforme a norma DIN 51900 (DIN, 2000). Para tal, 3 corpos de prova carbonizados de cada espécie florestal, foram triturados em moinho martelo e posteriormente, as amostras foram pesadas (aproximadamente 1,000 g) em Balança Determinadora de Umidade a fim de baixar a umidade das mesmas até atingir 0%. Fendo este procedimento as amostras foram colocadas no calorímetro o qual fornece diretamente no visor as leituras de Poder Calorífico Superior.

3.2 DETERMINAÇÃO DA ANÁLISE IMEDIATA

O teor de cinzas (700°C), a porcentagem de carbono fixo e porcentagem de voláteis (900° C) foram determinados em Termobalança gravimétrica TGA, *Automatic Multiple Sample Thermogravimetric Analyzer TGA – 2000 – Navas Instruments*, conforme a norma ASTM 1762 (ASTM, 2007). Para que esta análise fosse possível, parte do material carbonizado de cada espécie florestal foi triturado em moinho martelo e acondicionado em estufa a 105°C por 24 h até atingir 0% de umidade. Ao fim de 24 h, as amostras foram retiradas da estufa e guardadas em dessecador. Após um período de resfriamento, em média de 1,500 g de cada amostra, foi colocada nos cadinhos componentes do TGA para a análise imediata.

3.3 ANÁLISE ANATÔMICA DO CARVÃO

O procedimento de carbonização consistiu na confecção de em média cinco corpos de prova, variando conforme o diâmetro da árvore, com dimensões aproximadas de 2 x 2 x 2,5 cm.

Posteriormente, os corpos de prova foram envolvidos com papel alumínio, identificados, e colocados em mufla, para carbonização, conforme rampa de aquecimento descrita no Capítulo III.

O carvão foi quebrado manualmente seguindo os três planos estruturais do lenho. A analise do carvão foi efetuada estereoscópio Discovery.V12 da Zeiss.

A descrição das características anatômicas qualitativas foi feita com base nos procedimentos que constam nas normas do Iawa Committee (1989). As fotos das superfícies dos três planos de corte do carvão foram feitas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) equipamento TM-1000 da Hitachi. Todos os procedimentos e a análise anatômica foram realizados no Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira da UFPR.

Foram efetuadas 30 medições para cada característica na amostra em função da variação natural da madeira.

3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As variáveis estudadas foram analisadas estatisticamente através da análise de variância (ANOVA) por meio do programa SPSS *Statistics*. Antecedendo a ANOVA, aplicou-se o teste de Barttlet para verificação da homogeneidade de variâncias. Em todas as variáveis analisadas que apresentaram diferenças estatísticas significativas, aplicou-se o teste de comparação de médias pelo método de Tukey a 95% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE ENERGÉTICA DO CARVÃO

Os resultados da análise energética e da análise imediata do carvão vegetal produzido a partir de cinco espécies florestais de Biguaçu encontram-se na Tabela 25.

Tabela 25 - Análise energética e imediata do carvão vegetal de amostras carbonizadas a partir das 5 espécies presentes nas áreas de estudo.

ESPÉCIE	ÁRVORE	PCS (Kcal/Kg)	TV (%)	TC (%)	CF (%)
<i>Mimosa</i>	1	6.837 b	29,39 b	2,06 a	68,55 b
<i>scabrella</i>	2	6.750 b	34,08 a	1,29 b	64,64 c
(Bracatinga)	3	7.377 a	27,69 b	1,57 b	70,96 a
<i>Cecropia</i>	1	6.653 a	36,36 a	3,08 b	60,56 ab
<i>glasiovi</i>	2	6.491 b	32,54 b	4,42 a	63,04 a
(Embaúba)	3	6.577 a	36,11 a	3,54 ab	60,35 b
<i>Miconia</i>	1	6.465 a	32,40 b	2,01 b	65,59 a
<i>cinnamomifolia</i>	2	6.479 a	36,57 a	3,23 a	60,20 b
(Jacatirão)	3	6.078 b	31,10 b	1,83 b	67,07 a
<i>Hyeronima</i>	1	6.742 a	28,98 ab	1,36 b	69,66 ab
<i>alchorneoides</i>	2	6.850 a	27,51 b	1,43 b	71,06 a
(Licurana)	3	6.654 a	34,65 a	4,95 a	60,40 b
<i>Pera glabrata</i>	1	5.762 a	29,06 b	4,49 a	66,45 a
(Seca Ligeiro)	2	5.466 b	33,73 a	4,52 a	61,75 b
	3	5.722 a	32,02 ab	3,29 b	64,69 a

Fonte: produção do próprio autor.

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam variação estatística significativa entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

A Tabela 26 faz a comparação das médias da análise energética e da análise imediata do carvão vegetal produzido em laboratório a partir de cinco espécies florestais com o carvão produzido pelos agricultores de Biguaçu, SC.

Tabela 26 - Comparação das médias da análise energética e imediata de cinco espécies florestais com carvão produzido nos fornos de alvenaria em Biguaçu, SC.

ESPÉCIE	PCS (Kcal/Kg)	TV (%)	TC (%)	CF (%)
<i>Mimosa scabrella</i> (Bracatinga)	6.988 ab	30,38 ab	1,57 a	68,05 ab
<i>Cecropia glaziovii</i> (Embaúba)	6.573 bc	35,00 a	3,68 a	61,32 b
<i>Miconia cinnamomifolia</i> (Jacatirão)	6.341 c	33,36 ab	2,36 a	64,29 ab
<i>Hieronyma alchorneoides</i> (Licurana)	6.748 abc	30,38 ab	2,58 a	68,76 a
<i>Pera glabrata</i> (Seca Ligeiro)	5.650 d	31,60 ab	4,10 a	64,30 ab
Carvão Biguaçu	7.215 a	26,66 b	2,56 a	71,04 a

Fonte: produção do próprio autor.

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam variação estatística significativa entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

4.1.1 Poder Calorífico Superior (PCS)

Houve diferença significativa entre as médias das árvores dentro das espécies estudadas para poder calorífico superior, com exceção das árvores da *H. alchorneoides* onde houve homogeneidade neste parâmetro. Analisando as médias entre espécies, também houve diferença significativa.

A média mais elevada observada para o Carvão Biguaçu (7.215 Kcal/Kg) foi semelhante estatisticamente ao da *H. alchorneoides* (6.748 Kcal/Kg) e da *M. scabrella* (6.988 Kcal/Kg). Para o parâmetro poder calorífico superior, o carvão dos agricultores composto pela mistura de várias espécies, apresentou melhor qualidade energética que cada uma das espécies separadamente.

A *P. glabrata* obteve a menor média para este parâmetro, sendo diferente estatisticamente das demais espécies. Desta forma esta espécie apresentou um carvão de baixa qualidade, enquanto que a *M. scabrella* e a *H. alchorneoides* foram as espécies que produziram um carvão com melhor qualidade.

Neves *et al.* (2011) encontraram valores de 7.643 e 7.665 Kcal/Kg para o carvão de clones de *Eucalyptus* de diferentes procedências, enquanto Rosa *et al.* (2012) para amostras de carvão vegetal de várias origens encontraram valores entre 7.400 a 7.800 kcal/Kg. O Carvão Biguaçu (7.215

Kcal/Kg) obteve um valor próximo ao *Eucalyptus* amplamente utilizado para a produção de carvão.

Em um trabalho realizado com *M. scabrella* (bracatinga) de sete anos de idade, Klitske (1998) encontrou um valor para poder calorífico superior igual a 6.989,27 kcal/Kg, a uma temperatura de carbonização igual a 450°C e umidade de 30%. No presente trabalho, ocorreu um comportamento semelhante para espécie *M. scabrella* (6.988 Kcal/Kg) avaliando este parâmetro, a qual atingiu valores muito próximos dos encontrados pelo autor citado. Já Sturion e Silva (1989) obtiveram um poder calorífico superior para *M. scabrella* a uma temperatura final de carbonização de 500°C, igual a 7.434kcal/kg.

4.1.2 Teor de Voláteis (TV)

Ocorreu diferença significativa entre as árvores dentro das espécies para o parâmetro teor de voláteis. Esta diferença também foi observada entre a espécie *C. glaziovii* e o Carvão Biguaçu.

Um baixo teor de materiais voláteis é desejado no carvão vegetal para o consumo doméstico, visando a menor quantidade de substâncias tóxicas liberadas durante o preparo de alimentos. No entanto, a ignição será dificultada pela baixa quantidade de materiais voláteis (BRAHAN, 2002).

O Carvão produzido nos fornos de alvenaria possui teores de voláteis menores (26,66%) do que os produzidos pelas espécies em laboratório, sendo assim considerado o melhor para este parâmetro para uso doméstico.

Em estudo realizado por Brito *et al.*(1979), a bracatinga carbonizada a 450°C, atingiu valores médios para o teor de materiais voláteis de 23,0% e para o *Eucalyptus grandis* os autores encontraram um valor médio de 27,3%. Estes valores são próximos aos obtidos no carvão dos agricultores de Biguaçu.

O teor de voláteis para o carvão de bracatinga encontrado por Klitzke (1988) variou de 13,80 % para 26,78%, onde o valor do Carvão Biguaçu (26,66%) encontra-se dentro deste intervalo.

O teor de voláteis (TV) deve ser menor que 23,5% para o carvão vegetal de uso doméstico (São Paulo, 2003). Embora o Selo Premium defina esta porcentagem para teor de voláteis, o carvão produzido pela mistura de espécies nos fornos de alvenaria nas propriedades familiares (26,26%), atingiu valores próximos dos exigidos para uso doméstico, portanto é satisfatório.

Para este parâmetro, o Carvão Biguaçu por apresentar um menor teor de voláteis, foi melhor comparado ao carvão produzido pelas demais espécies, em contrapartida o carvão da *C. glaziovii* que obteve o maior teor de voláteis, pode ser considerado de qualidade inferior.

4.1.3 Teor de Cinzas (TC)

Houve diferença significativa entre as árvores dentro das espécies para teor de cinzas. Esta diferença não foi observada entre as cinco espécies e o carvão produzido pelos agricultores.

De acordo com o Selo Premium, teor de cinzas (TC) deve ser menor que 1,5% (São Paulo, 2003). A espécie avaliada que atingiu o valor mais próximo possível foi a *M. scabrella* (1,57%), as demais espécies incluindo as amostras dos agricultores foram superiores ao definido pelo Selo Premium. Este valor foi próximo ao obtido por Klitzke (1998) que observou valores entre 1,05% a 1,33%. Já Brito *et al.* (1979), encontraram um teor de cinza médio no carvão de bracatinga a 450°C, de 1,9%.

Os valores obtidos neste estudo foram bem superiores em relação aos de Brito e Barrichelo (1977), que encontraram um teor de cinzas para *E. grandis* e *E. saligna* iguais a 0,4% e 0,5% respectivamente.

4.1.4 Teor de Carbono Fixo (CF)

Houve diferença significativa entre as árvores dentro das espécies para teor de carbono fixo. Esta diferença foi observada também entre a *C. glaziovii* e a *H. alchorneoides*, bem como comparando a *C. glaziovii* e a *P. glabrata*.

O carvão produzido pelos agricultores atingiu valores satisfatórios para este parâmetro, 71,04% sendo muito próximos aos definidos pelo Selo Premium, onde destaca que o teor de carbono fixo (CF) deve ser superior à 75% (SÃO PAULO, 2003).

Pereira e Lavoranti (1986), ao pesquisar três procedências de bracatinga, na mesma temperatura de carbonização, encontraram uma média para o teor de carbono fixo de 85,4%.

Sturion e Silva (1989), para bracatinga carbonizada a 500°C, encontraram valores médios de carbono fixo de 85,0%.

Neves *et al.* (2011) obtiveram valores entre 79,92 e 80,29% de carbono fixo, 18,92 a 19,43% para voláteis e teor de cinzas entre 0,65 e 0,80% para carvão de clones de *Eucalyptus*. Enquanto Botrel *et al.* (2007),

também trabalhando com *Eucalyptus* encontraram valores de 74,25%, 25,5% e 0,25% para teor de carbono fixo, voláteis e cinzas, respectivamente. Rosa *et al.* (2012) também observaram valores entre 75 e 83%; 15 e 23%; 0,68 e 1,65% para teor de carbono fixo, voláteis e cinzas.

O Carvão Biguaçu foi o que apresentou melhor teor de carbono fixo comparado às demais espécies. Vale também destacar, que a *M. scabrella*, a *H. alchorneoides* a *M. cinnamomifolia*, e a *P. glabrata*, não apresentaram diferença estatística entre o Carvão Biguaçu, portanto também produzem carvão de boa qualidade.

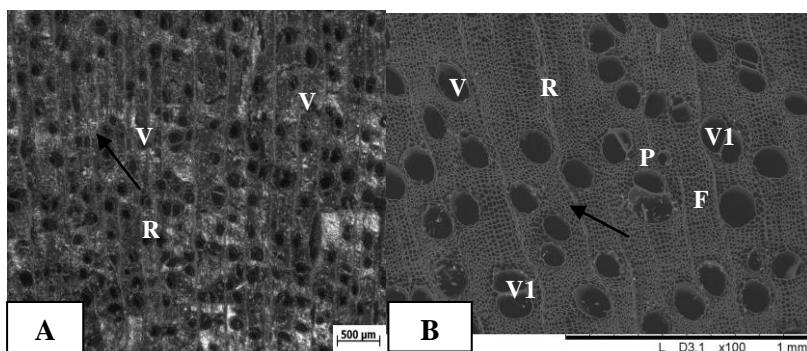
Já o carvão produzido pela *C. glaziovii*, que apresentou menor teor de carbono fixo, pode ser considerado de baixa qualidade.

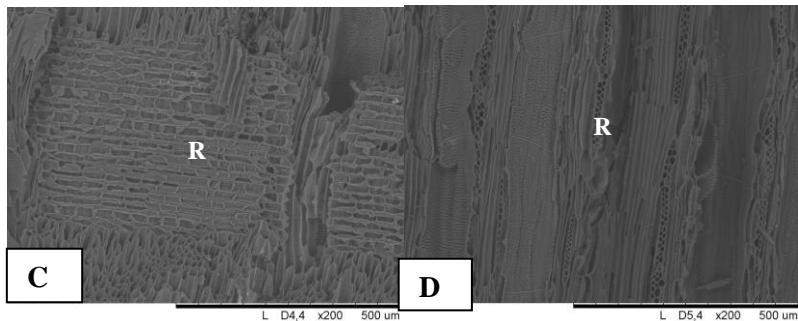
4.2 ANÁLISE ANATÔMICA DO CARVÃO

4.2.1 *Mimosa scabrella* (Bracatinga)

Observa-se no carvão (ver Figura 11), porosidade difusa, poros solitários e geminados. Anéis de crescimento distintos pela espessura da parede das fibras. Parênquima axial escasso. Raios homogêneos, uni e multisseriados (2-3), não estratificados.

Figura 11- Aspectos anatômicos do carvão de *M. scabrella* (A-D) em lupa (A) e microscopia eletrônica de varredura (B-D). Vasos solitários (V) e vasos geminados (V1), camadas crescimento distintas indicadas pela seta, fibras (F), parênquima axial escasso (P), raios homogêneos(R).



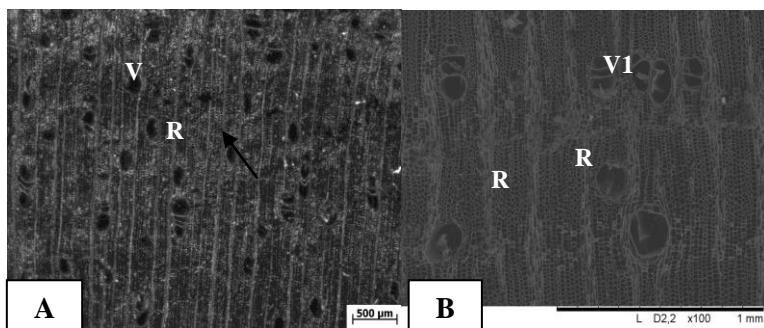


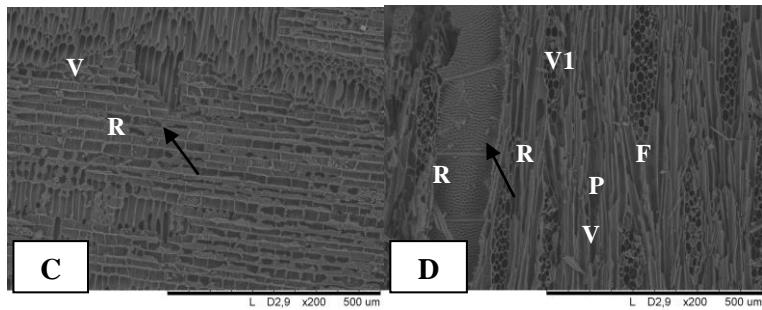
Fonte: Nisgoski (2013).

4.2.2 *Cecropia glaziovii* (Embaúba)

Pode-se observar no carvão (ver Figura 12) porosidade difusa, poros solitário, geminados e múltiplos até quatro. Camadas de crescimento pouco distintas. Parênquima axial aliforme e confluente, formando faixas. Raios heterogêneos, multisseriados (3-6), não estratificados.

Figura 12 - Aspectos anatômicos do carvão de *C. glaziovii* (A-D) em lupa (A) e microscopia eletrônica de varredura (B-D). Vasos solitários (V) e vasos geminados (V1), camadas crescimento pouco distintas indicadas pela seta, fibras (F), parênquima axial aliforme e confluente (P), raios heterogêneos(R)



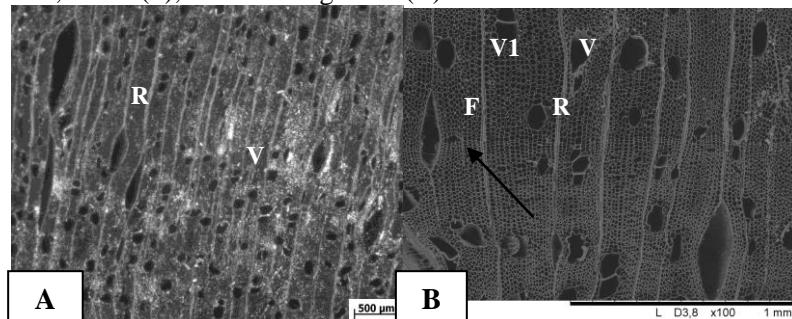


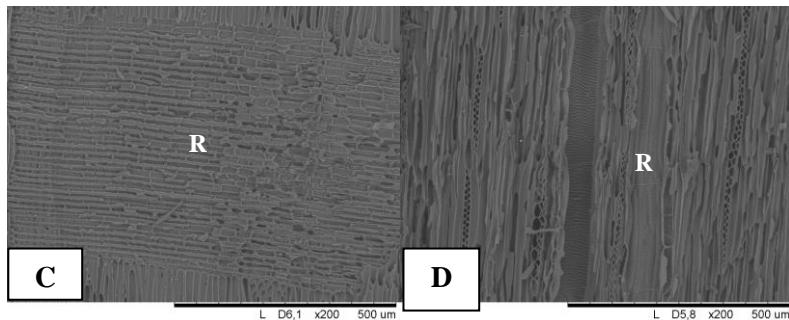
Fonte: Nisgoski (2013).

4.2.3 *Miconia cinnamomifolia* (Jacatirão Açu)

O carvão produzido pela *M. cinnamomifolia* (ver Figura 13) apresentou porosidade difusa, poros solitários em maioria, geminados e múltiplos até 4. Anéis de crescimento distintos pela espessura da parede da fibra. Raios heterogêneos, uni e bisseriados, não estratificados.

Figuras 13 - Aspectos anatômicos do carvão de *M. cinnamomifolia* (A-D) em lupa (A) e microscopia eletrônica de varredura (B-D). Vasos solitários (V) e vasos geminados (V1), camadas crescimento distintas indicadas pela seta, fibras (F), raios heterogêneos (R).



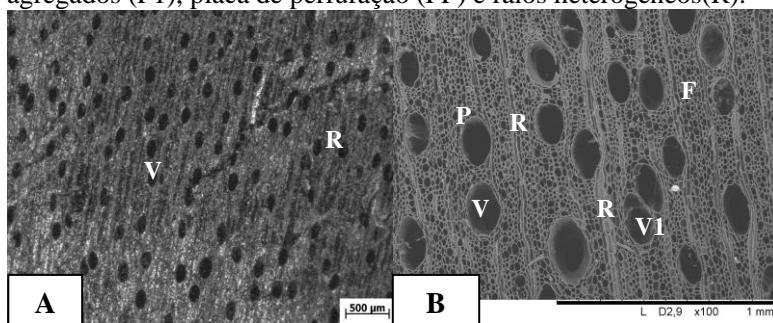


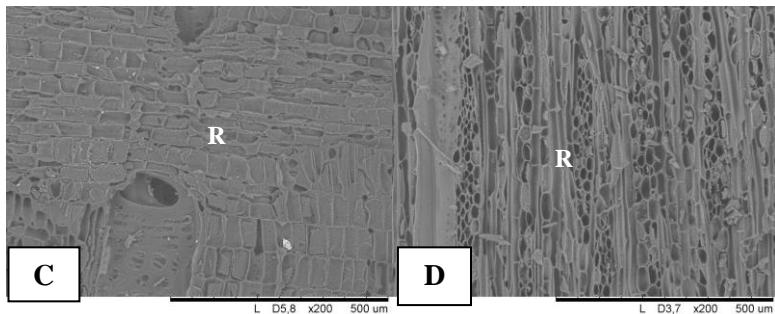
Fonte: Nisgoski (2013).

4.2.4 *Hieronyma alchorneoides* (Licurana)

Observou-se no carvão (ver Figura 14) porosidade difusa, poros solitários em maioria, geminados presentes. Parênquima axial difuso e difuso em agregados. Placa de perfuração simples. Raios heterogêneos, unisseriados e multisseriados de 2-4, não estratificados.

Figuras 14 - Aspectos anatômicos do carvão de *H. alchorneoides* (A-D) em lupa (A) e microscopia eletrônica de varredura (B-D). Vasos solitários (V) e vasos geminados (V1), fibras (F), parênquima axial difuso(P) e difuso em agregados (P1), placa de perfuração (PP) e raios heterogêneos(R).



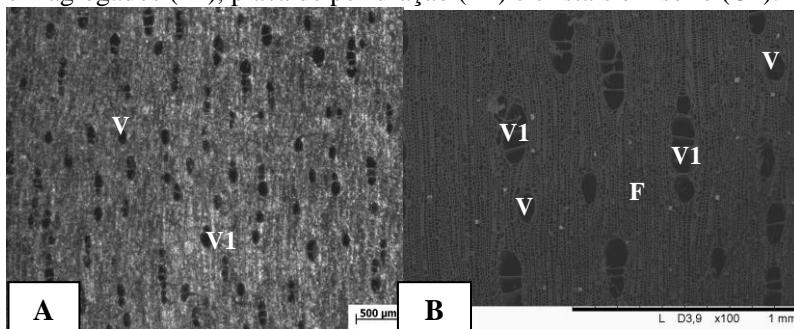


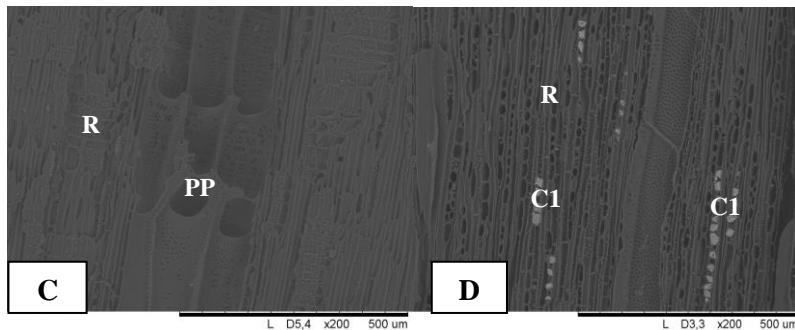
Fonte: Nisgoski (2013).

4.2.5 *Pera glabrata* (Seca Ligeiro)

Pode-se observar no carvão (ver Figura 15) porosidade difusa, poros solitários e múltiplos até seis. Placa de perfuração simples. Parênquima axial reticulado. Raios heterogêneos, unisseriados, bisseriados localmente, não estratificados. Cristais em série presentes.

Figuras 15 - Aspectos anatômicos do carvão de *P. glabrata* (A-B) em lupa (A) e microscopia eletrônica de varredura (B-D). Vasos solitários (V) e vasos geminados (V1), fibras (F), parênquima axial reticulado (P) e difuso em agregados (P1), placa de perfuração (PP) e cristais em série (C1).





Fonte: Nisgoski (2013).

As dimensões dos elementos celulares apresentadas pela análise anatômica quantitativa do carvão produzido pelas cinco espécies florestais encontram-se na Tabela 27.

Tabela 27 - Dimensões celulares no carvão.

Espécie	Poros/ mm ²	Diâmetro poro (μm)	Largura Raio (μm)	Altura Raio (μm)	Raio/ mm
<i>H. alchorneoides</i>					
Mínimo	2,00	81,72	18,21	380,93	3,00
Média	5,57	115,76	48,56	647,93	5,04
Máximo	8,00	184,29	69,25	965,37	7,00
Desvpad	1,43	21,20	13,92	168,24	0,95
<i>M. scabrella</i>					
Mínimo	8,00	67,13	9,70	133,55	2,00
Média	11,17	114,19	17,00	366,00	4,30
Máximo	16,00	159,42	24,97	858,23	7,00
Desvpad	2,10	23,29	4,12	168,26	1,12
<i>C. glaziovii</i>					
Mínimo	1,00	15,33	20,78	200,39	2,00
Média	2,43	139,83	45,56	387,35	4,27
Máximo	4,00	209,14	72,08	616,16	6,00
Desvpad	0,82	41,27	13,57	111,71	1,20
<i>M. cinnamomifolia</i>					
Mínimo	5,00	63,73	6,93	137,13	2,00
Média	9,77	98,31	18,11	343,29	3,43
Máximo	14,00	132,96	27,70	781,99	5,00
Desvpad	2,78	18,41	5,74	187,56	0,98

P. glabrata

Mínimo	6,00	58,17	5,54	191,75	8,00
Média	11,40	92,40	14,58	324,77	10,73
Máximo	19,00	117,73	34,63	498,53	15,00
Desvpad	3,23	14,85	6,27	90,21	1,74

Fonte: Nisgoski (2013).

A *P. glabrata* apresentou uma maior média para frequência de poros (11,40) e raios (10,73) entre as espécies, porém um menor diâmetro de poro (92,40 µm), menor largura de raio (14,58µm) e menor altura de raio (324,77µm). Já para a *C. glaziovii*, foi observado um menor número de poros (2,43 Poros/mm²) comparado às demais espécies e maior diâmetro de poro (139,83 µm).

Uma característica que chama a atenção entre as espécies é a elevada altura de raio observada para a *H. alchorneoides* (647,93 µm), onde é bastante nítida esta diferença.

Características anatômicas observadas nas madeiras relatadas pela literatura (Fabrowski *et al.*, 2005; Alves, 1995; Marcon; Costa, 2000; Richter; Dallwitz, 2000), também foram identificadas neste trabalho por meio da análise anatômica do carvão das cinco espécies, de acordo com as descrições a seguir.

Foram identificados no lenho carbonizado da *M. scabrella*, vasos de porosidade difusa e solitários; parênquima axial escasso e raios unisseriados.

Em relação ao carvão produzido pela *C. glaziovii*, a análise anatômica revelou vasos de porosidade difusa, solitários e múltiplos até quatro; parênquima axial confluente e raios multisseriados.

Pode-se observar no lenho carbonizado de *M. cinnamomifolia*, vasos de porosidade difusa e solitários com raios unisseriados.

O carvão de *H. alchorneoides* apresenta vasos de porosidade difusa e em sua maioria solitários; parênquima axial difuso e raios multisseriados.

Identificou-se no lenho carbonizado de *P. glabrata*, vasos de porosidade difusa e raios unisseriados.

A temperatura final de carbonização igual a 450°C não alterou a estrutura anatômica da madeira, sendo possível identificar o material com base nos componentes celulares, conclusão obtida também por outros autores (Muñiz *et al.*, 2012a; Muñiz *et al.*, 2012b; Nisgoski *et al.*, 2012; Afonso, 2012)

5 CONCLUSÕES

- a) O carvão produzido pelos agricultores, proveniente da mistura de espécies florestais em termos gerais é de melhor qualidade comparado ao produzido pelas individualmente pelas cinco espécies individualmente em laboratório;
- b) Em termos gerais o carvão vegetal dos agricultores apesar de não atender os padrões mínimos de qualidade exigidos pelo Selo Premium de São Paulo é de boa qualidade;
- c) A estrutura anatômica da madeira se mantém durante o processo de carbonização utilizado, com temperatura final de 450°C, podendo-se identificar o material com base nas células componentes;
- d) A influência de diferentes taxas de aquecimento e umidade do material nas alterações estruturais deve ser estudada. É muito importante, para a correta identificação, em nível de espécie, a comparação com uma coleção de referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, C. M. I. **Uso da antracologia como instrumento de fiscalização do carvão vegetal em Moçambique.** 2012, 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

ALVES, E. S. The effects of the pollution on wood of *Cecropia glazioui* (Cecropiaceae). **IAWA Journal.** Vol. 16, n. 4, p. 69 -80, 1995.

ASTM. American Society for Testing and Material. **D 1762 – 84**, 2001 (2007). Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2007, DOI: 10.1520/D1762-84R07. <http://www.astm.org>.

BOTREL, M. C. G. et al. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.31, n.3, p.391-398, 2007.

BRAHAN, W. K. **Combustibilidad de la madera: la experiencia com espécies colombianas.** Bogotá, Fondo de Publicaciones (Boletim Técnico, 1). 2002.

BRASIL. Casa Civil. Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008. Regulamenta dispositivos da Lei no 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 21 nov. 2008. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6660.htm>. Acesso em: 23 out. 2013.

BRASIL. Casa Civil. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 dez. 2006b. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/lei/l11428.htm>. Acesso em: 15 out. 2013.

BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente CONAMA nº 114, de 4 de maio de 1994. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 17 de jun. 1994. Disponível em:<

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=145>. Acesso em 23 out. 2013.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa IBAMA nº 112, de 21 de Agosto de 2006. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 ago. 2006a. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em: 23 mar. 2010.

BRITO, J. O. Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais in **Estudos Avançados** nº 9, São Paulo, 1990.

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

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G.; FONSECA, S.M. Bracatinga: características químicas do carvão vegetal. **Brasil Madeira**, Curitiba, 3(33):6-7, set. 1979.

CETEC. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. 1982 **Produção e Utilização de Carvão Vegetal**. Séries Técnicas CETEC, Belo Horizonte, 393 p.

DIN. Deutsches Institut für Normung. **DIN 51900**: Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value. Berlim, 2000.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo. **Instrução Normativa IDAF nº 003, de 22 de julho de 2008**. Vitória, 2008. Disponível em: <<http://www.idaf.es.gov.br/>>. Acesso em: 16 abr. 2010.

FABROWSKI, F. J. et al. Anatomia comparativa da madeira das variedades populares da Bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 15, n. 1, p. 65-73, 2005.

GONÇALVES, T.A.P.; ZBOROWSKI, M.B.; SCHEELYBERT, R. Coleção de referência antracológica: anatomia da madeira de espécies de Anacardiaceae, Annonaceae, Aquifoliaceae, Apocynaceae, Araliaceae e Compositae de vários biomas brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDO DO QUARTENÁRIO. 10., 2008, Rio de Janeiro. **Resumos expandidos...** Rio de Janeiro: ABEQUA, 2008. p.4.

IAWA COMMITTEE. List microscope features of hardwood identification. **Iawa Bulletin**, Leiden, v.10, n. 3, p. 221-259, 1989.

KLITZKE, R. J. **Avaliação do carvão da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) em função da idade, do teor de umidade da madeira e da temperatura final de carbonização.** 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1998.

MARCON, M. L.; COSTA, C. G. Anatomia da madeira de quatro espécies do gênero *Miconia* Ruiz & Pavón (Melastomataceae). **Rodriguésia**, Feira de Santana, BA, v. 51, n. 78/79, p. 5-20, 2000.

MARGUERIE, D.; HUNOT, J. Y. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France. **Journal of Archaeological Science**, New York, v. 34, p. 1417-1433, 2007.

MINAS GERAIS (Estado). Instituto Estadual de Florestas. **Portaria IEF nº 106, de 02 de Setembro de 2002**. Belo Horizonte, 2002. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/>>. Acesso em: 16 abr. 2010.

MUÑIZ, G. I. B. *et al.* Análisis de la estructura anatómica de la madera y del carbón de dos especies de Sapotaceae. **Maderas, Ciéncia y tecnollogia**, Concepción, 2013. Disponível em <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718221X2013005000024&lng=e&nrm=iso> Acesso em 15 Sept. 2013. Epub July 05, 2013.

MUÑIZ, G. I. B. *et al.* Anatomia comparativa da madeira e carvão de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke e *Enterolobium schomburgkii* Benth. para fins de identificação. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 40, n. 94, p. 291-297, jun. 2012a.

MUÑIZ, G. I. B. et al. Anatomia do carvão de espécies florestais. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 471-477, 2012b.

NEVES, T. A. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais, visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n. 68, p. 319-330, 2011.

NISGOSKI, S. et al. Anatomia do lenho carbonizado de *Copaifera cf. langsdorffii* Desf. E *Dipteryx odorata* (Aubl.) Wild. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 3, n. 2, 2012.

NISGOSKI, S. **Anatomia do carvão de cinco espécies florestais**. 2013.20 fot.: preto e branco; 7 x 6,5 cm.

OLIVEIRA, J. B. et al. Produção e utilização de carvão vegetal. **Produção e utilização de carvão vegetal**. p.61-89, 1982. Belo Horizonte.

PEREIRA, J.C.D.; LAVORANTI, O.J. Comparação da qualidade da madeira de três procedências de *Mimosa scabrella* Benth. para fins energéticos. **Boletim de pesquisa florestal - EMBRAPA**, (12): 30-34, jun. 1986.

PIMENTA, A. S.; BARCELLOS, D. C.; OLIVEIRA, E. **Carbonização**. Viçosa: UFV, 2008. 94 p. (Apostila).

PIMENTA, A.S.; BARCELLOS, D.C. 2000. **Como produzir carvão para churrasco**. Viçosa, CPT. 76p.

RICHTER, H.G., DALLWITZ, M.J. 2000 onwards. **Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval**. In English, French, German, Portuguese, and Spanish. Version: 25th June 2009. Disponível em <<http://delta-intkey.com>>. Acesso em: 20 set. 2013.

ROSA, R. A. **Qualidade do carvão vegetal, para uso doméstico, comercializado em três municípios do Estado do Espírito Santo**. 2010, 55 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2010.

ROSA, R. A. et al. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. v. 3, n. 2, p. 41-48, 2012.

ROSILLO-CALLE, F.; BEZZON, G. Produção e uso de carvão vegetal. In ROSILLO-CALLE, BAJAY E ROTHMAN (org) “**Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**”. Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2005.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. **Resolução nº 10 SAA, de 11 de julho de 2003**. São Paulo, 2003. Disponível em:< <http://www.codeagro.sp.gov.br/qualidade/#>>. Acesso em: 17 out. 2013.

SIMINSKI, A. **A floresta do futuro**: Conhecimento, valorização e perspectivas de uso das formações florestais secundárias no Estado de Santa Catarina. 2009. 153f. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

STURION, J.; SILVA, F. Caracterización de la madera de bracatinga para energía. In: **Manejo y aprovechamiento de plantaciones foretales com especies de uso multiple**, Guatemala, 1989. p. 541-549.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril* L.). **Scientia Agraria**, v. 2, n. 1, p. 45-53, 2004.

VERNET, J. L.; THIEBAULT, S. An approach to northwestern Mediterranean recente prehistoric vegetation and ecologic implications. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 14, p. 117-127, 1987.

VILLAZÓN, A. **Avaliação do desempenho produtivo e ambiental da implementação de uma nova tecnologia de carvoejamento no município de Biguaçu, SC**. Dissertação de Mestrado (Mestre em Agroecossistemas) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho se destaca pela importância de ser um estudo pioneiro relacionado à qualidade da madeira e do carvão domiciliar produzido pelos agricultores familiares do município de Biguaçu, e até mesmo no Estado de Santa Catarina.

Estes agricultores produzem um carvão de ótima qualidade os quais detém o domínio do processo produtivo, onde mesmo sendo um processo bastante arcaico, tais agricultores atingiram um nível de controle da carbonização que quando comparada ao realizado em laboratório, é muito satisfatório.

Porém, ainda ficam algumas questões que deverão ser exploradas pela comunidade científica e tornam-se propostas para o desenvolvimento de estudos futuros.

Um trabalho que envolve as propriedades químicas das madeiras das espécies *M. scabrella*, *C. glaziovii*, *M. cinnamomifolia*, *H. alchorneoides* e *P. glabrata*, vem sendo desenvolvido paralelamente a esta dissertação, a fim de verificar se tais propriedades influenciam na qualidade do carvão.

Outro fator que deve ser levado em consideração em estudos vindouros é a origem das espécies estudadas. Este trabalho avaliou cinco espécies florestais utilizadas para a produção de carvão na região de forma geral, porém seria interessante o estudo das principais espécies que compõe cada formação existente nas áreas de estudo: Floresta Nativa e Bracatingais seriam alguns exemplos.

É necessária também a análise de um maior número de espécies, já que o carvão produzido nos fornos de alvenaria é formado pela riqueza de espécies que compõe a Floresta Ombrófila Densa, tornando-se mais representativo.

Uma lacuna que ainda fica está relacionada aos estudos sobre a anatomia da madeira e do carvão. A caracterização anatômica das espécies relacionará os nomes comuns usados nas comunidades familiares, com a classificação botânica, a fim de confirmar se tais espécies são realmente as descritas na floresta pelos agricultores. Em consequência disto, esta

caracterização irá permitir que a comunidade científica faça as correlações entre as características anatômicas da madeiras, com as características físicas, químicas e energéticas do carvão produzido; melhorando o processo produtivo como um todo.

Outro ponto de interesse é indicar qual nível de mistura de espécies florestais contribui para a variação da qualidade do carvão e quantificar a porcentagem de cada espécie que compõe o carvão produzido por meio de estudos anatômicos.

Estas pesquisas fornecerão informações a fim de subsidiar os órgãos fiscalizadores para a legalização e valorização das atividades realizadas pelo pequeno agricultor, disponibilizando informações técnico-científicas, para a escolha e uso correto das espécies, disponíveis em suas propriedades.