



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**VITOR WERNECK SOARES**

**AVALIAÇÃO TERMOGRAVIMÉTRICA DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE  
*Eucalyptus sp.***

Prof. Dr. AZARIAS MACHADO DE ANDRADE  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
NOVEMBRO – 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**VITOR WERNECK SOARES**

**AVALIAÇÃO TERMOGRAVIMÉTRICA DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE  
*Eucalyptus spp.***

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. AZARIAS MACHADO DE ANDRADE  
Orientador

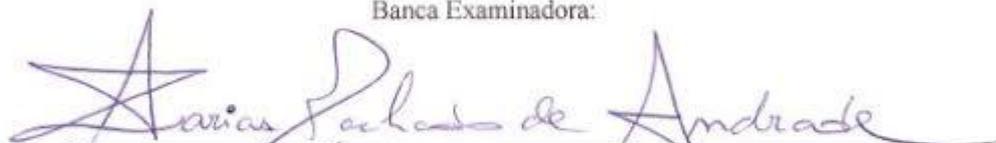
SEROPÉDICA, RJ  
NOVEMBRO – 2014

AVALIAÇÃO TERMOGRAVIMÉTRICA DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE  
*Eucalyptus spp*

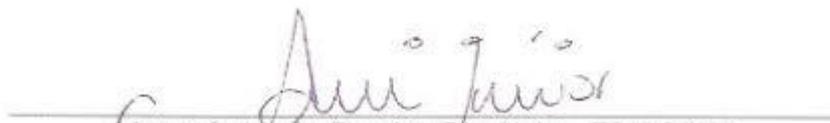
VITOR WERNECK SOARES

Monografia aprovada em 06 de novembro de 2014.

Banca Examinadora:

  
Prof. Dr. Azarias Machado de Andrade – UFRRJ  
Orientador

  
Prof. Dr. Edva Oliveira Brito – UFRRJ  
Membro

  
Mestrando Ananias Francisco Dias Júnior – ESALQ/USP  
Membro

## DEDICATÓRIA

À minha mãe  
Arlen Werneck de Mesquita,  
fonte de amor, carinho, e força.  
A vitória é nossa mas os méritos  
das conquistas são suas!  
Com muito amor e orgulho,  
dedico.  
Amo-te.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, A a minha amada mãezinha, dona Arlen Werneck de Mesquita, por tudo que fez e faz por mim. Por todos as noites que passou em claro trabalhando para que hoje eu pudesse estar aqui. Mãe te amo e não há palavras no mundo que expressem esse sentimento, obrigado por tudo! Amém, Poxa!

A Universidade Federal RURAL do Rio de Janeiro, por ter me proporcionado os melhores anos da minha vida! Minha gratidão e amor a essa instituição é imensurável. Obrigado por tudo, você me ajudou a ser a pessoa que sou hoje! Eternamente grato!

Ao meu pastor, Pastor Arnaldo, pelas sábias palavras e por me dar força nos momentos que sempre precisei. Homem de Deus, amado varão! Nébia!

Não poderia esquecer ELA. A loira da minha vida, que esteve ao meu lado quando mais precisei... Quando não tive força ela me ajudou, quando não tinha companhia ela esteve lá, até quando não tive dinheiro lá esteve ela. Obrigado Cervejas Pilsen do meu Brasil!

Ao Monstrinho, o cara que fez minha vida mudar e ser muito mais feliz e engraçada, e que proporcionou momentos inesquecíveis.

Aos familiares que estiveram presentes nessa caminhada e que sempre deram força, carinho e muitas vezes palavras que jamais as esquecerei. Aos tios Allan, Aristarco, Aristeu e Aurea. A Andréia, Célia e Altair. Aos primos Bárbara, Cristina, Cyndi, Erika, Fernando, Kenny, Rafael, Ruan, Simone e Thiago.

Aos meus dois grandes amigos, juntos desde pequenos, no qual sempre me deram apoio, carinho e amizade. Guilherme Figueiredo Bastos (Frajola) e Rafael Fabiano Fernandes (Rafaelzinho).

Aos professores Alexandre Monteiro e Carlos Domingos, professores que tive o privilegio de trabalhar e aprender muitas coisas.

Gostaria de agradecer aos professores que marcaram minha passagem por aqui. Emanuel Araujo (Dendrometria) obrigado por me proporcionar a melhor aula que tive dentro dessa casa, seja só menos rigoroso com questão à saída de sala e horário. Edvá Oliveira (Industrialização) mais que um professor, um amigo, que nos bate papos informais da vida me passou muita informação e conhecimento, mestre no quesito tempo, aprendi a administra-lo e fazer mais coisas. Francisco Cavalcante (Exploração) foi muito bom assistir suas aulas, fiz um tour pela Amazônia sem sair da sala! Paulo Sergio (Implantação) foi a primeira disciplina do curso que me senti verdadeiramente um engenheiro, admiro muito a sua humildade e sua forma de fazer com que façamos as coisas. Alexandre Miguel (Estruturas) pena não ter tido a oportunidade de trabalhar com você pois além de ser um excelente professor, trabalha com uma das áreas que mais me identifiquei. Rafael Coll (Meteorologia) mesmo não assistindo nenhuma aula sua, o Sr. marcou minha passagem aqui, foi bom conhecê-lo, agora sei pra servem os meteorologistas. Thiago Boier a vibração que você passa nas suas aulas contagia a todos, quem dera tivéssemos mais professores com essa luz que o Sr. tem, a todos obrigado. Alessandra Baptista (Geoprocessamento) obrigada pelas dicas e por abrir minha cabeça profissionalmente.

Aos amigos que ganhei através da RURAL, e que são mais que amigos, verdadeiros irmãos e sempre comigo estarão, não importando a distância e tão pouco o tempo que venha a passar, Allan Castro da Silva (Parceiro), Ananias Francisco Dias Junior (Líder), Davi Miranda (Davisão), Djailson Silva (Paraíba), Eduardo Zacarias Nunes (Tuiu), George Nascimento Carvalho (Marreco), Humberto Amaral (DoisBerto), Igor Pereira (Perigor), Juliana Legentil (Magrela), Rafael Brito Nascimento (Britão), Thiago Sampaio (Tico) e Vanessa Sales (Vavá).

A todos amigos da época que morei em Iguaba, obrigado por bons momentos e maravilhosas recordações... À esses e muitos outros... Adrienne Dumard, Allan Verissimo, André Benfica, Andressa Dumard, Andrey Rangel, Camila Duarte, Carlos Azevedo, Daiane Azevedo, Daniel Tavares, Diogo do Vale, Diogo Vigo, Douglas Lima, Ediandro Fulgencio, Dimytri Pedrosa, Fernando Mesquita, Gabriel Ramalho, Gentil Silveira, Gloria Alves, Hugo Deleon, Jeison Oliveira, João Salles, Jonnilson Queiroz, Letícia Brasil, Luana Pauluci, Luiz Carlos, Maicon Alves, Marcio Oliveira, Mariana Borges, Matheus Oliveira, Maycon Brito, Natiane Ferrreira, Patrícia Tavares, Rafael Fonseca, Rafael Novaes (Joca), Rafael Tavares, Raffaella Jesus, Ranna Silveira, Renan Abdalla, Ronilton Junior, Stephani Nogueira, Thamara Melo, Vanessa da Silva, Vinicius Vaz, Vinicius Menezes, Wanderson Luis (Chorão) e Yasmim Bastos.

A todos os companheiro, vizinhos e frequentadores da MonsterHouse, pelos bons momentos vividos juntos. Adonai Alves, Daniel Augusto, Daniele Amorim, Fabiana Froes (Fabi), Felipe (Maria da Penha), Felipe Dottling (Fox), Gabriela Alvarez, Isabela Mesquita, João Irineu (Capixaba), João Paulo, Juliana Marques (Ju), Junior Oliveira (Paulista), Leonor Souza (Iele), Letícia Alves, Luana Varanda, Manuela Ribeiro, Mariana Franca, Marta Nunes, Paulo Rodrigues, Rodolfo Cardoso, Ronaldo Messias, Thaiane Porto (Meio Metro), Vanessa Souza, Vinicius Guedes, Vinicius Zeca (Zeca), Wagner Souza (Wagin), Dona Idalicia e ao Sr. Luis.

A todos da Republica Maracanã e agregados, por terem feito meus dias muito divertidos, além de me ensinarem muito. Agradeço por as vezes terem enchido meu saco assim como enchi o de vocês.... haha Valeu me ajudaram a me tornar uma pessoa melhor! O único problema de vocês, é vocês são velhos e bobos... Budweiser (Bud), Hugo Leonardo (Hugulf, o de Paula), Jessé Pereira, Kaike Miranda (Meu bebê), Maria Isabel (Coca-Bel), Mariela Markies, Rock (*in memorian*), Sabrina Alvarenga (Imagina), Stella Artois (Stella), Tharles Pereira (Thales/Tales/Talles/Álvaro) e Thiago Santos (Thiagoão).

A todos moradores, ex-moradores e agregados do Quarto M4 415 (Onde quem roda é você) por todos os momentos hilários que me proporcionaram, a festas épicas e obrigado pela amizade. Bernardo Segala, Caio Alves, Claudio Monteiro (ex-Bixão), Daniel Miranda, Domenico Fucci, Fabrício Lyra (NegoLyra), Francisco Hellton (Chicão), Frederico Melo (Fred), Gabriel Cavassa (Bebê), Gláucio Carvalho (Grauber), Guido Guida (Guido), Luis Carlos (Mineiro Escroto), Manoel Lisboa (Manel), Rafael Martins (Marquito), Pablo de Souza (Penha), Paulo Camilo (Paulinho), Rangel Carvalho, Rodrigo Restine (Bal), Thiago Xavier (Thiago Biber), Thiago (Bixão), Thiago Botelho (ET), Vitor Firmino, Vinicius Lino (de Mesquita) e Yuri Marinho (Osso).

A República Sacudos e agregados. Adir Hottz (Manjubinha), Fernando Augusto, João Borré (Bixão), Ronaldo Messias, Vitor Dias (Zé), Vitor Manuel (Caxias).

Ao LAJEDO e Sr. Hugo por ter financiado muitas das minhas viagens e ter pago parte das dívidas que fiz nessa passagem.. E a todos os amigos que lá fiz, principalmente Barbara Zoffoli (numeração da monografia) Elder Feijolo, Junior Moreira (Xunior), Raphael Lunga (Lunga), Rogério Vilela (Rogerin) e Vitor Resende.

A CERNE e a todos os funcionários, em especial à Ágata Guimarães, Lucas Geromel, Paula Cordeline e Renata Medrado e Marcello Costa Neto por toda consideração, aprendizado e amizade.

A SUSTENTEC e à M.A. Podas por todo aprendizado gerado nesse tempo que estou com vocês. Agradeço ao Leon Dalmasso e Marcio Monteiro por tudo que vocês estão me ensinando.

Aos diversos amigos que tive o prazer de conhecer nos congressos pelo Brasil a fora. Cada minuto com vocês foi SENSACIONAL obrigado por tudo! Ana Paula de Oliveira, Anne Oliveira, Barbara Brum, Bruno Freitas, Carlos Alberto(Crazy), Catarina Oliveira, Cezar Vargas (Cezinha), Dexter Nogueira, Erika Oliveira, Ezequiel Gandolfi (Boris), Felipe Landim (Felipinho), Igor Silva, Isadora Pires, Jaqueline Jordão, Jessica Monalisa, Jéssica Padilha, João Felipe (Broca), Jocely de Souza, Ju Lopes, Junior Aragão, Karol Oliveira, Larissa Corbal, Leda Stefan, Livia Oliveira, Lorena Vaz (Natu), Lucas Antunes (Ritinha), Lucas Butura (2d), Lucas Neri, Mariana Moreira, Marina Gorgete, Matheus Lourençatto (Frito), Maycon Bosa, Meg Furtado, Mila Vilá, Milena Coelho (Dinga), Monique Guimarães, Otawio Pedroza (Bozó), Ronan Peron, Saulo Magnani, Tafarel Henrique, Thaianne Vanessa, Thamyres Leão, Thiago Xavier (Marisco), Thomas Pedrosa, Valter Fernandes(Van der Vart), Willian Mangiolaro.

A toda turma 2008 1 da floresta por todo companheirismo e amizade. Aila Gomes, Ana Luiza, Carlos Eduardo da Silveira (Cadu), Claire Viana, Cleber Vinicius (Fenrir), Cléssio Gomes, Daniel lins, Danilo Reis, Gabriel Lucas (Testinha), Iero Xavier, Illa Lopes, Jairo Tenório, Joshua Dylan, Lara Ribeiro, Letícia Ferreira, Leila Araujo, Lislaine Sperandio, Livia Barreto, Luis Octávio, Marcelo Vinicius, Marinna Lopes, Nathan Borges (Leskwilson), Pablo Hugo, Pablo Vieira, Pedro Henrique Rajão, Tarsila Lessa, Thiago Wender e Yan Gama.

Ao Tiago de Conto por me mostrar o Rugby e junto com Allan Castro fundarmos o Rural Rugby. Agradeço a todos que passaram pelo time e fizeram minhas tarde de terça e quinta bem mais divertidas! Obrigado Alberto Abid (Friburgo), Andre Neves(Choco), Carlos Novelo (Salxixa), Gabriel Andrade (Godi), Pedro Reis (Giga), Rodrigo Villela (Cueca) e Rômulo Camargo (Romão) e muitos outros!

A também a diversos outros amigos da Engenharia Florestal como um todo. Principalmente, Allan Abreu, André Abreu (Jah), Artur Bernardo, Carol Nunes, Diego Lins, Diego de Castro, Felipe Brasileiro, Gabriel Rocha, Gerrard Valkinir (Baiano), Hebert Pereira, Irving Abreu, João Bosco, Joao Flavio (Joãozinho dos teclados, auu), Leandro Abrahão (Do Norte), Leila Salustiano, Marcecelly Brands, Maria Amélia, Pedro Lima, Rafael Tavares, Renan Gilberto, Rodrigo Almeida (Botafogo), Rodrigo Condé (Condé) e Thales Lima.

A todo pessoal da Veterinária da rural, bem como a todos que foram ao COPAVET, e saibam que foi o melhor evento que fui como estudante.

A também a alguns amigos que marcaram essa trajetória também, Fernanda Pacheco, Emerson Feijolo, Flavia Rocha, José Acácio, Luciano Rubio (Paraná), Matheus Pedroza, Mozara Guzzi, Paula Barbosa, Rodney Alves, Rômulo Camargo e Thais Miranda.

A ao Greycon Rocha, facilitar o meio campo e ajudar não só a mim, mas a todos da engenharia florestal, até distante. Você é o cara!

A todos os funcionários do Instituto de Florestas.

Agradeço a todos os companheiros do Judô, do SlackLine e do Remo.

Ao Juarez e cia.

Agradeço a todos amigos, colegas e conhecidos que fiz na RURAL, ia ser impossível citar todos. Mas tenham a certeza que para todos os sempre serão bem lembrados.

E por fim, mas não menos importante, ao meu mestre Azarias Machado de Andrade, adorei ter trabalhado com você esses quase 2 anos com você, aprendi muitas coisas nos nossos bate papo ali ao lado da mufla, ou mesmo na sua sala, ou até no seu carro nas diversas caronas que peguei.. Saiba que foi muito bom pra mim estar em contato com você durante esse tempo, tenho certeza que melhorei como pessoa no convívio com você. O certo é o

certo. Não procuro mais chifre em cabeça de cavalo e sei que ainda irei bater seu recorde de comer pasteizinhos.. Obrigado por tudo Azarias.

A todos aqueles que não tiveram o nome citado aqui em cima, peço desculpa, tentei lembrar de todos, mas é difícil.

A todos,

**MUITO OBRIGADO**

## RESUMO

O objetivo principal do presente trabalho de pesquisa foi avaliar as potencialidades energéticas da madeira do *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urograndis*, bem como a possibilidade da adoção destas espécies para a produção de insumos orgânicos derivados da destilação seca da madeira.. A matéria-prima foi obtida em povoamentos florestais com sete anos de idade, localizados na cidade de Paty dos Alferes, RJ. O valor médio da densidade básica da madeira de *E. urophylla* foi 22,70 % superior aos demais. O valor médio da massa específica aparente do carvão vegetal do *E. urophylla* foi 14,00 % superior aos demais. Não foram percebidas diferenças significativas entre os valores médios dos rendimentos em carvão vegetal das espécies florestais. Durante a pirólise, a madeira de *E. urograndis* produziu menos líquido pirolenhoso e mais gases incondensáveis do que as madeiras das outras espécies florestais. Os valores médios dos rendimentos em carbono fixo não diferiram entre si. Após a análise química imediata não foram detectadas diferenças significativas entre os parâmetros de qualidade química dos carvões. Não foram detectadas diferenças significativas entre os poderes caloríficos superior e inferior dos carvões das espécies florestais.

**Palavras-chave:** Pirólise, rendimento termogravimétrico, biomassa florestal.

## ABSTRACT

The main objective of this research work was to evaluate wood energy potential of *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus urograndis*, and the possibility of adopting these species for the production of input organic derived from the dry distillation of wood. The raw material was achieved in a 7-year-old forest plantation, located in Paty dos Alferes, RJ. The average value of the basic density of the wood in the *E. urophylla* presented a higher average value than the others in 22,70%. The average value of the apparent specific mass of the *E. urophylla* charcoal was 14,00% higher than the others. There were no significant differences between the average values of the incomes in charcoals of the forest species. During the pyrolysis, the *E. urograndis* wood produced less pyrolysed liquid and more non-condensable gases than the woods of the other forest species. There were no differences between the average values of the incomes in fixed carbon. After the immediate chemical analysis no differences were detected between the chemical quality parameters of the charcoals. No significant differences were detected between the charcoals superior and inferior calorific powers of the forest species.

**Key word:** Pyrolysis, income termogravimetric, forest biomass.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	1
2.1. Biomassa .....	1
2.2. Processo de Carbonização .....	2
2.3. Carvão Vegetal .....	2
2.4. O gênero <i>Eucalyptus</i> .....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	4
3.1. Procedência e Amostragem da Matéria-Prima .....	4
3.2. Ensaio Físico da Madeira .....	4
3.3. Pirólise do Material Lenhoso .....	4
3.4. Análises Termogravimétricas .....	5
3.5. Ensaio Físicos do Carvão Vegetal .....	5
3.6. Análise Química Imediata do Carvão Vegetal .....	5
3.7. Poder Calorífico do Carvão Vegetal .....	6
3.8. Análise dos Dados .....	6
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	6
5. CONCLUSÕES .....	8
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	9

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores médios das densidades básicas da madeira (DBM) e massas específicas aparentes do carvão vegetal (MEA). .....6
- Tabela 2 - Valores médios dos rendimentos em carvão vegetal (RCV), líquido pirolenhoso (RLP), gases incondensáveis (RGI) e em carbono fixo (%), das madeiras das três espécies florestais avaliadas.....7
- Tabela 3 - Valores médios dos teores de materiais voláteis (TMV), de cinza (TCZ), de carbono fixo (TCF), poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI) dos carvões vegetais das três espécies florestais..... 8

## **LISTA DE FIGURAS**

- Figura 1. Cadinho metálico, utilizado para a destilação seca da biomassa florestal. .... 5
- Figura 2. Sistema laboratorial para a destilação seca da biomassa florestal. .... 5

## 1. INTRODUÇÃO

A lenha é um insumo energético utilizado pelo homem desde a pré-história. A partir do momento em que as vantagens da substituição da lenha pelo carvão vegetal foi constatada, este segundo insumo energético passou a ser adotado em inúmeras aplicações. Até o final do século XIX os citados insumos se destacaram como os mais importantes no que se refere à geração de energia térmica e dos derivados orgânicos pirolenhosos. Com a descoberta das grandes reservas de petróleo, algumas bem próximas à superfície do solo em algumas regiões do planeta, tal insumo fóssil, juntamente com o carvão mineral, passaram a ser as principais fontes de energia do planeta.

A destilação do petróleo e da hulha, apesar do elevado potencial de poluição envolvido, passaram a ser responsáveis pelo suprimento de mais de 60% de toda a energia consumida no planeta. A partir de então evidenciou-se a dependência do homem destas fontes não renováveis de energia e, atualmente, tal fato se configurou numa crise mundial.

Na busca por combustíveis, bem como produtos orgânicos para substituir os derivados das referidas fontes fósseis (hulha e petróleo), pesquisas têm sido realizadas com o intuito de se detectar novas fontes energéticas renováveis, menos poluidoras, abundantes, de baixo custo e, sobretudo, eficientes. Dentre as fontes potenciais destaca-se a biomassa florestal, principalmente nos países com condições territoriais, edafo-climáticas e hídricas semelhantes às observadas no Brasil.

No país, tem sido incentivada a substituição dos combustíveis fósseis, com alto potencial de poluição, por combustíveis renováveis menos poluidores. Isso acontece no caso da intensificação do uso da energia hidrelétrica, da energia eólica e, em larga escala, da energia derivada da biomassa vegetal (etanol, resíduos agroflorestais, biomassa florestal, etc.).

Em relação à biomassa florestal, as florestas plantadas têm contribuído significativamente como fornecedoras de matéria-prima para o setor energético nacional. Povoamentos florestais energéticos, distribuídos pelas principais regiões consumidoras do país, têm sido os provedores de lenha para a produção de carvão vegetal, de subprodutos da pirólise, de briquetes e pellets, bem como para o consumo "in-natura".

O objetivo principal do presente trabalho de pesquisa foi avaliar as potencialidades energéticas da madeira do *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urograndis*, bem como a possibilidade da adoção destas espécies para a produção de insumos orgânicos derivados da destilação seca da madeira.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Biomassa

Por definição biomassa é todo e qualquer material que tenha a base da sua constituição carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H) e nitrogênio (N) e considera-se como biomassa florestal todo o material orgânico derivado de sistemas nativos ou implantados, resultante da manufatura de produtos florestais na indústria de base florestal, de resíduos urbanos oriundos da utilização dos produtos manufaturados ou mesmo do manejo de florestas urbanas (BRAND, 2010)

No Brasil há uma grande produção de resíduos provenientes da biomassa florestal que pode provocar danos ambientais que vão desde assoreamento de rios e lagoas à contaminação

dos cursos d'água, ocupação de extensas áreas nas indústrias e poluição do ar pela queima a céu aberto (PROTÁSSIO et al., 2011).

Os pontos mais importantes normalmente valorizados quando se trata de mencionar as vantagens do uso da biomassa como fonte de geração de energia são: apresenta baixos teores de cinza e enxofre; é um combustível renovável; contribui para o balanço neutro entre emissões e fixação de gases poluentes como o dióxido de carbono; tem altas produtividades em regiões tropicais e subtropicais como o Brasil; quando convertida pode ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso; pode ser oriunda de plantios exclusivos para usos energéticos, ou de plantios de usos múltiplos e de resíduos florestais, industriais urbanos; no caso dos resíduos agroflorestais, o uso facilita as operações posteriores de plantio ou replantio e reduz os riscos de incêndios e doenças nas próximas rotações. Além disso, sob o ponto de vista econômico, social e ambiental o uso da biomassa apresenta vantagens como o decréscimo da dependência das importações de petróleo; o aumento do uso dos recursos naturais e renováveis (RNR); melhoria no gerenciamento florestal e decréscimo nos custos energéticos (BENICIO, 2011).

## **2.2. Processo de Carbonização**

A carbonização da madeira é caracterizada pela decomposição térmica parcial da mesma em ambientes fechados, na ausência ou na presença de quantidades controladas de oxigênio, envolvendo uma série de transformações físicas e químicas extremamente complexas. O comportamento da madeira durante a carbonização é o resultado do somatório dos comportamentos dos seus constituintes químicos, nas várias fases de aquecimento (CARVALHO, 1997). De acordo com Mendes et al. (1982) a velocidade do processo de carbonização exerce grande influência nos rendimentos e na qualidade dos produtos obtidos.

Segundo Barcellos (2007) a temperatura final de carbonização influencia as propriedades e características químicas do carvão produzido. Carvões obtidos a partir de temperaturas finais elevadas apresentam menores rendimentos gravimétricos e maiores teores de carbono fixo.

Aumentos na temperatura final de carbonização proporcionam aumentos no teor de carbono e reduções no rendimento em carvão e no teor de matérias voláteis. O poder calorífico do carvão equivale ao do carbono. No entanto, o carvão que possua um alto teor de matérias voláteis pode apresentar um poder calorífico mais elevado, desde que os compostos voláteis sejam ricos em hidrogênio (OLIVEIRA, 1982).

## **2.3. Carvão Vegetal**

Carvão vegetal é um dos produtos da destilação seca da madeira. Segundo Almeida e Rezende (1982) as propriedades do carvão vegetal dependem basicamente, da matéria-prima e do processo de carbonização.

Carvão vegetal com alto teor de carbono fixo, baixos teores de matérias voláteis e de cinza, representa um combustível de boa qualidade química (Ribeiro e Vale, 2006)

De acordo com o BRASIL (2014) 8,3% da matriz energética do país é baseada na lenha e no carvão vegetal. Além de ser o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do mundo.

Atualmente, tem sido observado um crescimento no consumo de carvão vegetal oriundo de florestas energéticas. Esse aumento do consumo decorre de vários fatores, dentre os quais pode-se destacar as exigências e a pressão constante dos grandes consumidores

nacionais e internacionais de ferro-gusa para redução ou até eliminação da utilização de carvão de áreas nativas, aliado às exigências ambientais nacionais, cada vez mais intensas, por meio de leis e regulamentos. Observa-se, dessa forma, uma elevação progressiva do consumo de carvão originado de plantações florestais na produção de gusa no país. As grandes consumidoras de carvão vegetal, indústrias independentes ou integradas de produção de ferro-gusa e ferro-ligas, estão aumentando a eficiência do processo de carbonização da madeira e do processo industrial com a finalidade de aprimorar a sustentabilidade ambiental, econômica e social da produção de carvão vegetal e siderúrgica (ABRAF, 2013).

É importante salientar que o Brasil é o único país do mundo que produz ferro-gusa à partir de carvão vegetal, que é de melhor qualidade e não contribui para a poluição ambiental, como ocorre com o coque siderúrgico. A produção de “gusa verde” a partir de carvão vegetal de florestas plantadas mostra, mais uma vez, o crescente comprometimento do segmento com a preservação ambiental (ABRAF, 2013).

#### **2.4. O gênero *Eucalyptus***

O gênero pertence à família Myrtaceae, com mais de setecentas espécies. Ocorre naturalmente na Austrália e as espécies são adaptadas a diversas condições de clima e solo. A madeira é, na maioria das vezes, pesada, resistente, com textura fina e baixa estabilidade dimensional. O gênero é representado por árvores com altas taxas de crescimento, plasticidade, forma retilínea do fuste, desrama natural e madeira com variações nas propriedades tecnológicas (OLIVEIRA et al., 1999).

Segundo Mora e Garcia (2000), a maioria das espécies conhecidas apresenta árvores típicas de florestas altas, com 30 a 50 m de altura, aproximadamente. Os autores ainda destacam que o gênero possui aplicabilidade para a maioria dos possíveis usos. Para Oliveira et al. (1999) o grande sucesso do gênero no mundo foi sua fácil adaptação a qualquer ambiente.

O *Eucalyptus* é caracterizado pela elevada plasticidade, ou seja, grande capacidade de adaptações às condições ambientais (ANDRADE, 1993). O autor menciona que, além de grande adaptabilidade, o gênero também se destaca pelo rápido crescimento, devido ao grande avanço das práticas silviculturais, ao manejo e, principalmente, ao melhoramento genético das espécies.

Os programas de melhoramento das principais empresas do setor visam aumentar a produtividade dos clones plantados, juntamente com a qualidade da madeira, a fim de obter uma produção adaptada às exigências tecnológicas da siderurgia. Os progressos em melhoramento genético e em práticas silviculturais ao longo de várias décadas permitiram ganhos consideráveis nas plantações industriais do eucalipto no Brasil (BRITO e BARRICHELO, 2006). Paludzysyn Filho (2008) relata que, para fins energéticos, o melhoramento enfatiza as madeiras de eucalipto que têm elevado potencial produtivo, alta densidade e alto teor de lignina, pois, segundo o autor, o rendimento na produção de carvão é maximizado com o uso da madeira mais densa, de maior poder calorífico e constituição química adequada, resultando em carvão de melhor qualidade.

A partir do início do século XX, o eucalipto teve seu plantio intensificado no Brasil, sendo usado durante algum tempo nas ferrovias, como dormentes e lenha para as locomotivas chamadas de “marias-fumaças” e mais tarde como poste para eletrificação das linhas. No final dos anos 20, as siderúrgicas mineiras começaram a aproveitar a madeira do eucalipto, transformando-a em carvão vegetal utilizado no processo de fabricação de ferro-gusa. A partir daí novas aplicações foram desenvolvidas, com o aproveitamento total do eucalipto. Das

folhas extraem-se óleos essenciais empregados em produtos de limpeza e alimentícios, em perfumes e até em remédios. A casca fornece tanino usado no curtimento do couro, pode ser mantida no solo para a liberação de nutrientes ou serem queimadas para gerar energia. O tronco fornece madeira para as serrarias, postes, mourões, esteios para minas, mastros para barco, tábuas para embalagens e móveis. Também pode ser usado para fins energéticos, na forma de lenha ou de carvão vegetal. Sua fibra é utilizada como matéria-prima para a fabricação de celulose e papel. (CIFLORESTA, 2014).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Procedência e Amostragem da Matéria-Prima

A matéria-prima utilizada foi coletada em uma área experimental localizada no Sítio Membeca, no distrito de Avelar, município de Paty do Alferes, Estado do Rio de Janeiro. Atualmente, a lenha do plantio destina-se a uma indústria têxtil. O povoamento tem 7 anos de idade.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é tropical úmido de altitude, com chuvas no verão e estiagem no inverno (INMET/MAARA, 1995). Segundo dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 1992), o campo experimental de Avelar apresenta precipitação média anual de 1.134 mm, com chuvas concentradas de novembro a março e período seco de abril a agosto.

Foram utilizadas seis árvores de cada espécie (*E. grandis*, *E. urophylla* e *E. urograndis*) sendo coletados indivíduos que apresentassem boa fitossanidade.

De cada árvore foram retirados seis discos de madeira com cerca de 2,5 cm de espessura, na base, à altura do peito, e a 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. Esses discos foram quarteados e duas cunhas opostas entre si foram utilizadas para as análises físicas e as duas cunhas restantes foram transformadas em cavacos para as análises térmicas.

#### 3.2. Ensaio Físico da Madeira

A determinação da densidade básica da madeira ( $\text{g/cm}^3$ ) foi conduzida no Laboratório de Energia da Madeira do IF/UFRRJ, de acordo com a metodologia descrita na norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

#### 3.3. Pirólise do Material Lenhoso

No decorrer da pirólise da madeira foram utilizados cavacos secos em estufa regulada a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ . Em seguida, determinou-se a massa de um volume de cavacos absolutamente secos (a.s.), os quais foram acondicionados no interior de um cadinho metálico (Figura 1). O cadinho foi colocado dentro de uma mufla elétrica adaptada (Figura 2), adotando-se a temperatura final de  $500^\circ\text{C}$  com incremento médio de  $6,6^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  a partir da temperatura ambiente. Um duto na parte posterior do cadinho permitiu a condução dos gases condensáveis e incondensáveis para dois condensadores de Liebig instalados em série. O líquido pirolenhoso foi coletado e os gases incondensáveis inflamáveis foram queimados.



Figura 1. Cadinho metálico, utilizado para a destilação seca da biomassa florestal.



Figura 2. Sistema laboratorial para a destilação seca da biomassa florestal.

### 3.4. Análises Termogravimétricas

Os rendimentos gravimétricos do carvão vegetal e do líquido pirolenhoso (%) foram determinados pela relação entre a massa dos respectivos produtos e a massa da madeira utilizada (g). O rendimento em gases incondensáveis (%) foi determinado por diferença. Os rendimentos em carbono fixo (%) resultaram do produto do rendimento gravimétrico em carvão vegetal e do respectivo teor de carbono fixo do carvão vegetal.

### 3.5. Ensaio Físico do Carvão Vegetal

Determinou-se a massa específica aparente do carvão vegetal ( $\text{g/cm}^3$ ) de acordo com a metodologia descrita na norma NBR 1269/79 (ABNT, 1997). O volume do carvão vegetal foi determinado através do princípio de Arquimedes, recomendado pela COPANT 461/72.

### 3.6. Análise Química Imediata do Carvão Vegetal

A análise química imediata do carvão vegetal foi efetuada com base na norma ASTM D-1764, adaptada por Oliveira et al. (1982). Foram determinados os teores de matérias voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF).

### 3.7. Poder Calorífico do Carvão Vegetal

A partir da utilização de equações devidamente ajustadas, foram estimados os poderes caloríficos superior (PCS) e inferior (PCI) dos carvões vegetais. As equações utilizadas foram as seguintes:

$$\text{PCS} = [(82 \times \text{TCF}) + (\text{A} + \text{TMV})] \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{PCI} = \{[\text{PCS} - (25,11 \times \text{U})]/[(100 + \text{U}) \times 100]\} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: PCS = Poder calorífico superior, em kcal/kg; PCI = Poder calorífico inferior, em kcal/kg; TCF = Teor de carbono fixo, em %; A = Coeficiente resultante da relação:  $[\text{TMV}/(\text{TMV}+\text{TCZ})]$ ; TMV = Teor de matérias voláteis, em %; TCZ = Teor de cinza, em %; U = Média do teor de umidade do carvão vegetal, com base no peso úmido, em %.

### 3.8. Análise dos Dados

A avaliação dos dados foi realizada com base num delineamento estatístico inteiramente casualizado. Efetuou-se a análise de variância, adotando-se o nível de 1% de significância e utilizou-se, para a comparação entre as médias dos tratamentos, o teste de Tukey a 99% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 apresenta-se os valores médios observados após os ensaios físicos da madeira e do carvão vegetal.

Tabela 1 - Valores médios das densidades básicas da madeira (DBM) e massas específicas aparentes do carvão vegetal (MEA).

Espécie	DBM (g/cm <sup>3</sup> )	MEA (g/cm <sup>3</sup> )
<i>E. grandis</i>	0,44 (9,43%) b	0,35 (31,65%) b
<i>E. urophylla</i>	0,54 (12,98%) a	0,49 (96,16%) a
<i>E. urograndis</i>	0,47 (12,81%) b	0,33 (21,55%) b

\* Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatísticas e ns indica que não houve diferenças significativas. Os valores dentro dos parênteses são referentes ao coeficiente de variação.

O valor médio da densidade básica da madeira do *E. urophylla* foi significativamente superior aos demais, sendo superior 22,73% em relação ao menor valor médio, apresentado pelo *E. grandis* (0,44 g/cm<sup>3</sup>). Reis et al. (2012) encontraram para a madeira de *E. urophylla* um valor médio de 0,55 g/cm<sup>3</sup>, próximo ao observado na presente pesquisa (0,54 g/cm<sup>3</sup>). Queiroz et al. (2004) trabalhando com o *E. urograndis*, encontraram um valor médio de 0,50 g/cm<sup>3</sup>, em termos absolutos, um pouco acima do observado no presente estudo (0,47g/cm<sup>3</sup>).

Segundo Brito et al. (1982), a densidade básica da madeira apresenta uma correlação positiva com a densidade do carvão vegetal, fato indicado no presente estudo. A massa específica aparente do carvão da madeira de *E. urophylla* foi significativamente superior às demais, apresentando-se 48,48% superior ao menor valor médio, apresentado pelo *E. urograndis* (0,33g/cm<sup>3</sup>). Brito (1993) ressalta que o uso de um carvão vegetal mais denso implica em maiores tempos de residência na zona de reserva térmica do alto-forno. Gomes e

Oliveira (1980) comentam que a densidade do carvão vegetal é uma propriedade bastante importante, pois determina o volume ocupado pelo redutor em um alto-forno siderúrgico e ressaltam que, não havendo prejuízo para as outras propriedades, a densidade do carvão vegetal deve ser a maior possível.

A Tabela 2 apresenta os valores médios dos rendimento gravimétricos em carvão vegetal, líquido pirolenhoso, gases incondensáveis e em carbono fixo (%), observados a partir da pirólise da madeira das três espécies florestais avaliadas.

Tabela 2 - Valores médios dos rendimentos em carvão vegetal (RCV), líquido pirolenhoso (RLP), gases incondensáveis (RGI) e em carbono fixo (%), das madeiras das três espécies florestais avaliadas.

<b>Espécie</b>	<b>RCV (%)</b>	<b>RLP (%)</b>	<b>RGI (%)</b>	<b>RCF (%)</b>
<i>E. grandis</i>	23,45 (3,64%) ns	45,42 (4,31%) a	31,13 (3,64%) b	21,45 (6,36%) ns
<i>E. urophylla</i>	23,83 (3,65%) ns	44,31 (3,88%) a	31,86 (2,92%) b	21,65 (6,34%) ns
<i>E. urograndis</i>	23,26 (3,39%) ns	40,55 (3,97%) b	36,19 (2,58%) a	20,43 (6,30%) ns

\* Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatísticas e ns indica que não houve diferenças significativas. Os valores dentro dos parênteses são referentes ao coeficiente de variação.

Não foram observadas diferenças significativas entre os valores médios dos rendimentos em carvão vegetal das três espécies florestais. Segundo Oliveira (2003), os rendimentos em carvão vegetal, assim como os rendimentos em líquido pirolenhoso e em gases incondensáveis, são afetados pelas condições de produção, principalmente pela temperatura máxima da pirólise.

Sob as condições de pirólise adotadas no presente estudo, o *E. urograndis* apresentou uma produção de líquido pirolenhoso cerca de 12,00% menor do que as apresentadas pelas outras duas espécies. Num estudo de Reis et al. (2012) com o *E. urophylla*, conduzido sob condições de pirólise semelhantes, foi observado o rendimento médio em líquido pirolenhoso de 46,42 %, valor próximo ao observado na presente pesquisa, de 44,31%.

A madeira do *E. urograndis* apresentou o maior rendimento em gases incondensáveis após a pirólise. O valor médio do rendimento em gases incondensáveis apresentado pelo *E. urograndis* (36,19%) foi significativamente superior aos valores médios apresentados pelas duas outras espécies, sendo cerca de 16,25% superior ao menor valor médio, apresentado pelo *E. grandis* (31,13%). Santos et al. (2012), em estudos termogravimétricos com a madeira de *E. urograndis*, observaram um rendimento médio em gases incondensáveis de 38,23%, valor próximo ao obtido na presente pesquisa (36,19%).

Os valores médios dos rendimentos em carbono fixo não se diferenciaram entre si. Segundo Andrade (1989), por representar, ao mesmo tempo, características de produtividade e de qualidade do carvão vegetal, o rendimento em carbono fixo é um dos principais parâmetros para a análise termogravimétrica de materiais lignocelulósicos.

A Tabela 3 mostra os valores médios obtidos na análise química imediata do carvão vegetal e os respectivos poderes caloríficos (kcal/kg).

Tabela 3 - Valores médios dos teores de materiais voláteis (TMV), de cinza (TCZ), de carbono fixo (TCF), poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI) dos carvões vegetais das três espécies florestais.

Espécie	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)	PCS (kcal/kg)	PCI (kcal/kg)
<i>E. grandis</i>	6,25 (36,18%) ns	2,50 (104,45%) ns	91,25 (4,13%) ns	8351,25 (2,55%) ns	6010,93 (2,78%) ns
<i>E. urophylla</i>	7,08 (36,35%) ns	2,08 (123,58%) ns	90,83 (3,18%) ns	8412,91 (3,03%) ns	5779,67 (3,35%) ns
<i>E. urograndis</i>	10,41 (69,28%) ns	1,66 (147,71%) ns	87,91 (9,22%) ns	8480,83 (2,87%) ns	5807,60 (3,17%) ns

\* Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatísticas e ns indica que não houve diferenças significativas. Os valores dentro dos parênteses são referentes ao coeficiente de variação.

Não foram detectadas diferenças significativas entre os valores médios dos teores de materiais voláteis, cinza, carbono fixo, poder calorífico superior e poder calorífico inferior dos carvões das madeiras das três espécies florestais analisadas. As diferenças observadas em termos absolutos não foram suficientes para expressar uma diferença estatística significativa.

Entretanto, tendo por base comparações realizadas entre os valores médios observados no presente trabalho e os encontrados na literatura vigente, percebe-se que os resultados energéticos são satisfatórios. Por exemplo, no caso do valor médio do teor de cinza no carvão vegetal, que é uma característica intrínseca dependente de práticas silviculturais como a adubação e a calagem do solo (ANDRADE, 1993), a literatura vigente apresenta, para as mesmas espécies florestais ora analisadas, um valor médio de 4,50 % (ADORNO e GARCIA, 2003; REIS et al., 2012; FREDERICO, 2009). Como no presente estudo este valor médio não excedeu a 2,50 %, pode-se inferir que tais práticas silviculturais foram executadas de uma forma mais comedida, o que resultou em benefícios para a qualidade química do carvão vegetal.

Quando se procede a comparação dos valores médios dos teores de carbono fixo da Tabela 3 com aqueles apresentados pelas mesmas espécies florestais e disponíveis na literatura vigente, pode-se perceber que os valores ora encontrados estão acima dos citados na literatura. Trabalhando com *E. grandis* Adorno e Garcia (2003) encontraram o valor médio de 80,16%, Reis et al. (2012) encontraram o valor médio de 82,29% para o *E. urophylla* e Frederico (2009) encontrou o valor médio de 78,65% para o *E. urograndis*. Tais reduções nos referidos valores médios se devem, dentre outros fatores, à presença de maiores valores médios de cinza e de materiais voláteis nos respectivos carvões vegetais.

## 5. CONCLUSÕES

Tendo por base as condições em que a presente pesquisa foi realizada e os resultados observados, pode-se concluir que:

- 1º) O valor médio da densidade básica da madeira de *E. urophylla* foi superior aos demais.
- 2º) O valor médio da massa específica aparente do carvão vegetal do *E. urophylla* foi superior aos demais.
- 3º) Não foram percebidas diferenças significativas entre os valores médios dos rendimentos em carvão vegetal das espécies florestais.
- 4º) Durante a pirólise, a madeira de *E. urograndis* produziu menos líquido pirolenhoso e mais gases incondensáveis do que as madeiras das outras espécies florestais.
- 5º) Os valores médios dos rendimentos em carbono fixo não diferiram entre si.
- 6º) Após a análise química imediata não foram detectadas diferenças significativas entre os parâmetros de qualidade química dos carvões.
- 7º) Não foram detectadas diferenças significativas entre os poderes caloríficos superior e inferior dos carvões das espécies florestais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**, Brasília: ABRAF, 2013 148 p.
- ADORNO, M. F. C.; GARCIA, J. N. Correlações lineares entre as principais características tecnológicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 44-53, 2003.
- ALMEIDA, M. R.; REZENDE, M. E. A. **O Processo de carbonização contínua da madeira**. In: Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte:Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais -CETEC. 1982. 393 p.
- ANDRADE, A. M. **Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto**. 1993. 105 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG
- ANDRADE, A. M. **Influencia da casca de *Eucalyptus grandis* W. HILL ex MAIDEN no rendimento e qualidade do carvão vegetal**. Viçosa-MG. UFV. 86p. 1989. (Tese de Mestrado)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Norma – NBR 7190**. Rio de Janeiro, 1997. 107p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Norma NBR 1269/79**. Rio de Janeiro, 1979. 80p.

BARCELLOS, D. C. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. Viçosa -MG. UFV 162p. 2007

BENICIO, E. L. **Utilização de resíduo celulósico na composição de briquetes de finos de carvão vegetal**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2011, 55p.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

BRASIL, **Balanco Energético Nacional**. Brasília, 2014.p.288.

BRITO, J. O., Reflexão sobre a qualidade do carvão vegetal para uso na siderúrgico. **Circular técnica**. IPEF, Piracicaba, (181), fev. 1993.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Comportamento isolados da lignina e da celulose da madeira frente à carbonização**. Piracicaba: ESALQ, 2006. 4 p. (Circular Técnica, 28).

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; MURAMOTO, M. C. e COUTO, H.T. Z. do Estimativa da densidade a granel do carvão vegetal a partir de sua densidade aparente. **Circular técnica**. IPEF, Piracicaba, (150), out. 1982.

CARVALHO, A.M.M.L. **Efeito da impregnação da madeira de Eucalyptus grandis com sais ignífugos na produção e na qualidade do carvão**. 1997. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CENTRO DE INTELIGENCIA EM FLORESTAS(CIFLORESTA); Eucalipto. Disponível em: <http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=eucalipto>. Acesso em : 18 de out. 2014. (Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

COMISSION PANAMERICANA DE NORMA TÉCNICAS. **Maderas: método de determinacion del peso especifico aparente. (COPANT- 461)**. Caracas, 1972.

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

GOMES, P.A.; OLIVEIRA, J.B. de Teoria da carbonização da madeira. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS – *Uso da madeira para fins energéticos*. Belo Horizonte, 1980. p.27-41.

INMET/MAARA. **Boletim Agrometeorológico (1974-1993)**. Rio de Janeiro, 1995 (Relatório Interno)

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. (Ed.). **Produção e utilização do carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 76-89.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. Verso e Reverso Comunicações. São Paulo, 2000, 112 p.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no Semi-Árido Nordestino**. 2003. 122f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, J. B. de; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. Propriedades do carvão vegetal. In: **Carvão vegetal: destilação, carvoejamento, controle de qualidade**. Belo Horizonte - MG. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC 173p. 1980.

OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. **Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal**. Belo Horizonte: fundação CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, 1982.

OLIVEIRA, J. T.; HELLMEISTER, J. C.; SIMOÕES, J. W.; FILHO, M. T. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil : Avaliações dendrometrias das árvores. **Scientia Forestalis** n56, p.113-124,dez 1999

PALUDZYSYN FILHO, E. Melhoria do eucalipto para a produção de energia. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, n. 15, jun./ago. 2008. Disponível em: <[http://www.revistaopinioes.com.br/cp/edicao\\_materias.php?id=15](http://www.revistaopinioes.com.br/cp/edicao_materias.php?id=15)>. Acesso em: 18 de out. 2014.

PROTÁSSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. Compactação da biomassa vegetal visando a produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, vol. 31, n.68, p.273-283, out/dez, 2011.

QUEIROZ, S. C. S; GOMIDE, J. L.; , Jorge Luiz COLODETTE, J. L. e e Rubens Chaves de OLIVEIRA, R.C., Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden X Eucalyptus urophylla S. T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.901-909, 2004

REIS, A. A. DOS, PROTÁSIO, T. P.; MELO, I.C.N.A. DE; PAULO FERNANDO TRUGILHO, P. F.E CARNEIRO, A. C. O. Composição da madeira e do carvão vegetal e Eucalyptus urophylla em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v 32, n. 71, p.277-290,2012.

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

RIO DE JANEIRO. Governo do estado do Rio de Janeiro. **Fórum para o desenvolvimento da região centro-sul fluminense – subsídios para debates e informações gerais**. Rio de Janeiro: Banerj / Jornal do Brasil, 1992. 80p.

SANTOS, R. C. dos; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M.e CARVALHO, A. M. M. L., et al., Análise termogravimétrica em clones de Eucalipto como subsídio para a produção de carvão. **Revista Cerne**, Lavras, v18, n. 1, p. 143-151,2012.