

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SILVICULTURA**

**FRANCYS PINHEIRO RODRIGUES; LÁSARO LINO DOS SANTOS; THACYANA
NYLJAMARA VITORINO CREPALDE**

**AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO SOBRE A
QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL DE EUCALIPTO**

**SÃO JOÃO EVANGELISTA – MINAS GERAIS
NOVEMBRO 2010**

**FRANCYS PINHEIRO RODRIGUES; LÁSARO LINO DOS SANTOS; THACYANA
NYLJAMARA VITORINO CREPALDE**

**AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO SOBRE A
QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL DE EUCALIPTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Superior de
Tecnologia em Silvicultura, do IFMG
– Campus São João Evangelista –
MG, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Tecnólogo em
Silvicultura.

Orientador: Prof. Dr. Aderlan Gomes
da Silva.

**SÃO JOÃO EVANGELISTA – MINAS GERAIS
NOVEMBRO 2010**

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela biblioteca do Instituto Federal Minas Gerais – Campus São João Evangelista

R696a RODRIGUES, Francys Pinheiro
Avaliação da temperatura final de carbonização sobre a
qualidade do carvão vegetal de eucalipto./ Francys
Pinheiro Rodrigues; Lásaro Lino dos Santos;
Thacyana Nyljamara Vitorino Crepalde. São João Evangelista,
MG: IFMG- Campus São João Evangelista, 2010.
37 p.

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC (graduação) apresentado
ao Instituto Federal Minas Gerais – Campus São João Evangelista
– IFMG, Curso de Tecnologia em Silvicultura, 2010.
Orientador: prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva

1. Temperatura de carbonização. 2. Qualidade do carvão vegetal de eucalipto. 3. Carvão vegetal. I. Instituto Federal Minas Gerais – Campus São João Evangelista. Curso de Tecnologia em Silvicultura. II. Título.

CDD 634.986732

**FRANCYS PINHEIRO RODRIGUES; LÁSARO LINO DOS SANTOS; THACYANA
NYLJAMARA VITORINO CREPALDE**

**AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO SOBRE A
QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL DE EUCALIPTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Superior de
Tecnologia em Silvicultura, do IFMG
– Campus São João Evangelista –
MG, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Tecnólogo em
Silvicultura.

Aprovada, em ____ de _____ de 2010.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva - Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista.

Prof^a Esp. Ana Carolina Ferraro - Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

Prof. Dr. Claudionor Camilo da Costa - Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista.

A Deus pelas oportunidades que nos foram concedidas na vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), Campus São João Evangelista, pela oportunidade da realização deste curso de graduação.

Aos nossos pais, pelo esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas.

Ao Professor Aderlan Gomes da Silva, pela orientação, paciência e ensinamentos.

Aos Professores, Coordenação e Administrativos do Curso Superior de Tecnologia em Silvicultura, pelos esforços que tiveram na jornada do ensino.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, acreditaram e nos incentivaram a correr atrás de nossos ideais. Em especial aos colegas Joaquim André, Josimar Mendes, Miguel Lopes, Raimundo Borba e Raquel Ferreira Viana.

Durante este trabalho...

As dificuldades não foram poucas...

Os desafios foram muitos...

Os obstáculos, muitas vezes, pareciam intransponíveis.

Muitas vezes nos sentimos só, e, assim, o estivemos...

O desânimo quis contagiar, porém, a garra e a tenacidade foram mais fortes, sobrepondo esse sentimento, fazendo-nos seguir a caminhada, apesar da sinuosidade do caminho.

Agora, ao olharmos para trás, a sensação do dever cumprido se faz presente e podemos constatar que as noites de sono perdidas, as viagens e visitas realizadas; o cansaço dos encontros, os longos tempos de leitura, digitação, discussão; a ansiedade em querer fazer e a angústia de muitas vezes não o conseguir, por problemas estruturais; não foram em vão.

Aqui estamos, como sobreviventes de uma longa batalha, porém, muito mais fortes e hábeis, com coragem suficiente para mudar a nossa postura, apesar de todos os percalços...

RODRIGUES, Francys Pinheiro; SANTOS, Lásaro Lino; CREPALDE, Thacyana Nyljamara Vitorino. **Avaliação da temperatura final de carbonização sobre a qualidade do carvão vegetal de eucalipto**. São João Evangelista, MG: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Campus São João Evangelista, 2010. 37p. Orientador: Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva.

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho avaliar a influência da temperatura final de carbonização sobre a qualidade do carvão vegetal de eucalipto. Cavacos de plantas de *Eucalyptus* sp. com aproximadamente 7 anos, foram carbonizados a temperaturas finais de: 250°C, 350°C, 450°C, 550°C, 650°C, 750°C, 850°C e 950°C, em um forno elétrico (mufla) com retorta metálica adaptada para liberação de gases e vapores gerados durante o processo. O carvão produzido foi qualificado quanto aos teores de carbono fixo, materiais voláteis, umidade e rendimento gravimétrico. Os resultados demonstraram que a temperatura final de carbonização igual a 450°C produziu carvão com melhores propriedades. Os teores de carbono fixo e de cinzas aumentaram com o incremento da temperatura. O teor de materiais voláteis diminuiu com aumento da temperatura final de carbonização. O rendimento em carbono foi melhor na temperatura final de 450°C. O rendimento gravimétrico diminuiu com aumento da temperatura, em função da maior perda de voláteis.

Palavras-Chave: Carbonização, temperatura final de carbonização, carvão vegetal, propriedades químicas.

RODRIGUES, Francys Pinheiro; SANTOS, Lásaro Lino; CREPALDE, Thacyana Nyljamara Vitorino. **Evaluation of the final temperature of carbonization on the quality of eucalyptus charcoal.** São João Evangelista, MG: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Campus São João Evangelista, 2010. 37p. Advisor: Aderlan Gomes da Silva.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate influence of final temperature of carbonization on the quality of charcoal from eucalyptus. Wood chips, *Eucalyptus* sp. from trees with approximately 7 years old, were charred to final temperatures of: 250°C, 350°C, 450°C, 550°C, 650°C, 750°C, 850°C and 950°C in an electric furnace (muffle) with adapted metal retort for release of gases and vapors generated carbonization process. The coal produced was qualified for the levels of fixed carbon, volatiles, moisture and gravimetric yield. The results showed that the final carbonization temperature exceeding 450°C produced coal with better properties. The levels of fixed carbon and ash increased with increasing temperature. The content of volatile materials decreased with increasing final temperature of carbonization. The yield on carbon was better in the final temperature of 450°C. The gravimetric yield decreased with increasing temperature, due to higher loss of volatiles.

Keywords: Carbonization, final temperature of carbonization, charcoal, chemical properties.

1 INTRODUÇÃO

Diante da redução de combustíveis fósseis e de exigências ecológicas, começa-se a utilizar a biomassa de florestas plantadas como fonte de energia. Considerando o fato de esta ser renovável e ter balanço neutro entre a emissão e captura de poluentes atmosféricos, principalmente de CO₂, esta fonte energética torna-se estratégica principalmente em países como o Brasil, onde o crescimento das florestas é superior ao de qualquer outra parte do mundo.

A busca por um melhor aproveitamento da biomassa florestal tem aumentado dia após dia, isso decorre de questões econômicas, sociais, ambientais, e climáticas que ameaçam a qualidade de vida no planeta.

Diante dos processos de transformação da biomassa em energia, a carbonização, além de ser o mais antigo, é um dos métodos mais importantes, tendo inúmeras aplicações. Para se analisar as possibilidades tecnológicas da utilização do carvão vegetal como termorredutor nos processos siderúrgicos, são necessários dados sobre a qualidade, a temperatura ideal, a disponibilidade e a melhor tecnologia a ser empregada.

A temperatura final de carbonização é uma das variáveis responsáveis pela qualidade final do carvão vegetal. Ela desempenha um papel fundamental nas diversas reações durante o processo de carbonização, levando à geração de produtos com características físicas e químicas diferentes (TRUGILHO; SILVA 2004).

Além da temperatura, outros parâmetros influenciam na qualidade final do carvão vegetal, como: densidade, poder calorífico superior, resistência mecânica, umidade e composição química (carbono fixo, cinzas e materiais voláteis). Características como a densidade básica, poder calorífico, constituição química e umidade estão entre os principais critérios de seleção da madeira para produção de carvão.

Com o desenvolvimento da pesquisa florestal, descobriu-se que fatores como: teor de minerais, teor de umidade, densidade, entre outros, podem ser influenciados pelo manejo da floresta, por meio de tratamentos silviculturais (BARCELLOS et al 2005). Os principais tratamentos aplicados a uma floresta, que influenciam a qualidade da madeira para energia e a produtividade da floresta são: controle do

espaçamento, fertilização mineral, aplicação de desbastes e escolha do material genético. Entre os diversos fatores condicionantes da produção florestal, o espaçamento e a fertilização exercem papéis fundamentais no estabelecimento, na condução da floresta e nos custos de produção, uma vez que podem influenciar a taxa de crescimento das árvores, a qualidade da madeira, a idade de corte, bem como as práticas de implantação, manejo e colheita (BARCELLOS et al., 2005). Os elementos essenciais, que compreendem os nutrientes essenciais à sobrevivência da planta, fazem parte de compostos ou participam de reações sem a qual a planta não completa seu ciclo. São divididos em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e Co) (MALAVOLTA, 1997). O efeito desejado da desrama é melhorar a qualidade da árvore e, conseqüentemente, a sua forma. Ela é feita para promover a maior proporção de madeira mais clara. Silva (2001), citando Evans (1985), a poda ou desrama deve ser realizada logo após o fechamento da copa, a uma altura mínima de 2 m.

Estabelecer um programa de melhoramento genético florestal é importante que o setor industrial tenha definido muito bem os parâmetros de qualidade, para obtenção de um determinado produto final desejado.

O eucalipto é uma das melhores opções para a produção de carvão vegetal, devido à rusticidade, produtividade e às características da madeira. Os reflorestamentos de eucalipto, bem planejados e manejados, produzem árvores de tronco reto, bastante uniforme e madeira com massa específica adequada para a obtenção de carvão de boa qualidade (PINHEIRO et al., 2006).

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da temperatura final de carbonização na qualidade de carvão vegetal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Mendes; Gomes; Oliveira (1982), a temperatura final de carbonização é o principal parâmetro que influencia os teores de carbono fixo e materiais voláteis do carvão vegetal.

O aumento da temperatura causa decréscimo de sólido produzido (carvão), aumento na quantidade de produtos gasosos e aumento da concentração de carbono fixo da fração sólida (SYRED et al., 2006). Mendes; Gomes; Oliveira (1982) relata que a temperatura tem um efeito peculiar na densidade do carvão, decrescendo gradualmente até temperaturas na faixa dos 600°C a 900°C (temperatura máxima avaliada).

Segundo Pimenta (2007), na prática, independentemente dos equipamentos utilizados para a obtenção do carvão vegetal, faz-se necessário o controle dos parâmetros da carbonização, tais como o tempo, a temperatura final e a taxa de aquecimento. Estes fatores atuam sobre o rendimento do processo de carbonização podendo influenciar de forma significativa nos rendimentos dos produtos e nas características físicas e químicas do carvão obtido.

2.1 CARBONIZAÇÃO

De acordo com a literatura, a carbonização consiste na operação de decomposição térmica que a madeira sofre na ausência ou presença controlada de ar (oxigênio), gerando um resíduo sólido, chamado de carvão vegetal, além de gases. Vários fatores exercem influência sobre a eficiência da carbonização da madeira, dentre eles destacam-se a matéria-prima e o sistema ou processo de carbonização utilizados.

Segundo Pinheiro (2006), a carbonização é um processo em que a madeira é submetida a aquecimento entre 450°C e 550°C em ambiente fechado, com pequena quantidade ou exclusão total de ar e durante o qual são liberados gases, vapores de água e líquidos orgânicos, permanecendo como resíduos, principalmente, o alcatrão e o carvão vegetal.

O processo de carbonização é geralmente descrito em termos de “reações primárias e secundárias”. As reações primárias são conversões dos componentes principais da madeira em produtos incluindo gases, líquido (alcatrão) e carvão (sólido), enquanto que as reações secundárias reduzem os produtos de reações primárias (particularmente o alcatrão) em frações mais leves, resultando, principalmente, em gases (SYRED et al, 2006).

A carbonização da madeira envolve, portanto, fenômenos demasiadamente complexos que possibilitam a geração de um elevado número de compostos. Ela pode ser dividida em quatro etapas conforme a temperatura (MEDEIROS; RESENDE, 1983); (OLIVEIRA, 1982) : a) abaixo de 200°C - praticamente só ocorre a secagem da madeira; b) de 200 a 280°C - predominância de reações endotérmicas, com liberação de ácido acético, metanol, água, CO₂ e outros; c) de 280 a 500°C - predominância de reações exotérmicas, que levam à liberação de gases combustíveis (CO, CH₄ e outros) e alcatrões; e d) acima de 500°C - liberação de pequenas quantidades de voláteis, em especial H₂.

Essas etapas podem ocorrer de modo simultâneo durante a carbonização. Cada faixa de temperatura é responsável por um tipo de produto, com características próprias. A temperatura final de carbonização é, portanto, uma das variáveis responsáveis pela qualidade final do carvão vegetal. Ela desempenha um papel fundamental nas diversas reações durante o processo de carbonização, levando à geração de produtos com características físicas e químicas diferentes.

2.2 MATERIAIS VOLÁTEIS

Os materiais voláteis consistem nos gases voláteis residuais do carvão, que são compostos, principalmente, de hidrogênio, hidrocarbonetos, monóxido de carbono e dióxido de carbono.

O efeito dos materiais voláteis se dá na modificação estrutural do carvão. Porosidade, diâmetro médio dos poros, densidade e outras características físicas do produto podem ser alteradas drasticamente pela eliminação dos voláteis.

Quanto maior o teor de materiais voláteis, maior expansão gasosa haverá durante a descida do carvão no alto-forno, gerando mais trincas e maior porosidade.

Com o aumento desta última, as reações de gaseificação tendem a ocorrer no interior do carvão, ocasionando perda de massa interna.

Os materiais voláteis não são estáveis a temperaturas elevadas quando em presença de carvão ou biomassa sólida em decomposição. Os voláteis se fixam à superfície do sólido e rapidamente são carbonizados, liberando água, dióxido de carbono, metano e outros co-produtos. Essas observações podem indicar que o aumento do rendimento em carvão resultante da redução da taxa de aquecimento, em experimentos com grandes amostras, resulta em um artefato dessas reações químicas secundárias da fase gasosa (ANTAL et al., 2000).

Segundo Carmo (1988) o teor de materiais voláteis é influenciado pela temperatura de carbonização, taxa de aquecimento e composição química da madeira.

2.3 TEOR DE CINZAS

A cinza é um resíduo mineral proveniente dos componentes minerais do lenho e da casca (COTTA, 1996). Em algumas espécies, principalmente na casca, o teor de cinzas é elevado. Geralmente, o carvão vegetal apresenta baixo teor de cinzas quando comparado com o coque mineral (CARMO, 1988). Segundo Cotta (1996), quanto maior a proporção de materiais minerais na madeira, maior produção de cinzas no carvão. Deve-se tomar muito cuidado com as adubações em florestas, para que os níveis de minerais na madeira sejam aceitáveis, principalmente, os de enxofre e fósforo.

Altos teores de cinzas, como os sais que estão presentes na sua composição, podem prejudicar a produção de ferro-gusa, ferro-ligas e metais não ferrosos. No caso do ferro-gusa, as cinzas podem provocar o fenômeno da segregação. No uso industrial em siderurgia, o carvão vegetal deve possuir baixo teor de minerais, pois causa problemas sérios na qualidade do aço produzido. Este problema é ainda maior quando se produzem ligas metálicas. Os principais minerais encontrados nas cinzas são cálcio, magnésio, fósforo e silício.

A determinação do teor de cinzas é uma das principais características analisadas na biomassa para fins energéticos.

2.4 TEOR DE UMIDADE

Segundo Earl (1975), citado por Cunha et al. (1989), é importante que o teor de umidade da madeira a ser usada como combustível seja reduzido, diminuindo assim o manejo e o custo de transporte, agregando valor ao combustível.

O método mais simples e preciso de determinação do teor de umidade da madeira é o método gravimétrico, porém, o mesmo apresenta como desvantagem o fato de ser destrutivo, de exigir muito tempo para obter-se a resposta e ser inviável para espécies com componentes voláteis.

O conteúdo de umidade máximo que uma madeira deve conter ao ser queimada no forno está em torno de 65% a 70% em base úmida. Por existir essa umidade, é inevitável que ocorra uma perda de calor nos gases de combustão em forma de vapor de água, já que a água presente na madeira evapora e absorve energia em combustão. Desta forma, madeira muito úmida, com teor de umidade acima deste limite, necessita calor de origem externa para secar e entrar em combustão (INCE, 1980, citado por CUNHA et al., 1989; JARA, 1989).

Segundo Cunha et al. (1989), quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, menor é o seu poder de combustão, devido ao processo de evaporação da água, o qual absorve energia da combustão.

De acordo com Valente (1986) citado por Cotta (1996), a fabricação de carvão com madeira úmida origina um carvão friável e quebradiço, elevando a quantidade de moinha durante o manuseio e transporte. O autor aconselha ainda, carbonizar a madeira com umidade, base seca, entre 20 a 30%.

Teores de umidade elevados, principalmente na região central da madeira, no cerne, inevitavelmente provocará fendilhamento no carvão vegetal, predispondo a maior geração de finos, fato ocasionado pelo aumento da pressão de vapor por ocasião da transformação da madeira em carvão vegetal (COTTA, 1996).

Segundo Juvilar (1979), se a madeira tiver um teor de 50% de umidade, terá o carvão resultante prejudicado, devido ao desprendimento violento do vapor de água formado ao ser aquecida a madeira, que fragiliza e/ou fragmenta o carvão resultante.

2.5 CARBONO FIXO

O teor de carbono fixo do carvão vegetal é uma das características mais importantes no procedimento de qualificação, uma vez que está diretamente correlacionado com o poder calorífico desse combustível (BATAUS et al., 1989).

O carbono fixo pode ser definido como a quantidade de carbono presente no carvão, seu rendimento apresenta uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina, extrativos e densidade da madeira e inversamente proporcional ao teor de holocelulose. É uma função direta do rendimento gravimétrico e teor de carbono fixo presente na madeira (OLIVEIRA, 1988).

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

O controle da composição química, principalmente do carbono fixo, é importante, pois seu efeito reflete na utilização do carvão em alto forno por unidade de volume. Considerando-se um determinado alto forno e as mesmas condições operacionais, à medida que se aumenta o teor de carbono fixo do carvão melhor é a utilização volumétrica do alto forno.

O efeito do teor de carbono fixo no carvão vegetal é o de aumentar a produtividade do alto-forno, de forma análoga à densidade.

2.6 RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO

O rendimento gravimétrico pode ser definido como sendo o rendimento em carvão ao final do processo de carbonização considerando a matéria prima (madeira) como referência para o cálculo.

Segundo Oliveira (1988) o rendimento gravimétrico possui correlação positiva com teor de lignina total, teor de extrativos e densidade básica da madeira. Considerando que geralmente madeiras com maiores teores de lignina são mais densas, logo estes fatores são em maior ou menor grau interdependente. Correlação negativa entre largura e diâmetro dos lumens das fibras.

Outros fatores importantes para o aumento do rendimento gravimétrico são a temperatura máxima média de carbonização, na faixa dos 400°C, e uma taxa de aquecimento lenta (OLIVEIRA, 1982).

2.7 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

A madeira é composta basicamente de oxigênio, hidrogênio e carbono. O carbono equivale a aproximadamente 50%, o oxigênio a 44%, e o hidrogênio a 6% da composição química da madeira. A lignina, celulose e hemiceluloses são constituídas basicamente por estes elementos. A celulose apresenta 45% de carbono, enquanto a lignina possui de 61 a 67% (BARCELLOS et al., 2005).

Composição química elementar corresponde ao conteúdo percentual em massa dos principais elementos que constituem a biomassa. São geralmente apresentados valores para o carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), nitrogênio (N) e cinzas. Na maioria das vezes, o conteúdo se refere à matéria seca, ou seja, sem a presença de água (NOGUEIRA et al., 2000).

Composição química imediata refere-se ao conteúdo percentual, baseado na massa do combustível. São geralmente apresentados valores para carbono fixo (CF), matérias voláteis (MV), cinzas (CZ) e, eventualmente, umidade (U) (NOGUEIRA et al., 2000).

O comportamento da madeira, perante o processo de carbonização, representa o somatório do comportamento de cada um de seus componentes principais (celulose, hemiceluloses e lignina), sendo que o carvão vegetal consegue reter, em média, 57% do carbono inicial presente na madeira. O carbono restante está contido nos gases enriquecidos e no líquido pirolenhoso condensado. Evidencia-se, portanto, a importância da lignina quando se objetiva a produção de insumos energéticos sólidos.

Embora a lignina comece a se degradar sob o efeito de temperaturas relativamente baixas (por volta de 150°C), observa-se que a sua decomposição é mais lenta, ao contrário da celulose e hemiceluloses. A lignina continua a perder peso, mesmo em temperaturas superiores a 500°C, resultando, portanto, em uma maior massa carbonosa residual.

Transcorrido o período normal de carbonização, com temperatura média final ao redor de 500°C, a perda de peso apresentada pela lignina é significativamente menor que aquela experimentada pela celulose e pelas hemiceluloses, restando, ainda, cerca de 40% da sua massa original.

A degradação da celulose processa-se rapidamente, chegando a perder, na faixa de 300 a 350°C, cerca de 80% da sua massa. As hemiceluloses, por sua vez, começam a perder peso em temperaturas próximas a 225°C. Como são componentes pouco estáveis, considera-se que, por volta dos 500°C, a sua degradação térmica terá sido completa. Tudo indica que a resistência térmica dos constituintes químicos da madeira está intimamente relacionada às suas respectivas estruturas. Assim, quanto mais complexa, mais rígida, mais inacessível, mais fechada e mais cristalina for a estrutura, mais estável do ponto de vista térmico será o correspondente componente químico (ANDRADE, 1989; OLIVEIRA; GOMES; OLIVEIRA, 1982).

3 METODOLOGIA

Cavacos da madeira, *Eucalyptus* sp., obtidos de plantas com aproximadamente 7 anos, provenientes de uma das áreas de plantio do IFMG-Campus São João Evangelista, foram carbonizados usando-se um forno elétrico (mufla- modelo '200 F' DM, com medidas internas 30X15X15) com uma retorta metálica adaptada para liberar os gases e os vapores gerados durante o processo de pirólise.

Para pesagem dos cavacos utilizados, e das amostras utilizadas na análise química imediata, foi utilizada balança analítica com precisão de 0,0001 g.

A retorta metálica foi colocada no interior do forno elétrico (mufla), para a efetivação da carbonização (Figura 1). As amostras foram previamente secas em estufa com circulação de ar forçada a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ e depois submetidas, na mufla com temperaturas finais de carbonização de: 250°C , 350°C , 450°C , 550°C , 650°C , 750°C , 850°C e 950°C , com uma taxa de aquecimento constante de 100°C por hora. Foi realizada uma carbonização para cada temperatura, sendo que em cada ensaio utilizou-se de aproximadamente, 230g de cavacos. A mufla era imediatamente desligada após atingida a temperatura final de carbonização. Cada amostra permanecia por 24 horas dentro da mufla para resfriamento após o processo.



Figura 1: Retorta metálica, usada para a carbonização do material vegetal.

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido no Laboratório de Energia do IFMG, localizado na cidade de São João Evangelista, em Minas Gerais.

3.2 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DO CARVÃO VEGETAL

A análise imediata do carvão vegetal foi realizada com base na norma ASTM D 1762 - 64, com algumas modificações, pois de acordo com a norma deve-se utilizar cadinhos de fundo metálico. Foram determinados o teor de umidade (TU); teor de materiais voláteis (TMV); teor de cinzas (TCZ) e do teor de carbono fixo (TCF).

Para a análise química imediata foi utilizado delineamento inteiramente ao acaso, sendo cada tratamento foi constituído por cinco duplicatas e duas réplicas para cada, todas as réplicas foram consideradas como repetições sendo um total de 10 repetições.

Para avaliar o efeito da temperatura final de carbonização nas características do carvão realizou-se análise de variância e regressão.

O intervalo de confiança foi calculado a partir do seguinte estimador, para cada tratamento:

$$IC = \bar{X} \pm S_{\bar{x}} \cdot t$$

Onde:

IC = intervalo de confiança

\bar{X} = média da variável de interesse

$S_{\bar{x}}$ = erro padrão da média

t = valor de t de Student, tabelado ao nível de 5% de significância.

As amostras de carvão vegetal, oriundas da carbonização, foram maceradas e homogeneizadas usando um graal de porcelana e pistilo, e peneiradas em um agitador elétrico de peneiras granulométricas (Figura 2) dando origem a uma única amostra composta, para cada temperatura final em que se carbonizou a madeira.

As amostras destinadas à análise de materiais voláteis foram aquelas que passaram pela peneira de 20 mesh e ficaram retidas na peneira de 42 mesh, sendo posteriormente secas em estufa de circulação forçada de ar a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (Figura 3). O material que passou pela peneira de 42 mesh foi utilizado para análise de cinzas.



Figura 2 - Agitador elétrico de peneiras granulométricas.



Figura 3 – Interior da estufa de circulação forçada de ar.

3.2.1 Teor de umidade

Para determinação do teor de umidade, foi utilizado um grama da amostra do carvão vegetal por Becker. Após a pesagem a amostra foi conduzida à estufa para secagem por 24 horas a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e posteriormente pesada novamente. O resultado final foi obtido a partir da média de cinco réplicas.

O teor de umidade foi calculado com base na equação:

$$U = [(P_i - P_f)/P_f]*100$$

Onde:

U = Teor de umidade em base seca, em %;

P_i = Peso da amostra de carvão úmido, em gramas;

P_f = Peso da amostra de carvão seco, em gramas;

3.2.2 Teor de materiais voláteis

Para determinação do teor de material volátil foram utilizados cadinhos de porcelana com tampa. Foi colocado um grama de amostra de carvão vegetal em cada cadinho, que foram conduzidos à mufla, regulada á temperatura de $950^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, permanecendo por 3 minutos na parte interna da porta aberta e 11 minutos no interior da mufla com a porta fechada. Posteriormente, os cadinhos foram retirados e mantidos em dessecador para resfriamento por um período de 24 horas, em seguida cada amostra foi novamente pesada em balança analítica. O resultado final foi obtido, a partir da média de cinco réplicas.

O teor de materiais voláteis foi calculado com base na equação:

$$MV = [(P1 - P2)/P1] * 100$$

Onde:

MV = Teor de materiais voláteis do carvão vegetal, em %;

P1 = Peso inicial do cadinho + amostra, em gramas;

P2 = Peso final do cadinho + amostra, em gramas.

3.2.3 Teor de cinzas

Para a obtenção do teor de cinzas, foi colocado um grama da amostra de carvão vegetal em cada cadinho de porcelana sem tampa. Em seguida estes foram conduzidos ao interior da mufla elétrica regulada a $600^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ e mantidos com a porta fechada, por um período de 6 horas, para completa calcinação.

As amostras foram retiradas e mantidas em um dessecador por um período de 24 horas para resfriarem, em seguida foram pesadas em balança analítica. O resultado final foi conseguido a partir da média de cinco réplicas.

O teor de cinzas foi calculado com base na equação:

$$CZ = [(Pr - P)/P] * 100$$

Onde:

CZ = Teor de cinzas no carvão, em %;

Pr = Massa do resíduo, em gramas;

P = Massa da amostra seca, em gramas.

3.2.4 Teor de carbono fixo e rendimento em carbono

Para a determinação do teor de carbono fixo utilizou-se a equação:

$$\mathbf{RG = 100 - (MV + CZ)}$$

Onde:

CF = Teor de Carbono Fixo, em %;

CZ = Teor de Cinzas, em %;

MV = Teor de Materiais Voláteis, em %.

Para determinação do rendimento em carbono utilizou-se a fórmula:

$$\mathbf{RC = CF/RG \times 100}$$

Onde:

CF = Carbono Fixo

RG = Rendimento Gravimétrico

3.3 RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO

Para determinação do rendimento gravimétrico utilizou-se a fórmula:

$$\mathbf{RG = [(PMS - PC)/PMS]*100}$$

Onde:

RG = Rendimento Gravimétrico, em %;

PMS = Peso de Madeira Seca a ser carbonizada, em Kg;

PC = Peso do Carvão, em Kg.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se diferenças significativas entre as variáveis avaliadas. O resumo da análise de variância é apresentado na tabela 1. .

Variável	QM
	334,6799
U	**
MV	1673,40 **
CZ	0,05874 **
CF	326,9 **

Tabela 1: ** Quadrado médio (QM) significativo ao nível de 1% de significância.
Fonte: os autores.

4. 1 UMIDADE

A análise da porcentagem de umidade do carvão foi afetada pela temperatura final de carbonização.

A Figura 1 apresenta os valores, em porcentagem da umidade em função da temperatura final de carbonização do carvão. Observaram-se diferenças significativas entre a temperatura final de 350 °C e as demais, o que demonstra que a perda de voláteis foi baixa, e também que o diâmetro dos poros exerceu alta influência sobre as demais temperaturas, explicando assim o seu alto teor de umidade. Observa-se ainda que não houveram diferenças estatísticas entre as temperaturas de: 450°C, 550°C, 650°C, 750°C, 850°C e 950°C. A medida que a temperatura aumenta ocorre alta velocidade de expansão de gases, o que acarreta em instabilidade de perda do teor de umidade.

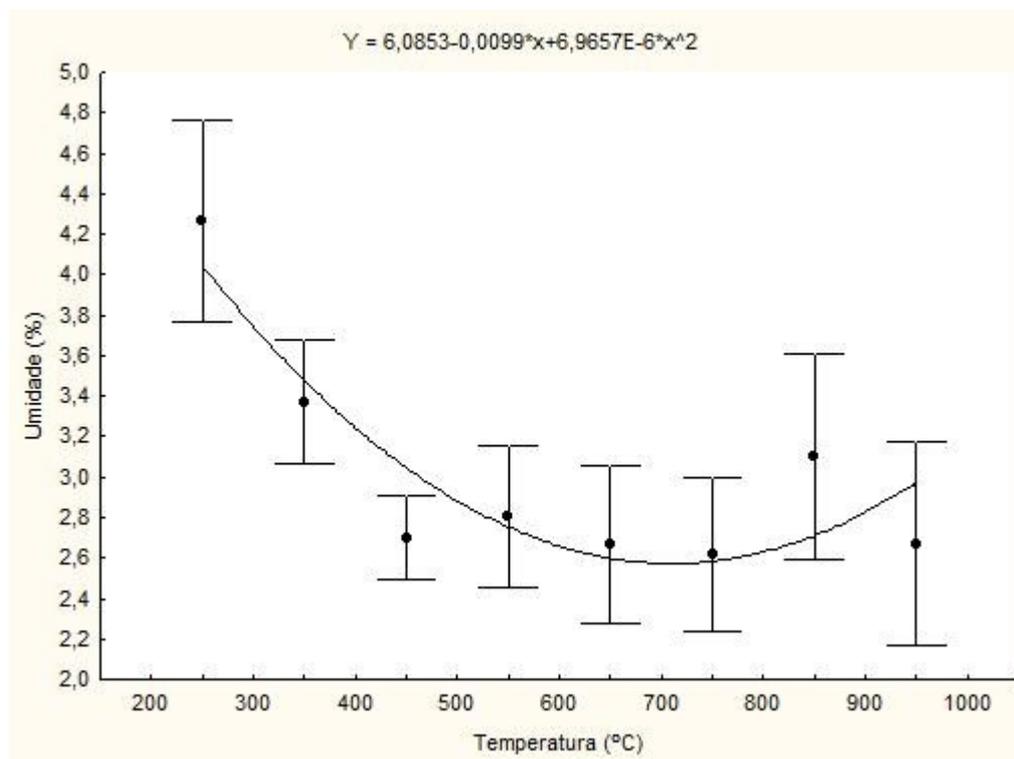


Figura 1 – Porcentagem da umidade em função da temperatura final de carbonização. As barras de erro em y representam o intervalo de confiança a 5% de significância.
Fonte: Os autores

4.2 MATERIAIS VOLÁTEIS

O teor de materiais voláteis variou com o aumento da temperatura final de carbonização, indicando que o aumento da temperatura e, conseqüentemente, a expulsão rápida das frações gasosas diminuíam as possibilidades de algumas dessas substâncias voláteis permanecerem no resíduo que irá constituir o carvão. De acordo com Cortez; Lora; Gomes (2008), um outro fator importante é a granulometria que é influenciada diretamente nos tipos de reação, por exemplo, em pedaços muito grandes de madeira os compostos voláteis permanecem no interior do sólido por um período no qual são favorecidas as reações secundárias, enquanto nas partículas menores os compostos voláteis são eliminados rapidamente do interior do sólido, favorecendo a ocorrência das reações primárias.

De acordo com a Figura 2, houve uma redução significativa na porcentagem do teor de materiais voláteis contidos no carvão até a temperatura final de 550 °C. Como era de se esperar, com a elevação da temperatura houve a expansão dos

gases, em consequência da maior degradação dos materiais, reduzindo assim a quantidade de voláteis presentes nos carvões.

Acima de 450°C pode-se afirmar que a formação de gases condensáveis é desprezível, pois nesta temperatura a lignina atinge seu pico máximo de decomposição, ocorrendo de forma mais lenta reações que envolvem a liberação de energia e perda de massa.

Cetec (1982) afirma que, embora a lignina comece a se degradar em temperaturas mais baixas, a partir de 150°C, a perda do peso final experimentada por ela, é bem menor em relação a perda sofrida pela celulose e hemicelulose.

Goldstein (1977) mostrou que o comportamento térmico da madeira, reflete a soma das respostas térmicas de seus três principais componentes: hemicelulose, celulose e lignina. Destes, a hemicelulose e a celulose (cerca de 70% da composição da madeira), são os componentes menos estáveis e se degradam entre 225°C e 375°C. Portanto, a perda acentuada de massa é devido à degradação destes dois componentes. A lignina é mais estável e se degrada de modo mais lento, sendo o principal responsável pela formação do carvão vegetal.

Observa-se na Figura 2 que entre as temperaturas finais de 550°C a 950°C a perda de voláteis se manteve entre 14 e 10%.

De acordo com Santos (2008) o teor de materiais voláteis no carvão situa-se entre 20 e 25% e que inferiores a 25% são desejadas para o uso siderúrgico.

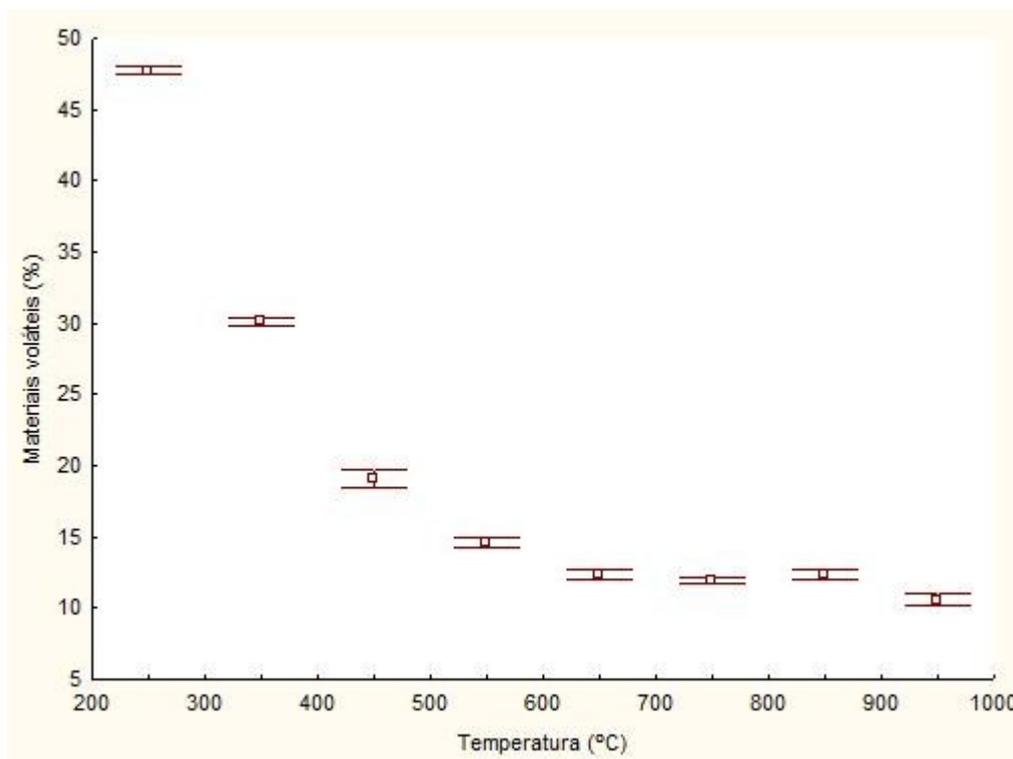


Figura 2 – Teor de materiais voláteis em função da temperatura final de carbonização. Barras de erro em y representam o intervalo e confiança a 5% de significância.
Fonte: Os autores

4.3 CINZAS

O teor de cinzas aumentou gradativamente com o aumento das temperaturas finais. As carbonizações realizadas com maiores temperaturas finais apresentaram maiores teores de cinzas, devido ao efeito do aumento da concentração de minerais pela perda de massa.

De acordo com a Figura 3 observa-se uma variação no teor de cinzas da temperatura final de 750°C para as demais.

Como o teor de cinzas é dependente da quantidade de matéria mineral presente na madeira, esta que não se volatiliza às temperaturas normais de carbonização, ficando toda na cinza do carvão, a diminuição do resíduo carbonoso, que ocorreu com o aumento da temperatura final resultou em um aumento percentualmente das cinzas no carvão (figura 3).

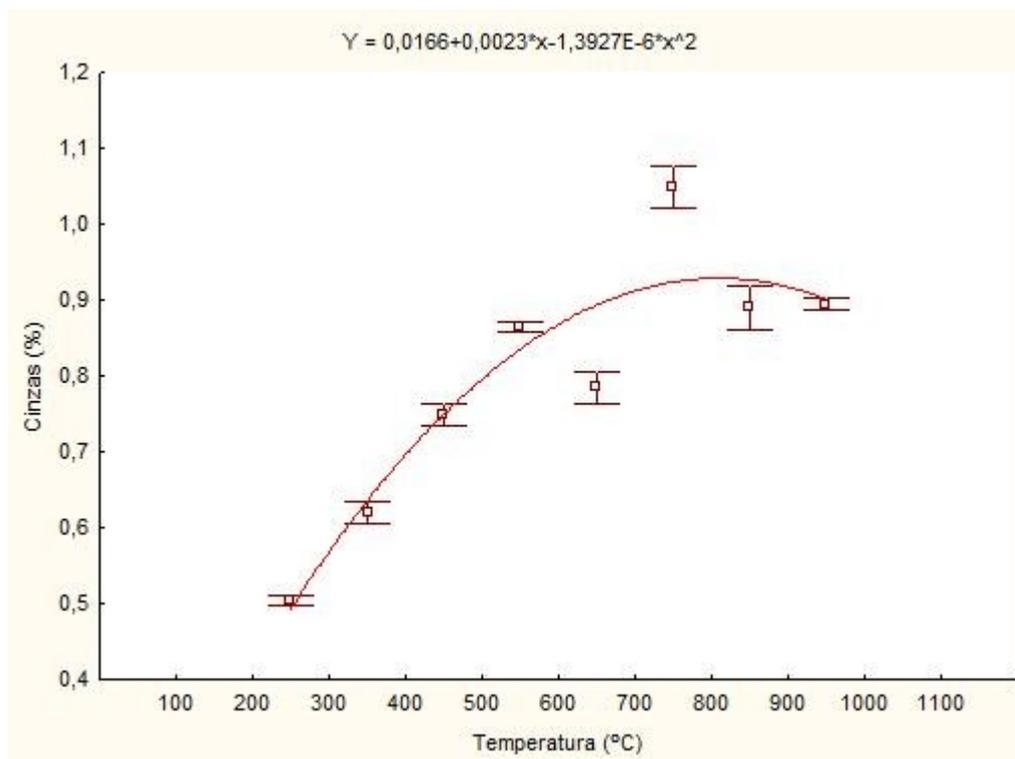


Figura 3 – Teor de cinzas em função da temperatura final de carbonização. Barras de erro em Y representam o intervalo de confiança a 5% de significância.
Fonte: Os autores

4.4 RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO

Os resultados dos rendimentos gravimétricos das carbonizações estão apresentados na Figura 4.

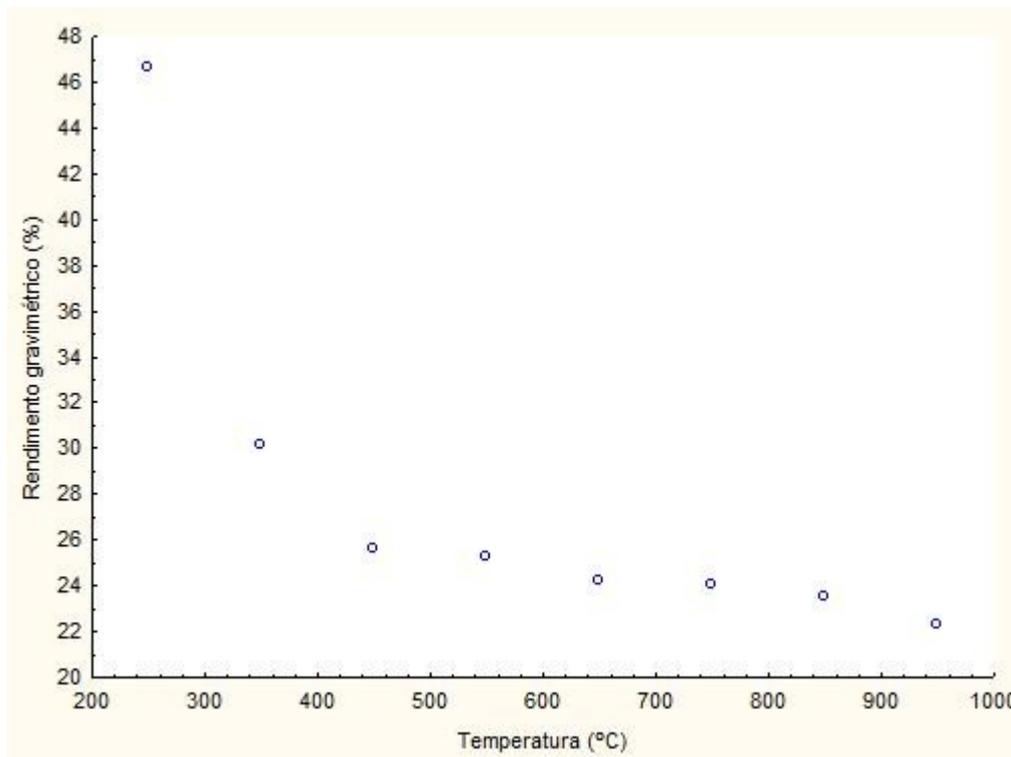


Figura 4 – Rendimento gravimétrico em função da temperatura final de carbonização.
Fonte: Os autores

O rendimento gravimétrico reduziu com o aumento da temperatura final de carbonização. A temperatura final de 250°C apresentou rendimento gravimétrico de aproximadamente 47%, em consequência da pouca perda de gases formados no início da carbonização. A partir da temperatura de 350°C, observa-se que houve perda de rendimento de aproximadamente 16% comparando-se com a temperatura de 250°C, isso em consequência de maiores perdas dos gases formados. Já as demais temperaturas finais, 450°C, 550°C, 650°C, 750°C, 850°C e 950°C tiveram rendimentos oscilando entre 25 e 23%, indicando uma estabilidade da eliminação dos gases formados no processo de carbonização.

Diversos autores relataram haver uma relação negativa significativa entre o rendimento gravimétrico em carvão e a temperatura máxima de carbonização (BRITO, 1990; ANDRADE, 1993; NOGUEIRA et al., 2000). Dentro de certos limites técnicos e para uma mesma espécie vegetal, quanto maior a temperatura final de carbonização menor o rendimento gravimétrico em carvão, resultado da maior emissão de gases nas maiores temperaturas de pirólise, em razão do maior tempo de exposição aos efeitos degradantes da energia térmica. Andrade; Carvalho (1998) ressaltaram que, com o aumento da temperatura final de carbonização, se intensifica

o processo de extração dos compostos volatilizáveis presentes na madeira quando esta é submetida à ação da energia térmica.

O desprendimento de condensáveis aumenta com o aumento da temperatura, isto porque, além da perda de água ligada higroscopicamente e dos produtos condensáveis, outros compostos não condensáveis como o monóxido de carbono (CO) o dióxido de carbono (CO₂) e (H₂) são também desprendidos em temperaturas mais altas, ocasionando uma diminuição no rendimento do carvão e uma maior concentração de carbono.

4.5 CARBONO FIXO

A Figura 5 apresenta os valores médios do teor de carbono fixo em função da temperatura final de carbonização.

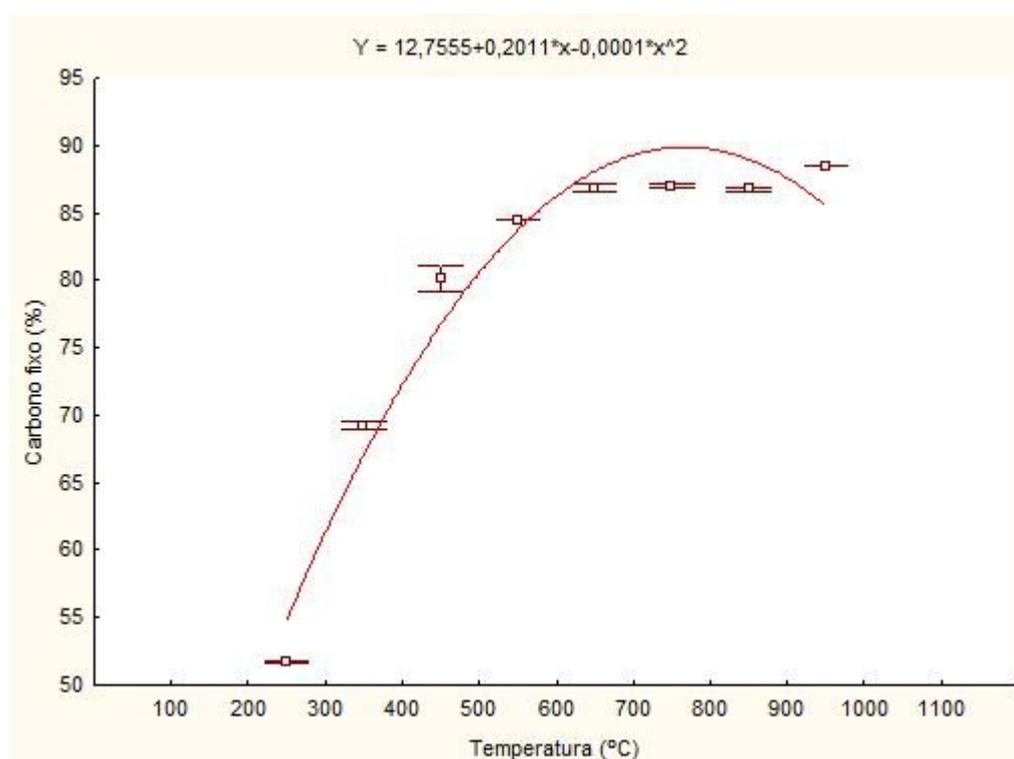


Figura 5 – Teor de carbono fixo em função da temperatura final de carbonização. Barras de erro em Y representam o intervalo de confiança a 5% de significância.
Fonte: Os autores

Observaram-se diferenças significativas na análise de variância, resultando no aumento dos valores médios do teor de carbono fixo com o aumento da temperatura final de carbonização. Para a temperatura final de 250°C, observou-se um valor médio de 52%, para a temperatura de 350°C, um valor médio de 67%, e para a temperatura de 450°C, um valor médio de 78% de carbono fixo. Durante o processo de carbonização, quanto maior a exposição da madeira à temperatura, maior será a eliminação das matérias voláteis, refletindo diretamente no aumento percentual do teor de carbono fixo do carvão. Observou-se ainda que o aumento do teor de carbono fixo ocorrido entre as temperaturas de 250°C e 350°C (26%) foi muito inferior ao encontrado entre as temperaturas finais de 450°C e 550°C (5%). Da temperatura de 650°C à temperatura de 950°C nota-se que não houveram diferenças significativas em seus teores de carbono fixo.

A redução do rendimento gravimétrico, em temperaturas mais elevadas, é contrabalanceada com o aumento do teor de carbono fixo. De acordo com Oliveira; Gomes; Almeida (1982) o rendimento em carvão e carbono fixo, ocorrem em sentidos opostos, isto é, para se obter carvão com alto teor de carbono fixo há de se diminuir o rendimento gravimétrico do processo.

Observa-se na Figura 6, que com o aumento da temperatura final de carbonização, o teor de carbono fixo aumenta e o rendimento gravimétrico conseqüentemente diminui, isso porque, além da perda de água ligada higroscopicamente e dos produtos condensáveis, outros compostos não condensáveis como monóxido de carbono (CO) e o dióxido de carbono (CO₂) são também despreendidos em temperaturas mais altas, ocasionando uma diminuição no rendimento do carvão e uma maior concentração de carbono. Melhor rendimento gravimétrico e teor de carbono fixo são observados na temperatura de 450°C, onde se tem 24% de rendimento e 78% de carbono fixo, esse comportamento é explicado em função de se ter, a cada temperatura, dois fatores (rendimento em carvão e teor de carbono fixo) variando em sentidos opostos, mas em proporção tal que o rendimento em carbono fixo permaneça constante, devido à permanente taxa de aquecimento.

Pode se observar, um aumento considerável do teor de carbono fixo até a temperatura de 650°C não havendo diferenças entre as demais temperaturas, devido principalmente à expulsão dos componentes voláteis do carvão, ocorrendo então uma maior concentração de carbono.

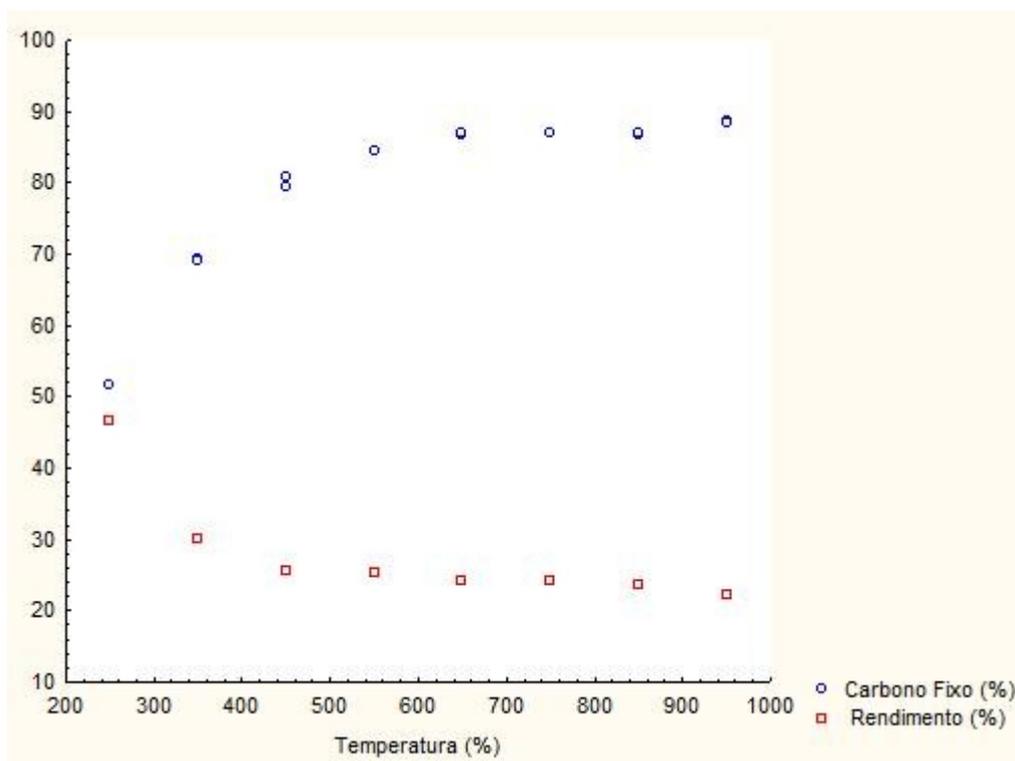


Figura 6 – Relação de carbono fixo x rendimento gravimétrico em função da temperatura final de carbonização.
Fonte: Os autores

5 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos no presente estudo pode-se afirmar que:

- O teor de materiais voláteis diminui com o aumento da temperatura final de carbonização;
- O teor de cinzas se eleva com o aumento da temperatura final de carbonização;
- O carbono fixo se eleva com o aumento da temperatura final de carbonização.
- O rendimento gravimétrico da carbonização diminui com o aumento da temperatura final de carbonização com tendência de estabilização nas temperaturas mais elevadas; e
- A melhor temperatura final de carbonização final para produção de carvão vegetal foi a de 450°C considerando-se o uso deste para fins siderúrgicos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL – ASTM. Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. **D 1762 – 84** (Reapproved 2007).

ANDRADE, A. M.; Influência da Casca de *Eucalyptus grandis* W. HILL ex MAIDEN. **Rendimento e Qualidade de Carvão Vegetal**. Viçosa – MG. UFV. 86p. 1989. (Dissertação de Mestrado).

ANDRADE, A.M. & CARVALHO, L.M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 5, n. 1, p.24- 42, 1998.

ANDRADE, A.M. **Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto**. 1993. 105 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

ANTAL, M. J.; ALLEN. S. G.; DAÍ, X.; SHIMIZU, B.; TAM, M. S.; GRONLI, M. Attainment of the theoretical yield of carbon from biomass. **Indian Engineering Chemistry Research**. New Delhi. v. 39. p. 4024-4031. 2000.

BARCELLOS, D. C. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. 2007. 140p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. C.; MÜLLER, M. D.; COUTO, L. O Estado- da- Arte da Qualidade da Madeira de Eucalipto para Produção de Energia: Um Enfoque nos Tratamentos Silviculturais. **Biomassa e Energia**. v. 2, n.2, p. 142-158, 2005.

BRITO, J.O. Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira. Piracicaba, SP, **Documentos Florestais**, v. 9, p. 1-19, maio 1990.

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.

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

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GOMEZ, E. O. Pirólise e Torrefação de Biomassa. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: UNICAMP 2008. p.333-352.

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

CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z.B.; BARBOSA, A.P.R. **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.

GOLDSTEIN, IS.; **Wood Technology Chemical aspect**. American Chemical Society, Washington, 322 p. 1977.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1997).

JUVILAR, C. J. ; **O carvoejamento da madeira e seus reflexos na qualidade do carvão: qualidade da madeira**. 1979. Disponível em <<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr064.pdf>> Acesso em: 11 de novembro de 2010

MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

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

MENDES, M. G.; GOMES, P.; OLIVEIRA, J. B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC. 1992. p. 74-89 (Série Técnica, 8).

MOREIRA, C. S. **Contribuição ao estudo da eficiência de pequenos fornos na produção de carvão vegetal destinado a alto forno**. 1964. 98p. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo/Esalq. Piracicaba – SP.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S.; TROSSERO, M.A.; FRISK, T. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília, DF, 2000. 144 p.

OLIVEIRA, E. **Correlação entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. Viçosa – MG. UFV. 47 p. 1988. (Dissertação de Mestrado).

OLIVEIRA, J. B.; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M. G.; GOMES, P. A. Produção de carvão vegetal: aspectos técnicos. In: PENEDO, W. R. (Ed.) **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 59-73.

OLIVEIRA, J. B. 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. 1982a.

PINHEIRO, P.C.C. **A produção de carvão vegetal: teoria e prática**. / Elmo Viana, Maria Emília Antunes de Rezende, Paulo César da Costa Pinheiro, Ronaldo Santos Sampaio. 1ª. ed. Belo Horizonte: Edição do autor, 2006.

SANTOS, M.A.S. Uso do carvão vegetal em alto forno. In: FÓRUM NACIONAL DE CARVÃO VEGETAL, 1, 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 2008.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* HILL ex. MAIDEN, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2001. 160 p. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SYRED, C.; GRIFFITHS, A. J.; SYRED, N.; BEEDIE, D.; JAMES, D. A clean efficient system for producing charcoal, heat and power (CHAP). **Fuel**, v. 85. p. 1566-1578, 2006.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D.; Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão de jatobá (*Himenea coubaril* L.). **Scientia Agraria**, Piracicaba, V. 2, n. 27. 2004.

SUMÁRIO

NOVEMBRO 2010.....	10
NOVEMBRO 2010.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 CARBONIZAÇÃO.....	12
2.2 MATERIAIS VOLÁTEIS.....	13
2.3 TEOR DE CINZAS.....	14
Segundo Juvilar (1979), se a madeira tiver um teor de 50% de umidade, terá o carvão resultante prejudicado, devido ao desprendimento violento do vapor de água formado ao ser aquecida a madeira, que fragiliza e/ou fragmenta o carvão resultante.	15
2.5 CARBONO FIXO.....	16
2.6 RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO.....	16
2.7 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA.....	17
3.1 Local do experimento.....	19
3.2 ANÁLISE Química IMEDIATA DO CARVÃO VEGETAL.....	20
3.2.2 Teor de materiais voláteis.....	22
3.2.3 Teor de cinzas.....	23
3.2.4 Teor de carbono fixo e rendimento em carbono.....	23
RC = CF/RG x 100	24
Onde:.....	24
CF = Carbono Fixo.....	24
RG = Rendimento Gravimétrico.....	24
3.3 Rendimento Gravimétrico.....	24
Observou-se diferenças significativas entre as variáveis avaliadas. O resumo da análise de variância é apresentado na tabela 1.	25
Tabela 1: ** Quadrado médio (QM) significativo ao nível de 1% de significância.	25
Fonte: os autores.....	25
4. 1 Umidade.....	25
.....	26
4.2 Materiais Voláteis.....	26
4.3 Cinzas.....	28
4.4 Rendimento Gravimétrico.....	29
4.5 Carbono Fixo.....	31
5 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS.....	35