



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA  
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING  
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil  
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

## CARACTERÍSTICAS DA CARBONIZAÇÃO DA ACÁCIA *MEARSII* DE *WILD* EM LABORATÓRIO

Paulo Leandro Froehlich<sup>1</sup>, leandrof31@hotmail.com  
Fernanda Lerner Pinto<sup>1</sup>, nandalerner@hotmail.com  
Fernando Morisso<sup>1</sup>, morisso@feevale.br  
Izabel C. Riegel<sup>2</sup>, iriegel@gmail.com  
Angela B. D. Moura<sup>1</sup>, angelab@feevale.br

1 Feevale, Rodovia RS 239, 2755, Vila Nova, Novo Hamburgo. RS  
2 UFPR, R. Francisco H. dos Santos, s/n, J. das Américas - Curitiba - PR

**Resumo:** Biocombustíveis são fontes de energia renováveis, derivados de matérias agrícolas como plantas oleaginosas, florestas energéticas, cana-de-açúcar e outras matérias orgânicas. Existem vários tipos de biocombustíveis, mas os principais são a biomassa, o bioetanol, o biodiesel e o biogás. A biomassa é uma fonte de energia limpa e renovável disponível em grande abundância e derivada de materiais orgânicos. Muitos estudos tem sido realizados para se obter energia da biomassa, principalmente porque existem estimativas de que os combustíveis fósseis irão terminar nas próximas décadas. Este artigo propõem-se a demonstrar características da carbonização da Acácia Mearsii de Wild e a produção do licor pirlenhoso, em laboratório. São apresentados os rendimentos obtidos para os dois matéria prima. Os experimentos em laboratório foram feitos em triplicata para diferentes taxas de aquecimento. Estes rendimentos são comparados aos rendimentos obtidos anteriormente via TGA.

**Palavras-chave:** Carbonização; Energia de Biomassa; Licor Pirolenhoso

### 1. INTRODUÇÃO

O carvão vegetal é um importante subproduto da madeira e existem diversas formas de se obtê-lo, a mais importante é a pirólise, também conhecida como carbonização. A origem da madeira determina a qualidade e as propriedades que mais se desejam no carvão de acordo com seu destino, seja ele industrial, doméstico ou comercial (Antal; Morten, 2003).

O processo da pirólise surgiu conceitualmente no século 19, por volta de 1897, quando Max Planck demonstrou que há uma conexão fechada entre a Segunda lei da Termodinâmica e o conceito de Irreversibilidade. No início do século XX, mais precisamente em 1909, um eminente cientista, C. Caratheodory, revisando os estudos de Max Planck, reestruturou a termodinâmica estabelecendo um importante conceito, a Parede Adiabática, que trata da transferência de calor através de substâncias isolantes. A compreensão desta teoria permitiu a construção de sistemas térmicos mais eficientes como os reatores, as caldeiras, incluindo-se a pirólise neste processo, pois seu elemento principal é um reator (Natali, 2001).

No Rio Grande do Sul, a maior produção de carvão vegetal é proveniente da Acácia-Negra e sua produção é destinada principalmente ao consumo residencial e para churrasqueiras. Nesta região do Brasil, a Acácia-Negra é plantada para fins comerciais cobrindo aproximadamente cerca de 140.000 ha (Tonietto; Stein, 1997). A maioria dessas plantações encontra-se em pequenas propriedades rurais, com participação de mais de 10.000 produtores [HIGA et al., 1998] e sua grande maioria situados na Região do Vale do Rio dos Sinos. A madeira é utilizada na fabricação de celulose, aglomerado e obtenção de energia pela produção de carvão vegetal (Caldeira et al., 2002, 2003, 2004). Da casca é extraído o tanino, que é empregado na indústria farmacêutica e coureira, entre outras (Byrne; Nagle, 1997). Entre as vantagens do cultivo da Acácia-Negra está o fato de que a planta fixa nitrogênio no solo, sendo útil na recuperação de áreas degradadas.

A Acácia, da espécie *Mearnsii De Wild.*, popularmente conhecida como Acácia-Negra, ocupa a terceira colocação entre as espécies florestais mais plantadas no Brasil, perdendo apenas para as espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Originária da Austrália, a Acácia-Negra é plantada comercialmente no Estado do Rio Grande do Sul. Foi introduzida no Brasil em 1918 e os primeiros plantios comerciais foram realizados em 1928 (Schneider; Tonini, 2003), ocupando, desde meados de 1930, destaque nos plantios florestais e na economia do Estado. O principal objetivo da introdução da espécie no Brasil foi para extração de tanino presente na casca. Atualmente, além da sua utilização no curtimento de couros, é utilizado na produção de substâncias destinadas à purificação de água bruta.

Os vapores contidos na fumaça proveniente da produção de carvão vegetal podem ser liquefeitos, obtendo-se um líquido chamado Licor Pirolenhoso. Este produto também é conhecido como líquido pirolenhoso, extrato pirolenhoso, ácido pirolenhoso, vinagre de madeira, fumaça líquida e bioóleo. Em uma revisão realizada por Goss (1952) foram identificados 213 compostos diferentes presentes no extrato pirolenhoso. Aponta-se também a predominância do ácido acético. Yasuhara & Sugiura (1987) identificaram 118 compostos fenólicos voláteis em extrato pirolenhoso proveniente da madeira de *Larix kaempferi* e *Sasa kurilensis*.

O Licor Pirolenhoso pode ser utilizado como fertilizante, como repelente ou inseticida natural e, quando destilado e separadas as devidas partes, como combustível. Desta forma, com a produção do Licor Pirolenhoso, os produtores se beneficiariam com a minimização de grande parte das emissões geradas pela atividade carvoeira. A coleta deste produto pode ser facilmente realizada, acrescentando-se coletores de Licor Pirolenhoso nos fornos destinados a produção de carvão vegetal. Com isso, é possível reduzir os danos ao meio ambiente, e ainda gerar um outro produto, agregando-se valor à atividade, uma vez que o licor pode ser empregado para vários fins e o seu custo de obtenção é relativamente baixo para as vantagens que oferece.

A fase líquida mais conhecida e que poderá ser utilizada na agricultura é o líquido pirolenhoso, denominada de extrato pirolenhoso, ácido pirolenhoso, vinagre de madeira, Licor Pirolenhoso, fumaça líquida e bioóleo. A carbonização da madeira é a principal fonte. Nos meios científicos, é conhecido por ácido pirolenhoso. O termo mais popular é extrato pirolenhoso. Atualmente, os principais países produtores de extrato pirolenhoso são o Japão, China, Indonésia, Malásia, Brasil e Chile, incluindo outros no Sudeste Asiático e na América do Sul. Na China existem relatos de sua utilização há milênios e na Índia foi muito utilizado para curar doenças. O extrato pirolenhoso vem atraindo a atenção de pesquisadores e técnicos de várias áreas, principalmente agrônômica, como alternativa de um produto mais natural (Campos, 2007).

Neste artigo é descrito como foi realizada a pirólise da Acácia-Negra (*Mearnsii* de Wild) em laboratório bem como os equipamentos e métodos utilizados. Através dos resultados obtidos foi possível descrever a cinética da degradação em função das taxas de aquecimento e do tempo empregado e também determinar os rendimentos percentuais do Licor Pirolenhoso e do carvão ( fase sólida).

As informações geradas por este estudo e pelos subseqüentes serão importantes para a comparação com as informações coletadas junto aos produtores da Região do Vale do Rio dos Sinos, para os quais estão previstas ações de transferência dos conhecimentos obtidos dos estudos que estão sendo realizados, uma vez que há uma pressão crescente da comunidade no que tange aos aspectos ambientais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados galhos de *Acácia Mearnsii* De Wild. coletados em uma propriedade do Município de Ivoti, localizado na região do Vale dos Sinos. A escolha desse município se deveu à constatação de que suas características geográficas e climáticas são muito similares as características médias da região do Vale dos Sinos. O Vale dos Sinos é uma região próxima da capital Porto Alegre e situa-se a nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre os paralelos 29 e 30 graus sul, com altitudes que variam entre as cotas 600 e 60. Os solos são principalmente argilo-arenosos. As precipitações são bem distribuídas ao longo do ano, com média anual de 2.162 mm. A temperatura média mensal encontra-se na faixa dos 19 °C. A umidade relativa do ar possui pequena variação ao longo do ano, situando-se em média entre 72% e 86% (Magna,1996; Atlas, 2007).

Foram utilizadas nos experimentos, 10 gramas de madeira seca de acácia, com 5 anos de idade, moída em moinho de facas para o preparo de cada amostra. O experimento foi feito em triplicata para cada uma das taxas de aquecimento. Estas amostras foram inseridas em um reator que posteriormente foi conduzido a um forno, e aquecido a taxas de aquecimento de 2 °C, 10 °C e 20 °C.min<sup>-1</sup>, monitoradas por um controlador de temperatura da marca Novus, modelo N1100, até atingir 400 °C, permanecendo durante 15 minutos nesta temperatura (Stolz,2010).

Os ensaios de termogravimetria (TGA) foram realizados com equipamento marca Shimadzu, modelo TGA-50, sob fluxo contínuo de ar sintético, à taxa de 75 mL min<sup>-1</sup>. Os ensaios dinâmicos iniciaram a partir da temperatura ambiente até 900 °C, para as três taxas de aquecimento mencionadas anteriormente.

O tipo de madeira e os parâmetros do processo são fundamentais para o tipo e quantidade de produtos resultantes das frações sólidas, líquidas e gasosas. Os principais parâmetros que têm influência direta nos resultados do processo pirolítico, citados na literatura, são: temperatura final, taxa de aquecimento, tempo de residência, tipo de atmosfera e pressão. Os experimentos foram realizados em dias diferentes, à pressão atmosférica normal a 90m de altitude em relação ao nível do mar.

Durante o processo de degradação térmica das amostras utilizou-se um sistema para o resfriamento dos gases, que consiste de um condensador (C da fig. 2) com circulação de água resfriada através de um banho termostático, com saída

para os gases não condensáveis em um borbulhador contendo água destilada e frascos de coleta para os vapores condensados. Foi empregado ar sintético para o arraste dos gases através de uma mangueira inserida por trás do forno e conectada ao reator. Fig. (1) e Fig. (2).

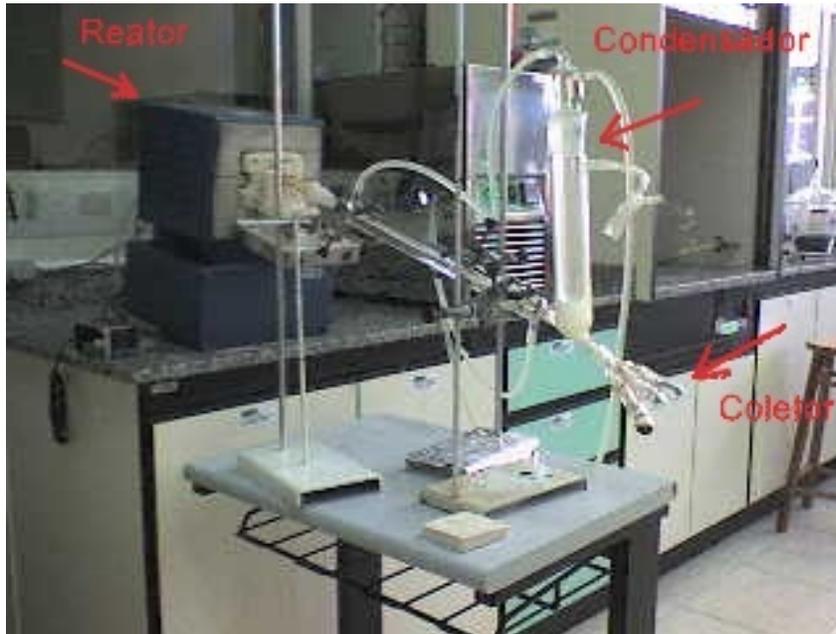


Figura 1: Sistema de queima, condensação e coleta de material

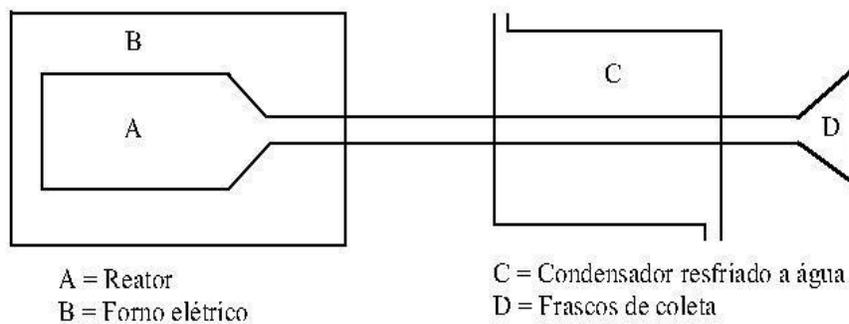


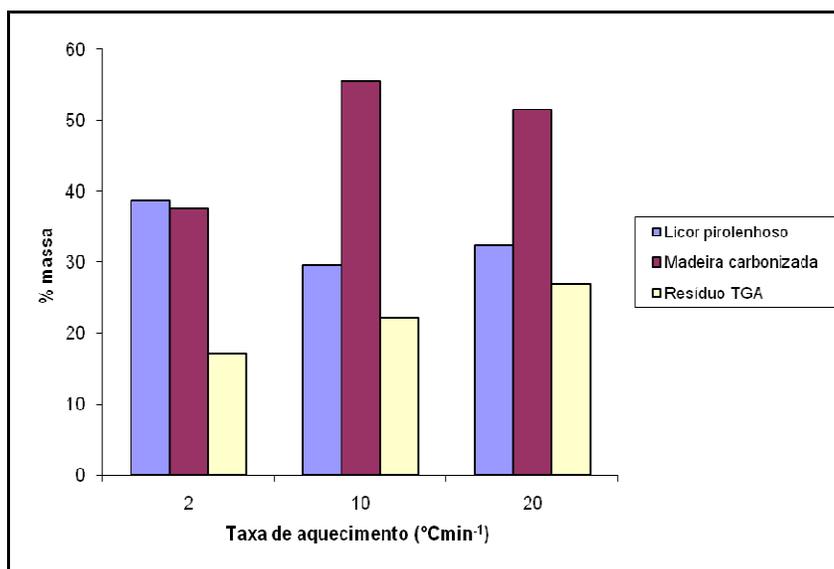
Figura 2: Esquema ilustrativo do equipamento utilizado para os experimentos

Durante todo processo os vapores condensados foram coletados e posteriormente foi medido o volume total e os volume de cada fase. Além disso, ao final do procedimento, foi efetuada a pesagem do carvão restante no reator e da fração líquida obtida.

### 3. RESULTADOS

Após a análise dos dados obtidos com os experimentos foi possível obter o rendimento, em percentual de massa, de Licor Pirolenhoso, do carvão obtido em relação à massa inicial de madeira e compará-los ao resíduo da queima da madeira em balança termogravimétrica (TGA) do trabalho de Riegel et. al. (2008), para as taxas empregadas no processo. Isto pode ser visto no Fig. (3).

Fica evidente a influência das taxas de elevação da temperatura na decomposição química da madeira de Acácia-Negra, pois as taxas maiores correspondem as maiores quantidades de carvão (madeira carbonizada). Entretanto, isto ocorre somente até algumas faixas de temperatura e taxas de aquecimento, pois segundo Luengo (2006) se as temperaturas finais de carbonização chegarem a 1000 °C e as taxas de aquecimento forem ultra-rápidas, o rendimento da fração sólida diminui intensamente, privilegiando a obtenção de gases e produtos químicos, porém, o poder calorífico superior (PCS) da fração sólida aumenta devido a uma maior concentração de carbono fixo. O que não foi o caso apresentado neste trabalho.



**Figura 3: Rendimentos percentuais de madeira carbonizada e Licor Pirolenhoso.**

Observa-se ainda na Fig. (3) que na taxa de 2 °C.min<sup>-1</sup>, que é a menor entre as taxas testadas, os valores para o rendimento de carvão e licor são bem próximos, em torno de 38%. Para a taxa de 10 °C.min<sup>-1</sup> e 20 °C.min<sup>-1</sup> obteve-se maior quantidade de carvão em relação a de Licor Pirolenhoso. Os resultados mostraram que o maior rendimento de licor ocorreu na menor taxa de aquecimento, enquanto que um maior rendimento de carvão, correspondeu as taxas maiores. O mesmo foi observado no trabalho de Riegel et al, onde a análise foi feita somente via TGA.

Na Fig. (3) é mostrada a análise termogravimétrica para amostra de acácia a uma taxa de 2 °C.min<sup>-1</sup>. A análise via TGA, fornece as variações da massa de um material com o aumento da temperatura, sujeito a uma determinada taxa de aquecimento. Neste caso foi utilizada atmosfera de ar sintético. Neste gráfico pode-se identificar as etapas de degradação térmica que ocorrem devido a volatilização de componentes de amostra, decomposição, oxidação / reações de redução, ou outras.

Para a taxa de aquecimento 2 °C.min<sup>-1</sup> foram observadas três etapas de degradação térmica. Conforme Antal e Morten (2003), Órfão et al. (1999), Órfão e Figueiredo (2001) e Syred et al. (2006), até 150 °C ocorre a perda de água adsorvida. Entre 230-260 °C, observa-se o início da decomposição dos biopolímeros (principalmente hemicelulose), acompanhada da perda de gases como CO e CO<sub>2</sub> e líquidos leves como ácido acético e metanol. Na faixa entre 240-400 ocorre a quebra das cadeias poliméricas da celulose (depolymerização), acompanhada do início da decomposição da lignina, mas o processo dominante nesta fase é a decomposição da celulose. Estas fases podem ser nitidamente observadas na Fig. (4).

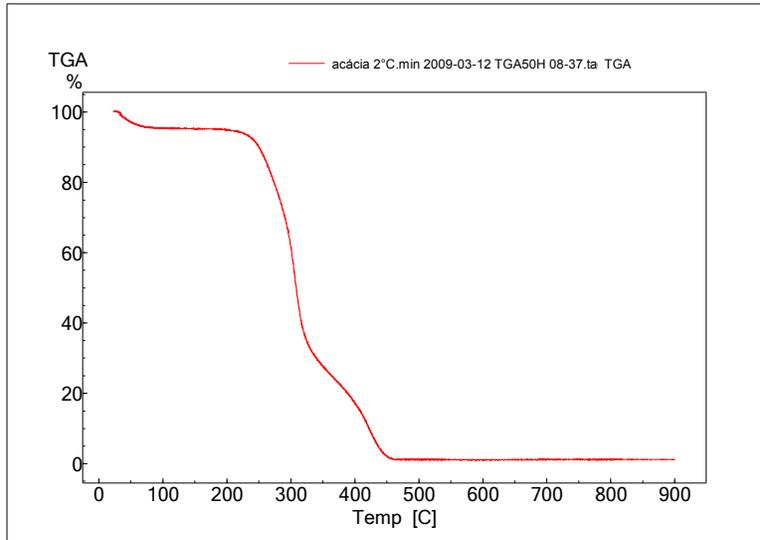


Figura 4: Análise Termogravimétrica à taxa de 2 °C.min<sup>-1</sup>.

Segundo Órfão et al. (1999), a decomposição da lignina inicia em temperaturas baixas, porém, ela continua ocorrendo até a temperatura de 900 °C. Em uma quarta etapa, nem sempre presente conforme os mesmos autores, e não identificada também na Fig. (04), ocorre o restante da degradação da lignina. Estes autores sugerem a existência de uma superposição de eventos como causa da não identificação desta quarta etapa.

O valor médio para o rendimento gravimétrico em carvão, na taxa de aquecimento de 2 °C min<sup>-1</sup> foi de 37,5 %, muito semelhante aos valores obtidos com a pirólise de Eucalipto em experimentos realizados por Botrel (2007) onde, o valor médio para o rendimento gravimétrico em carvão foi de 35,03%.

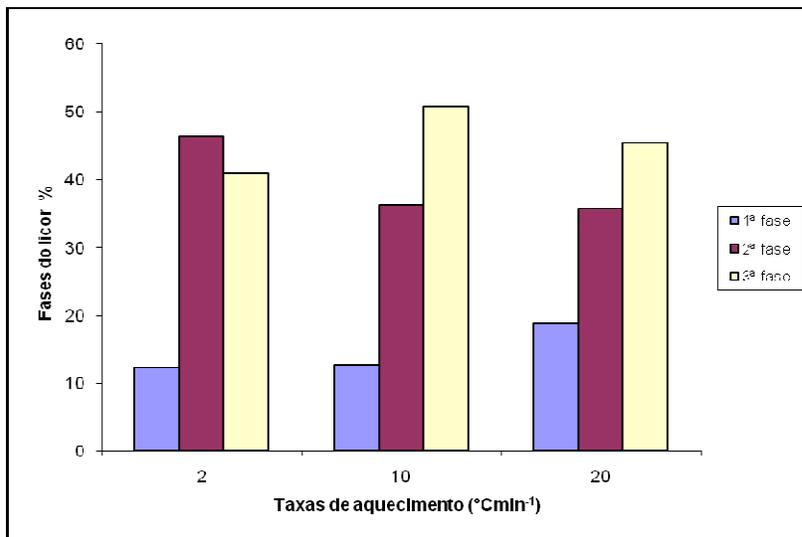


Figura 5: Rendimento de cada fase do licor pirolenhoso.

Ao final da coleta, a amostra líquida apresentava três fases distintas. Uma mais leve e oleosa na cor amarelo alaranjado claro, uma de massa específica intermediária de cor laranja que a anterior e outra mais pesada um pouco mais escura que as demais. As suas quantidades em relação ao volume total obtido, para cada taxa de aquecimento, estão mostradas na Fig. (5) em termos percentuais. Os resultados mostraram que a maior quantidade da fase mais

pesada (3ª) ocorreu para a taxa de 10 °C.min<sup>-1</sup>, e na taxa de 2 °C.min<sup>-1</sup> ocorreu o pico da fase intermediária(2ª). Por outro lado o pico da fase mais leve (1ª) ocorreu na taxa de 20 °C.min<sup>-1</sup>. Os rendimentos da fase mais leve oscilaram na casa dos 10%. Para a fase intermediária e para a mais pesada os valores ficaram na faixa dos 40% .

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram mostrados os rendimentos dos produtos resultantes pirólise da acácia negra em laboratório. O processo de pirólise à baixa temperatura da madeira gera, no mínimo, duas frações de grande interesse industrial: Licor Pirolenhoso (composto por principalmente fenóis, cresóis e ácido acético) e, carvão, que pode ser utilizado como combustível sólido ou como adsorvente industrial.

Para um aquecimento gradual como o realizado neste trabalho, as taxas mais altas de aquecimento favoreceram a formação de frações sólidas (Carvão vegetal). Enquanto que quando a taxa de aquecimento é alta, as reações químicas favorecem a formação de frações voláteis (gases e líquidos).

Pela Análise Termogravimétrica foi possível observar que a principal etapa de perda de massa para as amostras de Acácia-Negra inicia-se entre 220 e 290 °C e termina por volta dos 450 °C.

Nunca é demais ressaltar a importância cada vez maior que vem assumindo as fontes combustíveis oriundas de matérias-primas renováveis, como é o caso da produção de Carvão Vegetal no Rio Grande do Sul, particularmente na Região do Vale do Rio do Sinos. Sendo positivo o balanço de emissão de CO<sub>2</sub> para o processo como um todo, isto é, consome mais CO<sub>2</sub> do que produz.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Antal, M. J.; Morten, G. The art, science, and technology of charcoal production. *Ind. Eng. Chem. Res.*, Washington, v.42, n.8, p.1619-1640, 2003.
- Beenackers, A. A. C. M. and Bridgwater, A. V. "Gasification and Pyrolysis of Biomass in Europe", in *Pyrolysis and Gasification*. Londres: Elsevier Applied Sciences, 1989, vol. I, p. 129-155.
- Botrel, Maria Carolina Gaspar; Trugilho, Paulo Fernando; Rosado, Sebastião Carlos da Silva and Silva, José Reinaldo Moreira da. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. *Rev. Árvore* [online]. 2007, vol.31, n.3, pp. 391-398.
- Caldeira, M.V.W.; Rondon Neto, R.M.; Schumacher, M.V.; Watzlavick, L.F. Exportação de Nutrientes em Função do Tipo de Exploração em um Povoamento de *Acácia Mearnsii de Wild*. *Floresta e Ambiente*, Vol. 9, n. 1, p. 97-104, jan/dez 2002.
- Campos, A. D. Técnicas para Produção de Extrato Pirolenhoso para Uso Agrícola. Circular Técnica 65. Embrapa. Pelotas, 2007.
- Goos, A.W."The Thermal Decomposition of Wood," in "Wood Chemistry," 2nd Ed., Vol. 2, ed. L. E. Wise and E. C. Jahn, Reinhold Pub. Co., New York, 1952, p. 826.
- Higa, A.R. Projeto Acácia-Negra. Colombo: Embrapa, n.º1 (1), 11 de dezembro de 1996. 2p.
- Luengo, C.A.; Felfli, F.E.F.; Bezzon, G. Pirólise e Torrefação da biomassa. *In: Biomassa para energia*. Cortez, L.A.B.; Lora, E. S. 2006, 10 p.
- Magna Engenharia. Simulação de uma Proposta de Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio dos Sinos, RS :Relatório. Porto Alegre : [s.n.], 1996. 4 v.
- Natali, J. R., Ética Ambiental, ed. Millennium Ltda, 2001.
- Órfão, J. J. M.; Antunes, F. J. A.; Figueiredo, J. L. Pyrolysis kinetics of lignocellulosic materialsthree independent reactions model. *Fuel*, London, v.78, p.349-358, 1999.
- Órfão, J.J.M.; Figueiredo, J.L. Asimplified method for determination of lignocellulosic materials pyrolysis kinetics from isothermal thermogravimetric experiments. *Thermochimica Acta*, Amsterdam, v.380, p.67-78, 2001.
- Riegel, Izabel et al. Análise Termogravimétrica da Pirólise da Acácia-Negra (*Acácia Mearnsii de Wild*.) Cultivada no Rio Grande do Sul, Brasil. *R. Árvore*, Vol. 32, n.3, p.533-543, Viçosa-MG, 2008.
- Schneider, P.R.; Tonini, H. Utilização de Variáveis Dummy em Equações de Volume para *Acácia Mearnsii de Wild*. *Ciência Florestal*, , Vol. 13, n. 2, p. 121-129, Santa Maria, 2003.
- Stolz, A. Caracterização dos Produtos de Pirólise da *Acacia mearnsii De Wild* – Acácia Negra. 2010. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Feevale, Novo Hamburgo, 2010.
- Syred, C.; et al. A clean, efficient system for producing charcoal, heat and power (CHaP). *Fuel*, London, v.85, p.1566-1578, 2006.

Tonieto, L.; Stein, P.P. Silvicultura da acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild) no Brasil. Florestar Estatístico, São Paulo, v.4, n.12, p.11-16, 1997.

Yasuhara, Akio. Sugiura, Ginji. Volatile Compounds in Pyrolygneous Liquids from Karamatsu and Chishima-sasa. Agricultural and Biological Chemistry. Vol.51 , No.11(1987)pp.3049-3060.

## 6. DIREITOS AUTORAIS

Os direitos autorais deste artigo estão reservados ao Grupo de Pesquisas em Materiais da Universidade Feevale.

Paulo L. Froehlich, Mestrando em Tecnologia dos Matérias e Processos Industriais, Feevale

Angela B. D. Moura, Prof. e Pesquisadora da Feevale, Dra. em Engenharia, G. de Pesquisas em Materiais.

Fernando Morisso, Prof. e Pesquisador da Feevale, Dr. em Química, G. de Pesquisas em Materiais.

Fernanda Lerner Pinto, Graduanda em Engenharia Química Industrial

Universidade Feevale, Rodovia RS 239, 2755, Vila Nova, Novo Hamburgo. RS

Izabel C. Riegel, Prof. e Pesquisadora da Universidade Federal do Paraná, Depto de Química.

### CHARACTERISTICS OF THE CARBONIZATION OF ACÁCIA MEARSII OF WILD IN LABORATORY .

**Abstract :** Biofuels are renewable energy sources derived from agricultural materials such as oil plants, forest biomass, cane sugar and other organic matter. There are various types of biofuels, but the main ones are biomass, bioethanol, biodiesel and biogas. Biomass is a source of clean, renewable energy available in abundance and derived from organic materials. Many studies have been conducted to obtain energy from biomass, mainly because there are estimates that fossil fuels will end in the coming decades. This article proposes to demonstrate characteristics of carbonization of *Acacia Mearnsii* Wild in the laboratory and the production of liquor pyrolygneous. The charcoal was obtained in the laboratory and presented the proceeds to the raw material. The laboratory experiments were performed in triplicate for different heating rates. These revenues are compared to yields obtained previously by TGA (Thermogravimetric analysis).

**Key Words:** Carbonization, Energy of Biomass, Pirolenhoso liquor

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.