

AVALIAÇÃO DA HIGROSCOPICIDADE DO CARVÃO VEGETAL E DOS SEUS EFEITOS NA RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO

AZARIAS MACHADO DE ANDRADE
Dr., Prof. Adjunto, DPF-IF-UFRRJ
RICARDO MARIUS DELLA LUCIA
PhD, Prof. Titular, DEF-UFV

RESUMO

A proposta principal deste trabalho foi apresentar uma técnica inédita de avaliação da higroscopicidade do carvão vegetal e dos seus efeitos sobre a resistência do carvão ao esmagamento.

Palavras-Chave: Carvão vegetal, higroscopicidade do carvão, resistência do carvão ao esmagamento.

ABSTRACT

Evaluation of wood charcoal higroscopicity and its effects on the compression resistance of the charcoal

The principal proposal of this work is to present a unpublished technic to evaluation of wood charcoal higroscopicity and its effects on the compression resistance of charcoal.

Key Words: Wood charcoal, charcoal higroscopicity, charcoal compression resistance.

INTRODUÇÃO

O carvão vegetal é um insumo energético com propriedades físicas e químicas extremamente variáveis e, conseqüentemente, deve ser, rotineiramente, submetido a testes avaliativos de qualidade. No entanto, é necessário ressaltar que o termo "carvão de boa qualidade" é muito genérico, ou seja, um carvão de boa qualidade para um determinado uso pode não ser para outro. Por exemplo, um carvão de boa qualidade para fins siderúrgicos não é indicado para filtros de máscaras protetoras ou para ser queimado em lareiras.

Vários são os parâmetros comumente

utilizados para expressar a qualidade do carvão vegetal, destacando-se, porém, aqueles que consideram a sua composição química, a sua densidade, a sua resistência mecânica e a sua higroscopicidade. Os referidos parâmetros demonstram entre si uma magnífica interdependência, sendo impossível alterar um deles sem que os demais também sejam alterados.

Conhecendo-se de antemão a importância da higroscopicidade, uma propriedade que exerce considerável influência sobre vários outros parâmetros quali-quantitativos do carvão vegetal, foi proposto o presente

trabalho, com o objetivo primordial de apresentar meios de se avaliar não somente a higroscopicidade, mas também os seus efeitos na resistência do carvão vegetal ao esmagamento.

REVISÃO DE LITERATURA

HIGROSCOPICIDADE DO CARVÃO VEGETAL

Com relação especificamente à higroscopicidade do carvão vegetal, algumas considerações interessantes devem ser apresentadas: 1^a): O carvão vegetal é dotado de um grande poder de absorção, podendo, em poucas horas, absorver de 4 a 16% de seu peso em água (carvão recém-produzido). A princípio esta absorção é rápida e, vai diminuindo de intensidade até a completa saturação. Seu elevado poder absorvente de vapor d'água e de gases permite a sua aplicação como desodorante, descolorante, desinfetante, em poços, fossas, minas, na filtração de água, em máscaras contra gases asfixiantes, etc. (SOUZA, 1947); 2^a): A absorção do carvão vegetal está diretamente relacionada com a sua elevada porosidade, sendo que a grande diferença entre o seu peso específico real e o seu peso específico aparente é a prova de que o mesmo possui um volume de poros muito grande. Lowry e Hulett (1920); citados por KOLLMANN (1959), comentaram que 1 grama de carvão possui uma superfície interna de 160 a 436 metros quadrados, o que lhe confere um alto poder de adsorção de gases (não se conhece ainda, com exatidão, o mecanismo e as causas da adsorção do carvão vegetal); e, 3^a): A porosidade do carvão vegetal está intimamente associada à temperatura de carbonização, à densidade da madeira que lhe deu origem e à velocidade de carbonização (MENDES *et alii*, 1982).

FATORES QUE ALTERAM O VOLUME DOS POROS E A HIGROSCOPICIDADE DO CARVÃO VEGETAL

Durante o processo de carbonização da madeira, um fato interessante que ocorre e, que merece ser destacado, é a perda de massa e expulsão de matérias voláteis do interior do carvão vegetal, no intervalo entre 300 e 500 graus centígrados, sem ocorrer, entretanto, uma redução significativa nas dimensões do mesmo (redução no volume

dos poros). No entanto, a partir dos 500 graus centígrados, a perda de massa é acompanhada por uma significativa contração nas dimensões do carvão vegetal, sendo que o efeito da contração é maior que o efeito da perda de massa, haja visto que a densidade relativa aparente do carvão vegetal produzido a 700 graus centígrados é maior do que aquela apresentada a 500 graus centígrados (OLIVEIRA e ALMEIDA, 1980). Assim, espera-se de um carvão produzido sob os efeitos de altas temperaturas (acima de 500 graus centígrados) uma baixa higroscopicidade. Violette (1848); citado por KOLLMANN (1959), trabalhando com carvão da madeira de *Rhamnus frangula* (obtido sob temperaturas que variaram de 150 a 1500 graus centígrados), detectou, num ambiente saturado de vapor d'água, os índices de admissão de umidade apresentados no Quadro 1.

QUADRO 1 - Índices de Admissão de Umidade pelo Carvão Vegetal de *Rhamnus frangula*, em Função da Temperatura Máxima de Carbonização

Temperatura (graus centígrados)	Admissão de Umidade (%)
150	21
250	7
350	6
430	4
1500	2

Fonte: Violette, 1848; citado por KOLLMANN, 1959.

Analisando-se o Quadro 1 percebe-se que o carvão vegetal produzido sob os efeitos da menor temperatura (150 graus centígrados), num ritmo de carbonização bastante lento (durando, provavelmente, até dias, dependendo da quantidade e das condições de umidade da lenha utilizada), apresentou o maior poder absorvente.

O resultado discutido anteriormente exige uma abordagem mais cuidadosa, qual seja: para que o carvão vegetal seja altamente higroscópico deve possuir, além de uma grande superfície específica interna (grande volume de poros), uma forte facultade

específica de adsorção. A primeira exigência é obtida quando se procura conservar, por intermédio de carbonizações lentas (baixas temperaturas por um longo período de tempo), a estrutura original da madeira, conduzindo o processo cuidadosamente; um forte poder de adsorção é obtido quando não se permite a deposição do alcatrão (pouco volátil), formado durante o carvoejamento, na superfície interna das peças de carvão, o que é conseguido através do aquecimento ininterrupto da lenha ao longo da carbonização. É imprescindível que se considere a interação entre as temperaturas e os tempos de exposição às mesmas, sendo oportuno lembrar que, imediatamente após a carbonização, o carvão vegetal contém algum gás formado durante o processo, cuja proporção é tanto maior quanto menor tenha sido a temperatura e o tempo de carbonização.

RESISTÊNCIA DO CARVÃO VEGETAL AO ESMAGAMENTO

Uma maneira bastante eficiente de se conhecer as qualidades industriais do carvão vegetal, especialmente para fins siderúrgicos, é a determinação da sua resistência à compressão, haja visto que, quanto menor for a mesma, maior será a geração de finos e de pó (moinha) durante o manuseio, o transporte e a utilização do carvão (KOLLMANN, 1959; MENDES *et alii*, 1982; OLIVEIRA e ALMEIDA, 1980). Na Europa Oriental, por exemplo, utiliza-se somente aquele carvão cuja resistência à compressão no sentido normal às fibras ultrapasse 9 kg/cm² quadrado e, cujo diâmetro médio das partículas seja igual ou superior a 4 cm (Kalnins, 1944; citado por KOLLMANN, 1959).

FATORES QUE AFETAM A RESISTÊNCIA DO CARVÃO VEGETAL AO ESMAGAMENTO

A temperatura de carbonização mantém influências marcantes sobre o volume de poros do carvão vegetal e, conseqüentemente, sobre sua resistência à compressão. Em estudos realizados no CETEC (Centro Tecnológico de Minas Gerais), constatou-se que a resistência do carvão ao esmagamento decresce da temperatura de carbonização de 300 para 500 graus centígrados e aumenta significativamente de 500 para 900 graus

centígrados (OLIVEIRA e ALMEIDA, 1980). O decréscimo da resistência à compressão, quando a temperatura de carbonização aumenta de 300 para 500 graus centígrados, decorre, provavelmente, da maior extração de voláteis na temperatura de 500 graus centígrados, tendo, como conseqüência, um aumento na porosidade do carvão. Todavia, nesse intervalo de carbonização, o carvão não sofre contrações significativas, permanecendo constante o número de fibras por unidade de área, o que sugere uma queda na resistência ao esmagamento, conforme realmente aconteceu. Por outro lado, com o aumento da temperatura de carbonização a partir de 500 graus centígrados, observa-se um aumento na resistência do carvão vegetal ao esmagamento, em decorrência de uma contração bastante significativa nas dimensões do mesmo nessa faixa de temperatura, devido a um possível rearranjo estrutural do carbono residual. Assim, o aumento da resistência do carvão a partir de 500 graus centígrados pode estar vinculado aos seguintes fatores: 1º): possível influência da diminuição radial, aumentando o número de fibras por unidade de área; e, 2º): possível influência do rearranjo estrutural do carbono, acarretando uma estrutura de maior resistência (MENDES *et alii*, 1982).

É importante lembrar que os menores valores de resistência ao esmagamento ocorrem, como já era esperado, dentro daquelas faixas de temperatura em que o carvão vegetal apresenta os maiores volumes de poros, sendo, em decorrência de tal fato, mais higroscópico. Existe, conforme mencionado anteriormente, uma correlação negativa e significativa entre a higroscopicidade do carvão vegetal e a resistência do mesmo ao esmagamento. Portanto, para a obtenção de carvão vegetal com satisfatória resistência à compressão, deve-se promover uma carbonização medianamente rápida, com uma temperatura final de carbonização elevada.

MATERIAIS E MÉTODOS

ESPÉCIES RECOMENDADAS

Devem ser selecionadas para os estudos de laboratório duas espécies florestais com densidades básicas bastante distintas. O Quadro 2 apresenta duas espécies, com os

seus respectivos nomes científicos e com os valores médios das suas densidades básicas. Apesar de terem sido levantadas as densidades básicas das espécies apresentadas (MAINIERI e CHIMELO, 1989), recomenda-se que as mesmas sejam devidamente determinadas, tendo por base a metodologia proposta por VITAL (1984).

AMOSTRAGEM DO MATERIAL

Materiais

- Motosserra;
- Trena;
- Fita Diamétrica; e
- Facão.

Métodos

Deverá ser abatida uma árvore de cada espécie selecionada para o estudo. Desta árvore serão extraídos seis discos de madeira com casca, com aproximadamente 04 (quatro) centímetros de espessura, para a determinação da densidade básica da madeira e, três toletes de aproximadamente 1,0 metro de comprimento, para posterior produção de carvão vegetal em retorta elétrica.

Os pontos de retirada dos discos de madeira serão os seguintes: a 0,3 m do solo, a 1,3 m do solo (à Altura do Peito) e a 25, 50, 75 e 100% da altura do fuste. Os três toletes de 1,0 metro de comprimento serão coletados nas seguintes posições do fuste: 1º): na região inferior, próximo à base; 2º): na região central do fuste; e, 3º): na região superior do fuste.

Observação: Quando da retirada dos seis discos de madeira, as cinco seções resultantes serão submetidas à "cubagem rigorosa". Os volumes individuais dessas seções, bem como de todo o fuste, serão utilizados no cálculo da densidade básica média da árvore.

Os materiais coletados no campo, devidamente identificados, serão conduzidos para o laboratório, onde sofrerão as necessárias transformações pré-análises.

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA MÉDIA DA ÁRVORE

Materiais

- Balança Analítica;
- Dessecadores (com e sem sílica);
- Bomba de Vácuo; e
- Becker de 500 ml.

Métodos

Os seis discos de madeira com casca serão quarteados e, duas das amostras na forma de "cunha", opostas entre si, serão utilizadas na determinação da densidade básica média da árvore, em g/cm³, pelo método da imersão em água, fazendo-se uso da seguinte fórmula:

$$Db^{(g/cm^3)} = \frac{\sum(N-1)Vs(i) \times Dbs(i)}{\sum(N-1)VS(i)} \quad \text{onde}$$

Db (g/cm³) = Densidade básica média da árvore, em g/cm³;

N = Número de seções após a retirada dos discos de madeira;

Vs = Volume da seção (i), em m³;

Dbs = Densidade básica média da seção (i), em g/cm³; e,

VS = Volume de todas as seções, em m³.

QUADRO 2 - Espécies Recomendadas para o Estudo

Nº	Nome Vulgar	Família	Nome Científico	Densidade (g/cm ³)
01	Eucalipto	Myrtaceae	Eucalyptus grandis	0,50
02	Angico-Vermelho	Mimosaceae	Parapiptadenia rigida	0,75

PRODUÇÃO DO CARVÃO VEGETAL**Materiais**

- Madeira de *Eucalyptus grandis*, com idade entre 6 e 9 anos (três toletes de aproximadamente 1,0 metro de comprimento);
- Madeira de Angico-Vermelho (três toletes de aproximadamente 1,0 metro de comprimento); e,
- Retorta elétrica com cadinho vertical, com capacidade para 35 litros.

Métodos

Os toletes de madeira, com aproximadamente 1,0 metro de comprimento, depois de descascados e secos em estufa

regulada a 105 ± 3 graus centígrados durante 48 horas, serão submetidos à carbonização em retorta elétrica vertical, com capacidade para 35 litros.

Com vistas à obtenção de carvões com 5 (cinco) distintos "níveis higroscópicos" (5 tratamentos), serão adotadas 5 (cinco) diferentes marchas de carbonização para cada espécie florestal estudada. As marchas de carbonização são apresentadas no Quadro 3.

Espera-se, para os carvões assim obtidos, um comportamento higroscópico semelhante àquele encontrado por Violette, 1848; citado por KOLLMANN, 1959 (apresentado no Quadro 1) ou, àqueles detectados por MENDES *et alii* (1982) e por OLIVEIRA e ALMEIDA (1980).

QUADRO 3 - Marchas de Carbonização Recomendadas

Marcha (Trat)	Temperatura Máxima	Temperatura (graus centígrados)	Tempo de Permanência (horas)
1ª	150	150	8
2ª	350	100	4
		250	2
		350	2
3ª	550	100	2
		250	2
		350	2
		550	2
4ª	750	100	1
		250	1
		350	2
		550	2
		750	2
5ª	950	100	1
		250	1
		350	1
		550	1
		750	2
		950	2

PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Materiais

- Carvão produzido conforme metodologia proposta;
- Serra de fita (lâmina fina) ou serra manual de cortar vergalhões; e,
- Paquímetro.

Métodos

Os corpos de prova, em número de 5 (cinco) por tratamento (25 por espécie florestal), serão retirados da região central dos toletes carbonizados com o auxílio de uma serra de fita estreita, ou de uma serra manual de cortar vergalhões. Caso os toletes tenham se fragmentado em demasia durante a carbonização, as amostras deverão ser retiradas daqueles fragmentos sem trincas e fissuras, oriundos, também, da região central dos toletes, caso seja possível identificar os pontos de fragmentação.

Serão utilizados corpos de prova em forma de paralelepípedos, com as seguintes dimensões: 16 x 16 x 50 mm. Para estudos desta natureza, os corpos de prova com essas dimensões foram os indicados por OLIVEIRA *et alii* (1982). As medições das amostras serão realizadas com o auxílio de um paquímetro.

DETERMINAÇÃO DO NÍVEL HIGROSCÓPICO DO CARVÃO VEGETAL

Materiais

- Carvão produzido, exceto aquele volume destinado à confecção dos corpos de prova;
- Peneiras classificatórias de carvão vegetal; e,
- Balança com lâmpada infravermelha.

Métodos

Já preparados os corpos de prova, a sobra do carvão vegetal será fragmentada e, classificada em peneiras apropriadas, utilizando-se a fração com granulometria de 8 a 13 mm.

Uma alíquota de aproximadamente 20 gramas da amostra será colocada no prato de

uma balança com lâmpada infravermelha, emborcando a lâmpada sobre o prato.

A lâmpada infravermelha será acesa, iniciando-se, a partir de então, a secagem da amostra sob a temperatura de 105 graus centígrados (até peso "semi-constante", considerando-se que o carvão não atinge peso perfeitamente constante).

Atingido o peso "semi-constante" (após 70 minutos, aproximadamente), a lâmpada será desligada e a amostra passará a absorver umidade do ambiente até que as suas condições estruturais (volume de poros, taxa de contração volumétrica sofrida durante a carbonização, manutenção da estrutura original da madeira, etc.) e seu poder de adsorção o permitam. O aumento da massa será acusado pela balança e, de acordo com a percentagem de umidade acrescida até a nova estabilização de peso (valor percentual em relação ao peso seco inicial da amostra), serão estabelecidos os "níveis higroscópicos do carvão" para cada tratamento. É importante frisar que, a umidade do carvão se estabilizará com a umidade relativa do ar depois de 10 a 12 horas, aproximadamente. Desta forma, ter-se-á, para cada espécie, carvões com 5 (cinco) "níveis higroscópicos", em função de 5 (cinco) temperaturas máximas de carbonização.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CARVÃO VEGETAL AO ESMAGAMENTO

Materiais

- Máquina para testes de compressão.

Métodos

Os testes de resistência do carvão vegetal ao esmagamento serão realizados em uma máquina de ensaios apropriada, sendo que o eixo aplicador da carga no corpo de prova deve apresentar uma rótula, para permitir a aplicação de carga uniformemente. A velocidade de aplicação de carga deve girar ao redor de 0,005 cm/minuto ou, a mínima permitida no equipamento utilizado. O ensaio deve ser interrompido ao atingir-se o máximo da curva "carga X deformação", ou seja, o ponto onde o corpo de prova começa a romper-se.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De posse dos resultados, será possível determinar o nível das influências da higroscopicidade do carvão vegetal sobre a sua resistência ao esmagamento. Trata-se, sem dúvida, de uma experimentação interessante, considerando-se, sobretudo, que as variáveis direta ou indiretamente envolvidas são aquelas que regulam as principais características físico-químicas do carvão vegetal. Ocorre, no mesmo estudo, a possibilidade de avaliar-se os efeitos de uma variável extra, qual seja a densidade básica da madeira. Para tanto, estudar-se-á, de forma paralela, duas espécies florestais com densidades básicas bastante distintas (*Eucalyptus grandis* e *Parapiptadenia rigida*).

A densidade deve ser incluída para suprir possíveis falhas no estudo, caso as influências dessa importante variável não fossem consideradas. A sua inclusão parece indispensável não somente no caso dessa pesquisa, mas também à todos os estudos dentro do contexto geral da produção e da utilização de carvão vegetal.

BIBLIOGRAFIA

- ASSIS, P. S.; MARINHO L. Z. A.; PORTO, F. M. Utilização do carvão vegetal na siderurgia. In: PENEDO, W. R. Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte - MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p. 279-318, 1982.
- BEALL, F.C.; BLANKENHORN, P.R.; MOORE, G.R. Carbonized wood - physical properties and use as an SEM preparation. *Wood Science*. 6 (3): 212-219, Jan./1974.
- BEALL, F.C. Introduction to thermal analysis in the combustion of wood. *Wood Science*. 5 (2): 102-108, 1972.
- BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. Piracicaba-SP, IPEF (16): 63-70, Jun./1978.
- BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I- Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. Piracicaba - SP, IPEF (14) 9 - 20, Jul./1977.
- BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: II- Densidade da madeira X densidade do carvão. Piracicaba - SP, IPEF (20): 121 - 6, Jun./1980.
- COLLET, F. Estudo comparativo, em escala de laboratório, de diversas madeiras utilizadas na fabricação de carvão vegetal. Boletim da Associação Brasileira de Metais, 42 (12):5-14, 1955.
- DOAT, J. & PETROFF, G. La caracterization des bois tropicaux. *Revue bois et forêts des tropiques*. Nogent-Sur Marne (159): 55-72, 1975.
- FAIRBRIDGE, C. & ROSS, R. A. The thermal reactivity of wood waste systems. *Wood Science and Technology*, 12: 169-85, 1978.
- GOMES, P.A. & OLIVEIRA, J.B. de. Teoria da carbonização da madeira. In: PENEDO, W.R. Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte- MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.27-41, 1980.
- JUVILLAR, J. B. Tecnologias de transformação da madeira em carvão. In: PENEDO, W.R. Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte- MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.67-82, 1980.
- KANURY, A.M. & BLACKSHEAR, P.L. Some considerations pertaining to the problem of wood burning. In: *Combustion Science and Technology*, 1, 1970.
- KOLLMANN, F. Tecnologia de la madera y sus aplicaciones. Madrid, Inst. Forestal de Investigaciones y Experiencias y el Servicio de la Madera, 1959. 675p.
- MAINIERI, C. & CHIMELO, J. P. Fichas de características das madeiras brasileiras. São Paulo-SP, IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Divisão de Madeiras, 1989. 420p.

- MARTINS, H. Madeira como fonte de energia. In: PENEDO, W. R. Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte - MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.09-26, 1980.
- MATOS, M. de; ALMEIDA, M. R. de; OLIVEIRA L. T. de. Características dos produtos da carbonização da madeira. In: PENEDO, W.R. Gaseificação de madeira e carvão vegetal. Belo Horizonte - MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.111-131, 1981.
- MENDES, M.G.; GOMES, P.A.; OLIVEIRA, J.B.de. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: PENEDO, W.R. Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte - MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.75-89, 1982.
- OLIVEIRA, E.de. Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden). Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa-UFV, 1988, 47p. (Tese M.S.).
- OLIVEIRA, J.B. de; GOMES, P.A.; ALMEIDA, M.R. de. Propriedades do carvão vegetal. In: Carvão Vegetal. Belo Horizonte - MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p. 39-61, 1982.
- OLIVEIRA, J.B. de; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M.G.; GOMES,P.A. Produção de carvão vegetal-aspectos técnicos. In: PENEDO, W.R. Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte-MG, CETEC-Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.59-73, 1982.
- OLIVEIRA, L.T. de & ALMEIDA, M.R. de. Avaliação de carvão vegetal. In: PENEDO, W.R. Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte-MG, CETEC-Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.43-53, 1980.
- PANSHIN, A.J. & ZEEUW, C.de. Textbook of wood technology. 4. ed., New York, McGraw-Hill Book Company, 1980. 722p.
- SHAFIZADEH, F.; SARKANEN, K.V.; TILLMAN, D.A. Thermal uses and properties of carbohydrates and lignins. New York, Ac. Press, 1976. 320p.
- SLOCUM, D. H. Charcoal yield shrinkage and density changes during carbonization of oak and hickory woods. In: *Wood Science*, 1 : 42 - 7, Jul./1978.
- SOUZA, P.F. de. *Tecnologia de produtos florestais*. Rio de Janeiro - RJ, Imprensa Nacional, 1947. 409p.
- VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa - MG, SIF-Sociedade de Investigações Florestais, Boletim Técnico, 01, 1984. 21p.
- WENZL, H.F.S. The chemical technology of wood. New York, Ac. Press, 1970. 692p.
- WHITE, R.H. Effect of lignin content and extratives on the higher heating value of wood. In: *Wood and fiber science*, 19(4): 446-452, october/1987.
- YANTORNO, J.A. La industria de la destilacion de leña y sus derivados. Buenos Aires, Imp. Isely & Cia., 1933. 661p.
- ZOBEL, B. & TALBERT, J. Applied forest tree improvement. New York, John Wiley & Sons, 1984. 505p.