

---

## USO DA BIOMASSA FLORESTAL COMO FONTE DE ENERGIA

---

**JOÃO EDUARDO DAS NEVES MANHÃES**  
**Mestre, Prof Adjunto - IF/DPF/UFRRJ.**

### RESUMO

O aumento nos preços dos combustíveis fósseis é um dos fatores que pode permitir que os resíduos da madeira entrem no mercado como uma forma alternativa e renovável de fonte energética. Apesar da viabilidade da utilização dos subprodutos industriais da floresta como matéria-prima e o seu respectivo valor como fonte de energia é examinado. Álcool de madeira pode se tornar um viável produto substituto para a gasolina, desde que o potencial de sua produção anual de 500.000 t/ano se torne competitivo com o atual consumo de gasolina e óleo combustível. A possibilidade do incremento nas "florestas energéticas" e o aproveitamento integral da árvore na exploração florestal constituem os meios para o suprimento de matéria prima.

### INTRODUÇÃO

Com a escassez dos recursos naturais não renováveis houve um aumento nos preços dos combustíveis fósseis, e conseqüentemente maiores atenções estão sendo direcionadas para os recursos naturais renováveis de energia. Até o século passado, a madeira contribuiu com uma porção significativa do total de suprimento de energia. Desde então, tivemos um aumento na diversidade de fontes energia, contudo nossa economia tornou-se

grandemente dependente do combustíveis fósseis. Em 1972 a Fundação Nacional de Ciências dos Estados Unidos patrocinou uma conferência (FPJ, 1976) para discutir novas fontes de energia, particularmente energia solar. A possibilidade do uso da energia solar convertida pela fotossíntese biomassa de planta esta mais uma vez recebendo sérias considerações, quando se focaliza o uso da madeira para produção de energia.

A área florestada do mundo é estimada em 3.800 milhões de hectares, de uma área total de 14.900 milhões de hectare. Isto representa 360.000 milhões de metros cúbicos de madeira serrada e igual quantidade de galhos e árvore não-comercializáveis. Esse cálculo é uma indicação do potencial madeireiro disponível para o uso, apesar de previamente ter sido considerado sem valor. A quantidade em termos de energia disponível é discutida na Viabilidade Econômica.

A quantidade de biomassa florestal não utilizada em forma de resíduos de serraria, exploração florestal, desbastes e árvores de pequenos diâmetros não comercializáveis no Brasil ainda não exatamente conhecida, contudo a Associação Paulista dos Fabricantes de Papel (APFPG, 1977) apresenta dados otimistas de que essa quantidade representa um potencial de suprimento perto de dez por cento do atual consumo anual de petróleo. Desejado ou não, este potencial é real e dependerá da competição pelos escassos recursos que afetará a demanda por alimento, fibra e terra.

A indústria florestal por si mesmo já começou a utilizar os resíduo de madeira e casca como combustível nos processos de produção, e diversas companhias já atingiram a meta de auto suficiência em energia. Certas indústrias que ainda dependem do óleo combustível estão gradualmente substituindo nos equipamentos, como secadores de lâminas de madeira e caldeiras de vapor, o óleo combustível por serragem e aparas de madeira na geração de calor e energia. Nos Estados Unidos aproximadamente 37 por cento da energia consumida pelas indústrias florestais são proveniente de resíduos de madeira.

A energia armazenada nas árvores é liberada por oxidação exotérmica do carbono e hidrogênio. A quantidade de energia disponível depende da relação entre a quantidade desses dois elementos em uma dada peça de madeira. A energia proveniente da madeira pode ser liberada a forma de calor durante a combustão direta, ou por reações a nível molecular, que resulta na conversão da matéria orgânica em compostos de alto conteúdo energético tais como alcoóis, acetona, gás metano ou carvão os quais possuem grandes teores de calorías por peso básico do que a madeira. Esses

processos estão mais detalhados na parte III, seguindo uma discussão das fontes das características das matérias primas usada na produção de energia de biomassa florestal.

## **MATÉRIAS PRIMAS**

### **Resíduos de Serrarias**

1. **Cavaco.** A utilização de cavacos na produção de energia não parece ser promissor como os outros tipos de resíduo de serrarias, devido seu grande valor como fonte de fibra para produção de polpa e papel ou mesmo chapa de fibras de madeira. Cavacos residuais estão sendo adicionados a madeiras (emprestáveis) para alimentar caldeiras de vapor. Quando usado em combustão direta, o conteúdo de umidade do cavacos deve ser menor que 50 por cento. Uso alternativo para cavaco inclui transformação à carvão, metano e álcool de madeira. O Departamento de Minas dos Estados Unidos desenvolveu método que envolve a redução química dos cavacos de óleo cru (GRANTHAM, 1974). A utilização de 3 toneladas de cavacos seco por dia chega a produzir 2 barris de óleo. Casca, resíduos de madeira e desperdícios municipais (papel) poderiam ser também utilizados como matéria prima no processo.

A possibilidade de utilização de máquinas picadoras para produção de cavacos de desbastes e galhos no local de exploração florestal estão sendo avaliadas.

2. **Casca.** Aproximadamente 12 por cento da biomassa de uma árvore é casca. Isto é uma boa proporção na qual até recentemente ao 3e tinha um U80 adequado. Cavacos e outros resíduos de madeira teriam algum, valor devido às suas fibras, mas casca não o teria devido ao seu alto teor de resinas e extrativos. Grantham e Ellis concluíram que o uso de

casca para produção de vapor e eletricidade para uma indústria de produtos florestais deve ser altamente vantajoso. A tendência da utilização da casca como fonte de energia é ilustrada pelos números mostrados segundo Grant (GRANT, 1977). Em 1971, 36 por cento da energia consumida pelas indústrias de polpa e papel foram proveniente de produtos químicos recuperado, casca e madeira (brutas imprestáveis), visto que em 1975 tinha elevado para 44 por cento. Grant informa que uma moderna fábrica de papel pode satisfatoriamente ter 75 por cento de suas necessidades de energia proveniente do sistema de recuperação. A casca tem uma vantagem sobre outros resíduos, em virtude dos mesmos tornarem-se caros dado a coleta e transporte, e a casca vir para a fábrica junto com os troncos a um custo que é contabilizado no valor da madeira. Isto é notado por Harder e Einspahr (HARDER, 1976) que para muitos produtos finais a casca deve ser removida, e seu uso como combustível resolve o problema de desfazê-la como resto. O poder calorífico da casca apresentado por Zivnuska esta na variação de 4720 - 5555 Kcal por quilograma. Uma comparação do valor calorífico da madeira e carvão mineral é apresentado na Tabela I. O poder calorífico da casca e madeira folhosa (madeira dura) é menor do que a de casca de madeira de conífera (madeira mole) e Harder e Einspahr indicam que o poder calorífico varia entre espécies. Isto é ilustrado na Tabela II.

Casca também pode ser usada na produção de metanol. Com 100 toneladas de casca é possível produzir 80 a 105 toneladas de metanol MARSHALL (1975).

3. Serragem e Aparas de madeira. Estes dois tipos de resíduos são menos valorizados do que os cavacos visto que

são de limitado uso como fonte de fira. Em 1974 os cavacos eram vendidos a 50 dólares por tonelada (bem seco) no Estados de Washington, e Oregon, ao passo que a serragem e aparas de madeira custavam somente 10 dólares por tonelada (bem seca) GRANTHAM (1974).

O valor de aparas de madeira para combustível em termos de calor líquido usável e o custo em dólares por Kcal é comparado com óleo combustível nº 2 e com carvão betuminoso, na Tabela III. Os resíduos da madeira não são sempre de qualidade consistente ou dos respectivos conteúdos de unidade, assim os valores dos respectivos conteúdos de umidade, assim os valores do atual combustível podem diferenciar dos apresentados. A eficiência da caldeira de vapor é considerada nos cálculos do calor líquido utilizável.

4. Pedaços de madeira. O uso de resíduos de madeira numa indústria florestal se tomou um método viável no que diz a redução dos custos totais da energia consumida. Um bom exemplo (II), Crown Zellerback., uma companhia de produtos florestais da cidade de Omak Estado de Washington nos Estados Unidos, usou aparas de compensados e pedaços de madeira pinho no seu secador de lâmina de madeira, economizando anualmente mais de 1,6 milhões galões ou US\$ 500.000 onde previamente usava gás propano. O novo equipamento foi estalado em 1975 e foi pago, por si só, em 2 anos. A economia do custo de combustível foi maior do que 70 por cento.
5. Resíduo da Fabrica de papel. Estes desperdícios são bem aproveitados como matéria prima na conversão em álcool. Isto possibilita a indústria satisfazer 75 por cento de suas próprias necessidades através de sistemas e recuperação dos

produtos químicos (GRANT, 1977), contudo, o desperdício de papel e o licor de sulfito pode contribuir com uma boa proporção do total das necessidades de energia de um país. A produção de álcool de licor utilizado (spent liquors) é

considerado mais barata que de outro resíduos de madeira, estes desperdícios poderia produzir oito por cento do total da necessidade do Canadá para produzir uma mistura álcool/gasolina de 10 por cento (MARSHALL, 1975).

TABELA I - Poder Calorífico da Madeira e do Carvão Mineral

Material	Carbono total	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
madeira	49 - 54	4670 - 5250
casca	47 - 57	4670 - 5525
carvão Mineral (baixo teor)	64 - 65	6070 - 6630
sub-Bituminoso	62 - 73	5800 - 7740
carvão Bituminoso	73 - 86	7180 - 8840

ONTE: Grantham, J., Ellis, T., "Potentials of Wood for Producing Energy", Journal of Forestry, Sept. 1974, p.556.

TABELA II - Poder Combustível de Casca

Espécies	Densidade G/cm3	Kcal/Kg (Peso seco)	Kcal/m3
Sugar Maple	0,54	4680	2528300
White Birch	0,56	5740	3210600
Q. red oak	0,65	4940	3215800
E. cottonwood	0,31	4680	144700
Loblolly pine	0,33	5180	1709400
Douglas fir	0,41	5530	2270700
Western hemlock	0,45	5160	2326100
Engelmann spruce	0,51	4900	2500000
Lodgepole pine	0,38	5460	1979800
Ponderosa pine	0,35	5340	1866500
Red pine	0,27	5040	1356730

ONTE: Harder, M. e Einspahr, "Bark Fuel Value of Important Pulpwood Species", Tappi, (1976), 59, (7), p.132.

**TABELA III - Aparas versus Óleo Combustível nº 2**  
(9320 Kcal/l)

Combustível	Eficiência da queima (%)	Calor Utilizável líquido (BTU/Unid.)	Valor por B.T.U. (\$)	Valor Lq (\$/Unid.)
Óleo Combustível nº 2	82,5	1030 Kcal/l	0,00001	0,080/l
Aparas	78,0	2.943.120 (kcal/t)	0,00001	29,20/t

  

Aparas Versus Carvão Betuminoso (7500 Kcal/Kg.)				
Combustível	Eficiência da queima (%)	Calor Utilizável líquido (BTU/Unid.)	Valor por B.T.U. (\$)	Valor Lq (\$/Unid.)
Carvão	85,00	578290 kcal/t	0,0000052	30,00/t
Aparas	78,00	2943120 (kcal/t)	0,0000052	15,18/t

FONTE: Curtis, A.B., Jr., "How to Calculate Wood Fuel Values", Forest Industries, (1976) 103 (13) p.45..

### Resíduos a Floresta

Grande quantidade de resíduos são deixado e não utilizado a cada ano, após uma exploração a cada ano, após uma exploração florestal. Isto nos proporciona uma otimista perspectiva para futuras contribuições em termos de energia. A estimativa do potencial energético apenas considerado os resíduos deixado nas florestas, provenientes das florestas exploradas para fins de celulose e de carvão vegetal no Brasil., é da ordem de 5,5 milhões de toneladas o equivalente a 2,03 milhões de toneladas de óleo cru, que representa 4 a 5 por cento da produção estimada brasileira de petróleo (IPT, 1978).

No passado as principais barreiras para o uso de resíduos exploração de uma eram os custo da coleta, transporte e dificuldade no manuseio do material. Os problema associados com os detritos imprestáveis (desfazer) poderiam ser resolvidos se esses atingissem uma alta condição como importante fonte de biomassa para produção de energia. Com o desenvolvimento de novos picadores que utilizam integralmente as árvores no local da exploração tornase economicamente eficiente a utilização das pontas, galhos e pequenas árvores. Entretanto, Zivnaska (1974) demonstra "Resíduos nunca representam uma fonte de

madeira de baixo custo para a indústria, ao contrário o uso dos resíduos representa uma resposta ao alto custo da madeira". Assim o alto custo da madeira aumenta a quantidade disponível para o uso que também aumentará: os resíduos de floresta tornando-se componente do suprimento de madeira.

### PROCESSO DA BIOMASSA

#### Gaseificação

A gaseificação é um processo termoquímico de pirólise ou hidro-gaseificação no qual se utiliza matérias primas na forma de serragem, aparas e pedaços de madeira e meio adequado a gaseificar com ar, oxigênio e vapor d'água. O produto obtido é um gás com pequeno poder calorífico, o qual é uma mistura de dióxido de carbono, nitrogênio e água. Seu valor em termos de energia é de 1335 Kcal por metro cúbico de material seco (FPJ, 1976). Um gás intermediário pode ser produzido quando oxigênio é usado como gaseificador, esse gás tem um poder calorífico similar ao gás natural. 2670 Kcal por metro cúbico de material seco. Esse gás possui 90 por cento de metano por volume.

Os diferentes tipos de reatores usados na gaseificação são leito fixo, leito móvel e leito fluidizado. A matéria prima é sujeita a um fluxo de gás aquecido logo que passa por um leito de carvão aquecido. No sistema de leito fluidizado a agitação constante resulta em uma transferência de energia para os gases.

Num estudo de comparação da taxa de despreendimento e calor na gaseificação comparado a caldeira Liu e Sernius encontraram que as taxas eram similares. Na gaseificação as taxas de calor despreendido é em torno de 4451900 Kcal por metro cúbico comparado com a caldeira onde a taxa é em torno de 4.451.900 à 3.114.10 Kcal por metro cúbico. O baixo capital de investimento dos gaseificadores podem permitir que se tornem a principal fonte de energia dentro da indústria florestal. O custo do transporte dos produtos da gaseificação limita sua contribuição em larga escala no orçamento nacional de energia.

### Produção de álcool de madeira

1. **Metanol.** Dos quatro combustíveis líquidos; metanol, etanol, isobutanol e acetona, o que podemos produzir a partir madeira são o metanol e o etanol que serão brevemente discutidos. Seus valores caloríficos são relativamente menor do que o da gasolina e do óleo cru como mostra a tabela IV.

O metanol é produzido a partir da madeira pela destilação seca. O álcool é derivado dos grupos metoxil da hemiceluloses e da lignina, onde a maioria provem da lignina e os quais são de difícil separação, e a produção de metoxil é somente de 10 por cento. A produção potencial apresentada por Marshall, Petrick e Chan (MARSHALL, 1975) é de 80 à 105 toneladas por tonelada de matéria prima ou de resíduos de madeira, assumindo que o processo inclui a gaseificação necessária para quebrar as ligações da lignina. eles concluíram que a produção é somente de 225 à 305 litros por metro cúbico de madeira, uma vez que a energia utilizada na parte da gaseificação já foi incluída.

TABELA IV - Conteúdo de Energia nos Combustíveis líquidos .

	Kcal/l
Metanol	4.900
Etanol	6.100
Gasolina	9.500
Óleo cru	8.700

Fonte: Canadian Forestry service Information Report E-X-25, February, 1975, p. 18.

O potencial de produção anual de metano de 12 milhões de toneladas de resíduos de madeira beneficiada no Brasil é da ordem de 100.000 toneladas por ano.

2. **Etanol.** O poder calorífico do etanol é dado na tabela IV,

A hidrólise da celulose produz açúcares de cinco carbono na cadeia, tal como a glucose, que podem ser convertida em etanol por fermentação. Os processos que são comumente usados, são de "Bergius" que utiliza o ácido hipoclorico e o de "Scholler" que utiliza o ácido sulfurico ou sulfuroso nos estágios da hidrólise. A energia consumida durante a hidrólise ácida, faz com que processo fique economicamente inviável. Devido a este fato os cientistas desenvolveram um novo processo que utiliza enzimas produzida por fungo (*Trichoderma viride*) para hidrolisar a celulose.

Os fermentos usados no processo de fermentação são capazes de digerir somente as açúcares de cinco carbonos na cadeia, como a glucose. As madeiras duras contêm grande quantidade de açúcares não fermentáveis, isto faz com que estas espécies produzam menos da metade do que podem produzir as madeiras mole (MARSHALL, 1975).

A COALBRA - Coque e Álcool da Madeira do Brasil S/A que esta se instalando em Uberlândia, MG., que deverá começar a produção no segundo semestre deste ano de etanol a partir de plantações de

*Eucalyptos* spp.. A meta inicial será a produção de 100.000 litros por dia de etanol.

A potencial produção brasileira da mistura de metanol-etanol é da ordem de 500.000 t/ano.

### VIABILIDADE TÉCNICA

Uma das dificuldades técnicas do uso de resíduos de madeira devido ao seu grande volume (resíduos). Um dado volume de madeira tem menor poder calorífico do que o mesmo volume de carvão mineral ou petróleo. Se uma indústria deseja converter seu sistema de óleo combustível para combustível de madeira terá que encontrar maneira para aumentar a eficiência da caldeira e/ou a capacidade do forno. Os principais aperfeiçoamentos técnicos deveram seguir a direção do menor custo de coleta, transporte e da conversão dos resíduos de madeira à combustível. A possibilidade de desenvolver árvores híbridas para obter mais energia armazenada na madeira, com isso pode aumentar o poder calorífico. Carros movidos a álcool de madeira necessitam de tanques maiores e que os motores a combustão tenham melhores eficiências. O desenvolvimento de picadores móveis que possam usar resíduos da exploração florestal na própria floresta como combustível. Isto seria uma solução viável para resolver o problema de dar utilização aos pequenos detritos deixado na floresta após a exploração florestal.

O fator limitante da produção de álcool hoje em dia é alto custo do processo de conversão. O crescente aumento do petróleo torna os combustíveis de álcool atrativo e com avanço da tecnologia poderíamos diminuir os custos de produção. Por exemplo, se conseguíssemos utilizar uma grande proporção dos grupos metoxil da celulose e lignina, ao invés dos atuais 10 por cento, mais álcool poderiam ser produzido de uma mesma quantidade de madeira. Também existe a potencial possibilidade de aumentar a produção através do desenvolvimento do uso de micro-organismos na fermentação ou hidrólise enzimática.

Além disso, melhorias poderiam ocorrer nas turbinas movidas à gás com combustíveis

sólidos, especialmente com respeito a combustão de resíduos de madeira.

Entretanto, a tecnologia não é o principal fator que limita o uso da biomassa florestal como energia. Zivnuska (ZIVNUSKA, 1974) relata "O uso dos resíduos de madeira para energia é tecnicamente possível, mas não é sempre possível economicamente.

### VIABILIDADE ECONÔMICA

O custo dos resíduos madeireiro e seu valor como uma fonte de energia é influenciado por (a) a oportunidade do preço para usa-lo como combustível ao em vez de usa-lo como fibra, e (b) o preço das fontes alternativas de energia.

Uma discussão sobre o valor dos resíduos deixado na floresta, Zivnuska sugere que eles sejam utilizados se a demanda for realmente grande para o suprimento. Segundo Zivnuska, "...o aumento no sucesso da utilização dos resíduos será uma medida da falha dos outros programas de fornecimento de madeira" (ZIVNUSKA, 1974).

Em sua análise de custo, Marshall *et. al.* concluiu que o preço dos resíduos de madeira com base em Kcal é um pouco menor do que o preço do óleo cru, que era em 1975 de 9 centavos por litro. Comparado com o preço da gasolina comum o preço do álcool combustível era 25 a 30 por cento menor por litro, 20 a 40 por cento maior com base em Kcal.

O capital de investimento em equipamento é estimado não ser alto comparado com o requerido para construção e operação de uma refinaria de petróleo, contudo não seria possível construir grandes planta de processamento para produção de álcool devido ao custo do transporte dos resíduos para unidade de processamento. O real uso da madeira como fonte e energia ; na geração de energia para ser usada na próprias indústrias de produtos florestais e de exploração florestal

Os preços da gasolina e óleo aumentaram mais do que seis vezes o preço de 1970 (MARSHALL, 1975). Se o preço continuar aumentando, os resíduos de madeira podem tornar-se economicamente viável como combustível. Se previamente os resíduos não tinham valor, o combustível produzido por eles

poderia se tornar competitivo especialmente se a colheita dos resíduos fosse sincronizada com o corte da floresta, o beneficiamento da madeira e as práticas silviculturais, tais como desbaste.

## RESULTADO SOBRE FUTURAS PRÁTICA DE MANEJO

### Uso Integral da Árvore

O material extra que se pode ganhar quando é utilizado a árvore integralmente, é ilustrado por um estudo de picagem da árvore integralmente em Louisiana nos Estados Unidos em 1970 - (MARSHALL, 1975). Tufts demonstra que a produção de cavacos foi quase duas vezes o volume do material inventariado. A utilização integral da árvore também representa uma economia nos custos da limpeza dos pequenos detritos e nos tratamentos de preparação do terreno.

Como resultado do aperfeiçoamento na tecnologia das máquinas de picagem, as quais podem ser alimentadas com árvores de pequenos diâmetros, diminuí as fases de trabalho intensivo como derrubada e desgalhamento.

Algumas desvantagens podem impedir a prática em larga escala de exploração integral da árvore. O efeito sobre a reciclagem de nutrientes necessitaria de um completo estudo para impedir a possibilidade do declínio produtivo do solo. Outros problemas de interesse do habitat da vida silvestre, erosão do solo e ciclo hidrológico devem ser levadas cuidadosamente em consideração num plano de manejo a qual inclui a utilização integral da árvore.

### Plantações de Crescimento rápido

A perspectiva do estabelecimento de "plantações energética" para o propósito de produção de madeira para combustível líquido não parece ser viável no presente em alguns países sem grandes dependências do petróleo.

A viabilidade de plantações de crescimento

rápido tem recebido grande atenção no Brasil. Empresas ligadas à siderurgia já estão utilizando esta técnica de formação de florestas, para produção de carvão, um exemplo é a Acesita. O Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestais tem procurado incentivar as empresas brasileiras a utilizar espécies de rápido crescimento com dois gêneros, *Eucalyptus* e *Pinus* para formação de florestas energéticas.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- APFPC Anuário Estatístico dos Fabricantes de Papel e Celulose. São Paulo, 1977.
- Curtis, F.B., Jr., "How to Calculate Wood Fuel Values", *Forest Industries*, (1976), 103, (13), pp. 4445.
- Earl, D., "A Renewable Source of Fuel", *Unasylva*, (1975), 27, (110), p.24.
- Energy FPJ, Conservation in the Wood Industry by Use of Wood Residues as Fuel, *Forest Products Journal*, 1976, 26, (9), p33, P58..
- Grant, R., "Fibre, Fuel or Both?", *Pulp and Paper International*, (1977), 19, (1), p.51.
- Grantham, J. and T. Ellis, "Potentials of Wood for Producing Energy", *Journal of Forestry*, Sept. 1974, p. 555.
- Grantham, Ellis, "Potentials of Wood for Producing Ener.", *Journal of Forestry*, Sept. 1974, p. 555.
- Harder, Einspahr, "Bark Fuel Value of Important Pulpwood Species", *Tappi*, (1976), 59, (7), p. 132.
- IPT - São Paulo - Floresta Plantada como Fonte de Energia e Matéria Prima para a Indústria Química. Brasil Madeira - Maio de 1978.
- Marshall, Petrick, Chan, A Look at the Economic Feasibility of Converting Wood into Liquid Fuel, *Can. For. Serv. Information report EX25*, 1975, p.14.
- Tufts, D.M., Whole Tree Chipping, *Tappi*, (1976), 59, (7), pp. 60-62.
- Zivnuska, The Role of Logging Residues in the Industrial Wood Supply. *Journal of Forestry*, 1974, Oct., p.644.