

IPEF, n.25, p.41-44, 1983

Estimativa de preço máximo de madeira para substituição de óleo combustível

JOSÉ OTÁVIO BRITO
ESALQ-USP, Depto. de Silvicultura
13.400 - Piracicaba - SP

JOLDES M. FERREIRA
ESALQ-USP, Depto. de Silvicultura
13.400 - Piracicaba - SP

LUIZ E. G. BARRICHELO
ESALQ-USP, Depto. de Silvicultura
13.400 - Piracicaba - SP

LUIS E. ARANHA CAMARGO
Aluno do curso de Engenharia Florestal - ESALQ/USP

RESUMO - Este trabalho apresenta resultados teóricos para o preço de madeira visando uso energético. Foram realizados cálculos comparativos entre a madeira a vários teores de umidade, densidade básica e poder calorífero com o óleo combustível.

O preço médio de madeira no Estado de São Paulo (outubro - 1983) era de Cr\$ 7.000,00/m³ para usos genéricos. Para propósito energético, segundo este trabalho, o preço de madeira poderá chegar a Cr\$ 19.760,00/m³ para que o seu uso ainda seja economicamente viável.

ABSTRACT - This paper presents theoretical results of wood price to energy utilization. It was made comparative calculus between wood at several conditions of use and the fuel oil.

In the State of São Paulo the price of wood (October - 1983) was US\$ 9,00/m³ for general use. For energy purpose, this paper shows that the wood price can arrive around US\$ 24,70/m³ and the wood utilization will still be economical.

OBJETIVO

A opção pelo uso da madeira para fins energéticos no Brasil é uma realidade inquestionável. Há razões de sobra descritas na literatura especializada que permitem concluir das viabilidades técnicas, econômicas e estratégicas dessa utilização.

O presente trabalho buscou, através da interação de vários fatores, apresentar os valores máximos que o preço da madeira pode atingir para que haja o ponto de equilíbrio econômico na substituição do óleo combustível. Tais valores são apresentados para várias condições de umidade e densidade da madeira.

METODOLOGIA DE CÁLCULO

Para efeito de cálculo foram fixados os seguintes parâmetros:

- Poder calorífico superior da madeira a 0% de umidade = 4200 kcal/kg;
- Poder calorífico inferior da madeira a 0% umidade = 3876 kcal/kg;
- Poder calorífico superior do óleo combustível = 10 Mcal/Kg;
- Densidades básicas da madeira = 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60 e 0,65 t/m³;
- Retração volumétrica da madeira em função da perda de umidade:

% U	% Retração
30	0
25	2
20	4
15	5
10	8
5	11
0	15

Os seguintes cálculos foram efetuados para se chegar aos valores apresentados nas tabelas de preço da madeira:

a) Cálculo da densidade atual:

$$d_{at} = \frac{m_{H_2O} - m_M}{V - R} \quad \text{onde}$$

d_{at} - densidade atual da madeira a uma certa umidade (kg/m³).

m_{H_2O} - massa de água contida em 1 m³ de madeira sólida (kg).

m_M - massa de madeira contida em 1 m³ de madeira sólida (kg).

V - volume de 1 m³ de madeira sólida.

R - volume de madeira retraída em função da percentagem de retração volumétrica (só ocorre quando a madeira tiver teor de umidade < 30%) (m³).

b) Cálculo do poder calorífico líquido em peso:

$$P.C.P._{(U)} = P.C.I._{(U=0\%)} \times \frac{100 - \%U}{100} - 6 \times U$$

$P.C.P._{(U)}$ - poder calorífico líquido em peso da madeira na umidade (U) considerada (kcal/kg).

$P.C.I._{(U=0\%)}$ - poder calorífico inferior a 0% de umidade (kcal/kg).

U - umidade considerada (%)

c) Cálculo do poder calorífico líquido em volume

$$P.C.V.(U) - P.C.P.(U) \times d_{at} \div 1000$$

onde

P.C.V.(U) - poder calorífico líquido em volume na unidade (U) considerada (Mcal/m³).
P.C.P.(U) - poder calorífico líquido em peso na unidade (U) considerada (kcal/kg).
Dat - densidade atual da madeira na unidade (U) considerada (kg/m³).

Obs. Todos os teores de umidade são em base úmida.

d) Cálculo da quantidade de óleo combustível substituído por m³ de madeira:

$$Q_s = \frac{P.C.V.(U)}{P.C.S.\text{óleo}} \quad \text{onde}$$

Q_s - quantidade de óleo combustível substituída pela madeira (kg/m³).
P.C.V.(U) - poder calorífico líquido em volume na unidade considerada (Mcal/m³).
P.C.S._{óleo} - poder calorífico superior do óleo combustível (Mcal/kg).

e) Cálculo do preço máximo a ser pago pelo m³ de madeira:

$$PM = Q_s \times P_{\text{óleo}} \quad \text{onde}$$

PM - preço máximo a ser pago pelo m³ de madeira (Cr\$/m³).
Q_s - quantidade de óleo substituído pela madeira (kg/m³).
P_{óleo} - preço do óleo combustível (Cr\$/kg).

Nas condições do Estado de São Paulo, a madeira de eucalipto que chega à indústria apresenta, em média, um teor de umidade que varia entre 30 e 40% e uma densidade básica em tomo de 0,50 t/m³. Considerando-se que, em outubro de 1983, o preço do óleo combustível era cerca de Cr\$ 120.000,00/t, verifica-se que o preço máximo a ser pago pela madeira variava entre Cr\$ 17.500,00 a Cr\$ 19.752,00/m³. É útil lembrar que, na mesma época, o preço médio pago pela madeira de eucalipto colocada na fábrica, era, no Estado de São Paulo, de Cr\$ 5.000,00/st Ou Cr\$ 7.000,00/m³.

É importante enfatizar que a análise aqui desenvolvida compara madeira e óleo combustível em termos de rendimento térmico teórico, tal fato tem importância secundária no presente trabalho, onde o objetivo é essencialmente metodológico. Cumpre ressaltar, porém, que, em situações reais, a comparação relevante de preços deve ser feita com base nos rendimentos térmicos reais, ou seja, deve ser expressa em termos de preço por unidade de energia térmica utilizável. A energia útil dependerá não só do poder calorífico desses materiais, mas também da eficiência técnica de cada processo.

Também não são discutidas, aqui, eventuais diferenças entre os dois combustíveis com respeito a custos de armazenamento e manipulação dos mesmos no local de uso final.

Essas limitações do estudo deverão ser superadas em análises futuras, que comparem preços de madeira e óleo combustível para as condições tecnológicas médias na indústria brasileira.

Tabela 1: Estimativa do preço máximo em cruzeiros a ser pago pelo metro cúbico de madeira com densidade básica equivalente a 0,40 t/m³.

Madeira				Qs	Preço do óleo combustível (Cr\$/kg)								
%U	dat	P.C.P.	P.C.V.		100	110	120	130	140	150	160	180	200
60	1,000	1190	1190	119	11900	13090	14280	15470	16660	17850	19040	21420	23800
55	0,887	1414	1254,2	125,4	1,2540	13794	15048	16302	17556	18810	20064	22572	25080
50	0,800	1638	1310,4	131,0	13100	14410	15720	17030	18340	19650	20960	23580	26200
45	0,727	1862	1353,7	135,4	13540	14894	16248	17602	18956	20310	21664	24372	27080
40	0,667	2086	1391,4	139,1	13910	15301	16692	18083	19474	20865	22256	25038	27820
35	0,615	2309	1420,1	142,0	14200	15620	17040	18460	19880	21300	22720	25560	28400
30	0,571	2533	1446,3	144,6	14460	15906	17352	18798	20244	21690	23136	26028	28920
25	0,667	2757	1838,9	183,9	18390	20229	22068	23907	25746	27585	29424	33102	36780
%U - percentagem de umidade base úmida dat - densidade atual (t/m ³) P.C.P. - poder calorífico em peso (kcal/kg) P.C.V. - poder calorífico em volume (Mcal/m ³) Qs - quantidade de óleo combustível substituído (kg/m ³)													

Tabela 2: Estimativa do preço máximo em cruzeiros a ser pago pelo metro cúbico de madeira com densidade básica equivalente a 0,45 t/m³.

Madeira				Qs	Preço do óleo combustível (Cr\$/kg)								
%U	dat	P.C.P.	P.C.V.		100	110	120	130	140	150	160	180	200
55	1,000	1414	1414	141,4	14140	15554	16968	18382	19796	21210	22624	25452	28280
50	0,900	1638	1474,2	147,4	14740	16214	17688	19162	20636	22110	23584	26532	29480
45	0,818	1862	1523,1	152,3	15230	16753	18276	19799	21322	22845	24368	27414	30460
40	0,750	2086	1564,5	156,4	15640	17204	18768	20332	21896	23460	25024	28152	31280
35	0,692	2309	1597,8	159,8	15980	17578	19176	20774	22372	23970	25568	28764	31960
30	0,643	2533	1638,7	162,9	16290	17919	19548	21177	22806	24435	26064	29322	32580
25	0,750	2757	2067,7	206,8	20680	22748	24816	26884	28952	31020	33088	37224	41360

%U - percentagem de umidade base úmida
dat - densidade atual (t/m³)
P.C.P. - poder calorífico em peso (kcal/kg)
P.C.V. - poder calorífico em volume (Mcal/m³)
Qs - quantidade de óleo combustível substituído (kg/m³)

Tabela 3: Estimativa do preço máximo em cruzeiros a ser pago pelo metro cúbico de madeira com densidade básica equivalente a 0,50 t/m³.

Madeira				Qs	Preço do óleo combustível (Cr\$/kg)							
%U	dat	P.C.P.	P.C.V.		100	120	130	140	150	160	180	200
50	1,000	1638	1638,0	163,8	16380	19656	21294	22932	24570	26208	29484	32760
45	0,909	1862	1692,6	169,3	16930	20316	22009	23702	25395	27088	30474	33860
40	0,833	2086	1737,6	173,8	17380	20856	22594	24332	26070	27808	31284	34760
35	0,769	2309	1775,6	177,6	17760	21312	23088	24864	26640	28416	31968	35520
30	0,714	2533	1808,6	180,9	18090	21708	23517	25326	27135	28944	32562	36180
25	0,833	2757	2296,6	229,7	22970	27970	29861	32158	34455	36752	41346	45940

%U - percentagem de umidade base úmida
 dat - densidade atual (t/m³)
 P.C.P. - poder calorífico em peso (kcal/kg)
 P.C.V. - poder calorífico em volume (Mcal/m³)
 Qs - quantidade de óleo combustível substituído (kg/m³)

Tabela 4: Estimativa do preço máximo em cruzeiros a ser pago pelo metro cúbico de madeira com densidade básica equivalente a 0,55 t/m³.

Madeira				Qs	Preço do óleo combustível (Cr\$/kg)								
%U	dat	P.C.P.	P.C.V.		100	110	120	130	140	150	160	180	200
45	1,000	1862	1862	186,2	18620	20482	22344	24206	26068	27930	29792	33516	37240
40	0,917	2086	1912,9	191,3	19130	21043	22956	24869	26782	28695	30608	34434	38260
35	0,846	2309	1953,4	195,3	19530	21483	23436	25389	27342	29295	31248	35154	39060
30	0,786	2533	1990,9	199,1	19910	21901	23892	25883	27874	29865	31856	35838	39820
25	0,917	2757	2528,2	252,8	25280	27808	30336	32864	35392	37920	40448	45504	50560
%U - percentagem de umidade base úmida d _{at} - densidade atual (t/m ³) P.C.P. - poder calorífico em peso (kcal/kg) P.C.V. - poder calorífico em volume (Mcal/m ³) Q _s - quantidade de óleo combustível substituído (kg/m ³)													

Tabela 5: Estimativa do preço máximo em cruzeiros a ser pago pelo metro cúbico de madeira com densidade básica equivalente a 0,60 t/m³.

Madeira				Qs	Preço do óleo combustível (Cr\$/kg)								
%U	dat	P.C.P.	P.C.V.		100	110	120	130	140	150	160	180	200
40	1,000	2086	2086	208,6	20860	22946	25032	27118	29204	31290	33376	37548	41720
35	0,923	2309	2131,2	213,1	21310	23441	25572	27703	29834	31965	34096	38358	42620
30	0,857	2533	2170,8	217,1	21710	23881	26052	28223	30394	32565	34736	39078	43420
25	1,000	2757	2757	275,7	27570	30327	33084	35841	38598	41355	44112	49626	55140

%U - percentagem de umidade base úmida
d_{at} - densidade atual (t/m³)
P.C.P. - poder calorífico em peso (kcal/kg)
P.C.V. - poder calorífico em volume (Mcal/m³)
Q_s - quantidade de óleo combustível substituído (kg/m³)

Tabela 6: Estimativa do preço máximo em cruzeiros a ser pago pelo metro cúbico de madeira com densidade básica equivalente a 0,65 t/m³.

Madeira				Qs	Preço do óleo combustível (Cr\$/kg)								
%U	dat	P.C.P.	P.C.V.		100	110	120	130	140	150	160	180	200
35	1,000	2309	2309	230,9	23090	25399	22708	30017	32326	34635	36944	41562	46180
30	0,929	2533	2553,2	235,3	23530	25883	28236	30589	32942	35295	37648	42354	47060
25	1,083	2757	2985,8	298,6	29860	32846	35832	38818	41804	43790	47776	53748	59720

%U - percentagem de umidade base úmida
d_{at} - densidade atual (t/m³)
P.C.P. - poder calorífico em peso (kcal/kg)
P.C.V. - poder calorífico em volume (Mcal/m³)
Q_s - quantidade de óleo combustível substituído (kg/m³)