



IPEF: FILOSOFIA DE TRABALHO DE UMA ELITE DE EMPRESAS FLORESTAIS BRASILEIRAS

ISSN 0100-3453

CIRCULAR TÉCNICA Nº 79

NOVEMBRO/79

PBP/3.1.8

ESTIMATIVAS ENERGÉTICAS PARA POVOAMENTOS FLORESTAIS

José Otávio Brito*
Antonio José Migliorini**
Luiz E. G. Barrichelo*

1. INTRODUÇÃO

Diversos projetos específicos sobre “Plantações Fitoenergéticas” estão sendo desenvolvidos atualmente, buscando uma solução racional do uso da madeira como fonte energética.

No planejamento dessas plantações, visando o abastecimento de madeira para uso energético, uma série de fatores devem ser levados em consideração, segundo *BRITO & BARRICHELO (1978)*.

Os cálculos referentes às necessidades de madeira para abastecimento energético então entre as primeiras providências a serem tomadas.

O conhecimento prévio da densidade básica da madeira, de umidade, do poder calorífico da madeira, e da produtividade média do povoamento permitem estimar, com relativa precisão, a quantidade de energia por área plantada.

O poder calorífico inferior (P.C.i) da madeira obedece aproximadamente à fórmula abaixo, segundo *KROGH (1979)*:

$$P.C.i = 4590 - 51,9 \times U$$

* Professores do Departamento de Silvicultura – ESALQ/USP – Setor de Química, Celulose e Energia.

** Engº Ftal. – IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS.

Associando-se a fórmula anterior à produtividade do povoamento e à densidade básica da madeira, pode-se chegar à fórmula abaixo, que dá a produtividade energética em Gcal*/hectare/ano:

$$Y = 700. p . d (4590 - 51,9 . U), \text{ onde:}$$

Y = produtividade energética (Gcal/hectare/ano)

P = produtividade (estéreos de madeira/hectare/ano)

d = densidade básica (toneladas/metro cúbico)

U = umidade (%)

A aplicação dessa fórmula para diferentes valores de umidade, densidade básica da madeira e produtividade florestal resulta nos valores de produtividade energética mostrados nas tabelas fornecidas a seguir.

Tabela 1. Produtividade energética para madeira com 20% de umidade (Gcal/ha/ano)

Umidade*	20									
Produtividade**	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Densidade***										
0,30	7,46	14,92	22,38	29,84	37,30	44,75	52,21	59,67	67,13	74,60
0,35	8,70	17,40	26,11	34,81	43,51	52,21	61,00	69,62	78,32	87,02
0,40	9,95	19,90	29,84	39,78	49,73	59,67	69,62	79,56	89,51	99,46
0,45	11,19	22,38	33,57	44,75	55,94	67,13	78,32	89,51	100,70	111,89
0,50	12,43	24,86	37,30	49,73	62,16	74,59	87,02	99,46	111,89	124,34
0,55	13,67	27,35	41,02	54,70	68,38	82,50	95,73	109,40	123,08	136,75
0,60	14,92	29,84	44,75	59,67	74,59	89,51	104,43	119,35	134,26	149,18
0,65	16,16	32,32	48,48	64,65	80,81	96,97	113,13	129,29	145,45	161,62
0,70	17,40	34,81	52,21	69,62	87,02	104,43	121,83	139,24	156,64	174,05
0,75	18,65	37,30	55,94	74,59	93,24	118,89	130,54	149,18	167,83	186,48
0,80	19,90	39,78	59,67	79,56	99,46	119,35	139,24	159,13	179,02	198,91
0,85	21,13	42,27	63,40	84,54	105,67	126,81	147,94	169,07	190,21	211,34
0,90	22,38	44,75	67,13	89,51	111,89	134,26	156,64	179,02	201,40	223,78
0,95	23,61	47,24	70,86	94,48	118,10	141,72	165,35	188,97	212,59	236,21
1,00	24,86	49,73	74,59	99,46	124,32	149,18	174,05	198,91	223,78	248,64

* em percentagem

** em st/ha/ano

*** em t/m³

* Gcal – cal x 10⁹

Tabela 2. Produtividade energética para madeira com 25% de umidade (Gcal/ha/ano)

Umidade*	25									
Produtividade**	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Densidade***										
0,30	6,91	13,83	20,74	27,66	34,57	41,48	48,40	55,31	62,23	69,14
0,35	8,07	16,13	24,20	32,37	40,33	48,40	56,47	64,53	72,60	80,67
0,40	9,22	18,44	27,66	36,88	46,09	55,31	64,53	73,75	82,97	92,19
0,45	10,37	20,74	31,11	41,48	51,86	62,22	72,60	82,97	93,34	103,71
0,50	11,52	23,05	30,57	46,09	57,62	69,14	80,67	92,19	103,71	115,24
0,55	12,68	25,35	38,03	50,70	63,38	76,06	88,73	101,41	114,08	126,76
0,60	13,83	27,66	41,48	55,31	69,14	82,97	96,80	110,63	124,46	138,28
0,65	14,98	29,96	44,94	59,92	74,90	89,88	104,87	119,85	134,83	149,81
0,70	16,13	32,27	48,40	64,53	80,67	96,80	112,93	129,07	145,20	161,33
0,75	17,28	34,57	51,86	69,14	86,43	103,71	121,00	138,28	155,57	172,86
0,80	18,44	36,88	55,31	73,75	92,19	110,63	129,07	147,50	165,94	184,38
0,85	19,59	39,18	58,77	78,36	97,95	117,54	137,13	156,72	176,31	195,90
0,90	20,74	41,48	62,23	82,97	103,71	124,46	145,19	165,94	186,68	207,43
0,95	21,89	43,79	65,68	87,58	109,47	131,37	153,26	175,16	197,06	218,95
1,00	23,05	46,09	69,14	92,19	115,24	138,28	161,33	184,38	207,43	230,47

* em percentagem

** em st/ha/ano

*** em t/m³

Tabela 3. Produtividade energética para madeira com 30% de umidade (Gcal/ha/ano)

Umidade*	30									
Produtividade**	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Densidade***										
0,30	6,37	12,74	19,11	25,48	31,85	38,22	44,58	50,95	57,32	63,69
0,35	7,43	14,86	22,29	29,72	37,15	44,58	52,02	59,45	66,88	74,31
0,40	8,49	16,98	25,48	33,97	42,46	50,95	59,45	67,94	76,43	84,92
0,45	9,55	19,11	28,66	38,21	47,77	57,32	66,88	76,43	85,98	95,54
0,50	10,61	21,23	31,85	42,46	53,08	63,70	74,31	84,92	95,54	106,15
0,55	11,68	23,35	35,03	46,71	58,38	70,06	81,74	93,42	105,09	116,77
0,60	12,74	25,48	38,22	50,95	63,69	76,43	89,17	101,91	114,65	127,39
0,65	13,80	27,60	41,40	55,20	69,00	82,80	96,60	110,40	124,20	138,00
0,70	14,86	29,72	44,58	59,45	74,31	89,17	104,03	118,90	133,75	148,62
0,75	15,92	31,85	47,77	63,69	79,62	95,54	111,46	127,39	143,31	159,23
0,80	16,98	33,97	50,95	67,94	84,92	101,91	118,89	135,88	152,86	169,85
0,85	18,05	36,09	54,14	72,18	90,23	108,28	126,32	144,37	162,42	180,46
0,90	19,11	38,21	57,32	76,43	95,54	114,65	133,75	152,86	171,97	191,08
0,95	20,17	40,34	60,51	80,68	100,85	121,02	141,19	161,35	181,52	201,69
1,00	21,23	42,46	63,69	84,92	106,15	127,39	148,62	169,85	191,08	212,31

* em percentagem

** em st/ha/ano

*** em t/m³

Tabela 4. Produtividade energética para madeira com 35% de umidade (Gcal/ha/ano)

Umidade*	35									
Produtividade**	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Densidade***										
0,30	5,82	11,65	17,47	23,30	29,12	34,95	40,77	46,59	52,42	58,24
0,35	6,79	13,59	20,38	27,18	33,97	40,77	47,56	54,36	61,15	67,95
0,40	7,76	15,53	23,30	31,06	38,83	46,59	54,36	62,13	69,89	77,66
0,45	8,74	17,47	26,21	34,95	43,68	52,42	61,16	69,89	78,63	87,36
0,50	9,71	19,40	29,12	38,83	48,54	58,24	67,95	77,66	87,36	97,07
0,55	10,68	21,35	32,03	42,71	53,39	64,07	74,74	85,42	96,10	106,78
0,60	11,65	23,30	34,95	46,59	58,24	69,89	81,54	93,19	104,84	116,49
0,65	12,62	25,24	37,86	50,48	63,10	75,72	88,34	100,95	113,57	126,19
0,70	13,59	27,18	40,77	54,36	67,95	81,54	95,13	108,72	122,31	135,90
0,75	14,56	29,12	43,68	58,24	72,80	87,36	101,93	116,49	131,05	145,61
0,80	15,53	31,06	46,59	62,13	77,66	93,19	108,72	125,25	139,78	155,32
0,85	16,50	33,00	49,51	66,01	82,51	99,01	115,52	132,02	148,52	165,02
0,90	17,47	34,95	52,42	69,89	87,36	104,84	122,31	139,78	157,26	174,73
0,95	18,44	36,89	55,33	73,77	92,22	110,66	129,11	147,55	165,99	184,44
1,00	19,41	38,83	58,24	77,66	97,07	116,49	135,90	155,32	174,73	194,14

* em percentagem

** em st/ha/ano

*** em t/m³

Tabela 5. Produtividade energética para madeira com 40% de umidade (Gcal/ha/ano)

Umidade*	40									
Produtividade**	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Densidade***										
0,30	5,28	10,56	15,84	21,12	26,40	31,68	36,95	42,23	47,51	52,79
0,35	6,16	12,32	18,48	24,64	30,80	36,95	43,11	49,27	55,43	61,59
0,40	7,04	14,08	21,12	28,16	35,20	42,23	49,27	56,31	63,35	70,39
0,45	7,92	15,84	23,76	31,68	39,59	47,51	55,43	63,35	71,27	79,19
0,50	8,80	17,60	26,40	35,20	44,00	52,80	61,60	70,40	79,20	88,00
0,55	9,68	19,36	29,04	38,71	48,40	58,07	67,75	77,43	87,11	96,79
0,60	10,56	21,12	31,68	42,23	52,79	63,35	73,91	84,47	95,03	105,59
0,65	11,44	22,88	34,32	45,75	57,19	68,63	80,07	91,51	102,95	114,39
0,70	12,32	24,64	36,95	49,27	61,59	73,91	86,23	98,55	110,87	123,19
0,75	13,20	26,40	39,59	52,79	65,99	79,19	92,39	105,59	118,79	131,98
0,80	14,08	28,16	42,23	56,31	70,39	84,47	98,55	112,63	126,70	140,78
0,85	14,96	29,92	44,87	59,83	74,79	89,75	104,71	119,67	134,62	149,58
0,90	15,84	31,68	47,51	63,35	79,19	95,03	110,87	126,70	142,54	158,38
0,95	16,72	33,44	50,15	66,87	83,59	100,31	117,03	133,74	150,46	167,18
1,00	17,60	35,20	52,79	70,39	88,00	105,59	123,19	140,78	158,38	175,98

* em percentagem

** em st/ha/ano

*** em t/m³

Tabela 6. Produtividade energética para madeira com 45% de umidade (Gcal/ha/ano)

Umidade*	45									
Produtividade**	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Densidade***										
0,30	4,73	9,47	14,20	18,94	23,67	28,41	33,14	37,87	42,61	47,34
0,35	5,52	11,05	16,57	22,09	27,62	33,14	38,66	44,19	49,71	55,23
0,40	6,31	12,62	18,94	25,25	31,56	37,87	44,19	50,50	56,81	63,13
0,45	7,10	14,20	21,30	28,41	35,50	42,61	49,71	56,81	63,91	71,02
0,50	7,89	15,78	23,67	31,56	39,45	47,34	55,23	63,13	71,02	78,91
0,55	8,68	17,36	26,04	34,72	43,40	52,08	60,76	69,44	78,12	86,80
0,60	9,47	18,94	28,41	37,87	47,34	56,81	66,28	75,75	85,22	94,69
0,65	10,26	20,52	30,77	41,03	51,29	61,55	71,80	82,06	92,31	102,58
0,70	11,05	22,09	33,14	44,19	55,23	66,28	77,33	88,38	99,42	110,47
0,75	11,84	23,67	35,51	47,34	59,18	71,02	82,85	94,69	106,52	118,36
0,80	12,62	25,25	37,87	50,50	63,13	75,75	88,38	101,00	113,63	126,25
0,85	13,41	26,83	40,24	53,66	67,07	80,48	93,90	107,31	120,73	134,14
0,90	14,20	28,41	42,61	56,81	71,02	85,22	99,42	113,63	127,83	142,03
0,95	15,00	29,98	44,98	59,97	74,96	89,95	104,95	119,94	134,93	149,92
1,00	15,78	31,56	47,34	63,13	78,91	94,69	110,47	126,25	142,03	157,81

* em percentagem

** em st/ha/ano

*** em t/m³

Tabela 7. Produtividade energética para madeira com 50% de umidade (Gcal/ha/ano)

Umidade*	50									
Produtividade**	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Densidade***										
0,30	4,19	8,38	12,57	16,76	20,95	25,14	29,33	33,52	37,70	41,89
0,35	4,89	9,77	14,66	19,55	24,44	29,33	34,21	39,10	43,99	48,88
0,40	5,59	11,17	16,76	22,34	27,93	33,52	39,10	44,69	50,27	55,86
0,45	6,28	12,57	18,85	25,14	31,42	37,70	43,99	50,27	56,56	62,84
0,50	6,98	13,96	20,95	27,93	34,91	41,89	48,87	55,86	62,84	69,82
0,55	7,68	15,36	23,04	30,72	38,40	46,08	53,76	61,45	69,13	76,81
0,60	8,38	16,76	25,14	33,52	41,89	50,27	58,65	67,03	75,41	83,79
0,65	9,08	18,15	27,23	36,31	45,39	54,47	63,54	72,62	81,69	90,77
0,70	9,78	19,55	29,33	39,10	48,88	58,65	68,43	78,20	87,98	97,75
0,75	10,47	20,95	31,42	41,89	52,37	62,84	73,32	83,79	94,26	104,74
0,80	11,17	22,34	33,52	44,69	55,86	67,03	78,20	89,38	100,55	111,72
0,85	11,87	23,74	35,61	47,48	59,35	71,22	83,09	94,96	106,83	118,70
0,90	12,57	25,14	37,70	50,27	62,84	75,41	87,89	100,55	113,12	125,68
0,95	13,27	26,53	39,80	53,07	66,33	79,60	92,87	106,13	119,40	132,67
1,00	13,96	27,93	41,89	55,86	69,82	83,79	97,75	111,72	125,68	139,65

* em percentagem

** em st/ha/ano

*** em t/m³

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G. – Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. *IPEF*, Piracicaba (16): 63-70. jun.1978.

KROGH, G. – *Conservação de óleo na indústria de celulose e papel*. Simpósio sobre Alternativas Energéticas para Transporte e Indústria. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, 12p. jun.1979.

KROCH – *Conservação de óleo na indústria de celulose e papel*. *Simpósio sobre alternativas energéticas para transporte e indústria*, São Paulo, jun.1979. 12p.

Esta publicação é editada pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, convênio Departamento de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo.

É proibida a reprodução total ou parcial dos artigos publicados nesta circular, sem autorização da comissão editorial.

Periodicidade – irregular

Permuta com publicações florestais

Endereço:

IPEF – Biblioteca
ESALQ-USP
Caixa Postal, 9
Fone: 33-2080
13.400 – Piracicaba – SP
Brasil

Comissão Editorial da publicação do IPEF:

Marialice Metzker Poggiani – Bibliotecária
Walter Sales Jacob
Comissão de Pesquisa do Departamento de Silvicultura – ESALQ-USP
Prof. Hilton Thadeu Zarate do Couto
Prof. João Walter Simões
Prof. Mário Ferreira

Diretoria do IPEF:

Diretor Científico – Prof. João Walter Simões
Diretor Técnico – Prof. Helládio do Amaral Mello
Diretor Administrativo – Nelson Barbosa Leite

Responsável por Divulgação e Integração – IPEF

José Elidney Pinto Junior