

ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ECONÔMICO DO RESÍDUO FLORESTAL

Luiz Roberto Graça*
Charles H.O. Campos**

RESUMO

Através de dados de pesquisas existentes sobre o conteúdo de nutrientes em resíduos florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*, investigou-se a vantagem econômica da utilização dos resíduos, como energia ou como reciclagem de nutrientes no solo. Os resultados mostraram que o emprego dos resíduos florestais como energia se apresenta mais econômico, compensando, inclusive, a reposição de nutrientes através da adubação química. O baixo valor da equivalência da fitomassa em nutrientes, em relação ao de sua transformação em energia, e a proporção desfavorável dos preços de fertilizantes para o preço de energia, foram os principais fatores que afetaram essa economicidade.

PALAVRAS-CHAVE: análise econômica, energia, reciclagem de nutrientes, *Eucalyptus*, *Pinus*.

ANALYSIS OF ECONOMIC USES FOR LOGGING RESIDUE

ABSTRACT

An economic study was done in order to compare profitability of using logging residue from *Eucalyptus* and *Pinus* stands for energy purposes instead of nutrient recycling in the soil. The results have shown that its use as energy source was more economical. It pays off even for chemical fertilization of reposition. The lower equivalent value of the biomass in nutrient content than its value when transformed into energy and the unfavorable fertilizer/energy price relation have contributed to this result.

KEY WORDS: Economic analysis, nutrient recycling, biomass, *Eucalyptus*, *Pinus*.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos florestais para fins energéticos é uma prática comum no sul do Brasil (CAMPOS & GRAÇA 1986). Tal aproveitamento foi fundamentalmente acelerado pela substituição do petróleo por fitomassa. Apesar de a prática ser rotineira, pouco se questiona a respeito dessa economicidade, caso leve-se em conta a perda de nutrientes retirados do solo florestal e consequente queda de produtividade dos sítios florestais. O presente trabalho visa fazer análises

* Eng. Agrônomo, Ph.D., pesquisador da EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Florestas.

** Eng. Florestal, B.Sc., Técnico da DURAFLOA-SP.

econômicas exploratórias do uso da fitomassa florestal como fonte de energia e do seu uso como nutriente.

Especificamente, pretende-se: (a) determinar as magnitudes econômicas do uso de resíduos, tanto para energia, como para refertilização do solo; (b) analisar os aspectos que influenciam na tomada de decisão econômica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais, tanto no exterior como no Brasil, tem sido objeto de intensivas pesquisas, visto sua importância no equilíbrio ecológico. Uma ampla revisão dessa literatura pode ser encontrada tanto em POGGIANI (1985) quanto em HAAG (1985). No contexto brasileiro de florestas tropicais e subtropicais, os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* têm sido estudados por vários autores, analisando a exportação de nutrientes em povoamentos de diversas idades e espaçamentos. O objetivo fundamental de todos esses trabalhos tem sido mensurar a reciclagem de nutrientes nas diversas espécies. Entretanto, quanto à avaliação das perdas e ganhos dessa reciclagem, a literatura existente é bastante escassa. Do ponto de vista do empresário, tal questão é de extrema relevância quando a prática de utilizar resíduos florestais para fins energéticos impede a reciclagem completa dos nutrientes. Essa retirada de nutrientes terá reflexo na queda da produtividade dos sítios florestais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, fez-se a pressuposição de que o empresário procura maximizar lucros em qualquer situação. Isto implica que o mesmo procurará minimizar custos, conforme apregoa a teoria econômica convencional. Adicionalmente, pressupõe-se que sua escolha recaia entre utilizar os resíduos florestais para refertilização dos solos (minimizar custos de adubação) e para fins energéticos (minimizar custos de energia). O empresário estaria indiferente entre um ou outro se

$$V_f = V_e, \text{ ou } V_f - V_e = 0 \quad (1)$$

onde:

V_f = valor de adubação equivalente à retirada de nutrientes contidos no resíduo florestal;

V_e = valor de energia contida na fitomassa do resíduo.

Ambos os valores são para determinado ano, desprezando-se os demais custos, como os de transporte e mão-de-obra. Como o uso da fitomassa para fertilização implica um custo de oportunidade de tê-la aproveitada como energia, pode-se capitalizar o valor da energia para um período futuro, quando seus nutrientes estarão novamente disponíveis, ou seja, quando

$$V_f = V_e (1 + r)^t, \text{ ou } V_f/(1+r)^t = V_e \quad (2)$$

onde:

r = taxa de desconto, medida pela taxa de juro real sem risco, isto é, 6% a.a. das cadernetas de poupança;

t = tempo medido em anos.

Assim, se $V_f/(1+r)^t > V_e$, o empresário, racionalmente, optaria por utilizá-los sob a forma de energia; ao inverso, optaria por reciclá-los.

Como não consta ainda, na literatura, informação sobre o tempo médio de decomposição de resíduos em nutrientes disponíveis, presume-se que tal disponibilidade ocorra de forma concomitante para os elementos N, P e K. Através de (2), pode-se verificar que **t** representaria, também, o tempo em que o nutriente estaria disponível. Dessa forma, se **t** for igual a zero, implica também que a disponibilidade do nutriente é imediata. Se **t** for maior do que zero, a decisão de utilizar o resíduo para outro fim dependerá de um tempo necessário para que o fertilizante fique disponível. Nesse sentido, quanto maior for **t**, mais propenso estará o empresário a utilizar os resíduos para a produção de energia e vice-versa. Essa conceituação implica também de que V_f seja maior ou igual a V_e no período zero ($t = 0$). Caso isso não aconteça, independente do valor de **t**, será sempre econômico empregar o resíduo para fins energéticos. Para a análise, considerou-se que a diferença de nutrientes, existentes em toda a árvore e no fuste sem casca, representa os resíduos florestais. Com isso, podem-se utilizar resultados de pesquisa apresentados por vários autores para eucalipto e Pinus. Para se calcular (1) e (2), computaram-se os seguintes componentes.

$$V_f = CN + CF + CP$$

onde:

V_f = valor da adubação que é equivalente ao custo total do fertilizante em Cz\$;

CN = custo do nitrogênio (sulfato de amônia);

CF = custo do fosfato (supersimples);

CP = custo do potássio (cloreto de potássio).

Os custos de fertilização foram apropriados aos preços tabelados pela resolução CIP nº 181, de 29 de maio de 1986. Os demais preços foram computados de acordo com o tabelamento governamental de 29 de fevereiro de 1986.

Através dos resultados de POGGIANI et al. (1983 e 1984), POGGIANI (1985),

CASTRO et al. (1980) e LA TORRACA et al. (1984), foram escolhidas três espécies de eucalipto: *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. saligna*; e de *Pinus*: *P. oocarpa*, *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. elliottii* var. *elliottii*, visando a realização da análise. Para a comparação econômica, calculou-se o equivalente em óleo combustível BPF tipo A da fitomassa do resíduo, seu valor, a diferença entre esse valor e o custo da fertilização (para reposição dos nutrientes retirados pelo resíduo e pela árvore total), bem como a relação de litros de óleo combustível para energia por litro de óleo combustível equivalente nos dois tipos de fertilização.

Para a análise de economicidade no período zero, utilizou-se a relação V_e/V_f , transformada em termos de óleo combustível por hectare. Assim, se $V_e/V_f = 1$, implica que, para o empresário, é indiferente entre usar o resíduo para energia ou para fertilização. Se essa relação for maior do que 1, será mais econômica a utilização do resíduo para energia; se menor, será mais vantajosa como fertilizante. Nesse sentido, V_f foi calculado para a reposição mineral do conteúdo de nutrientes existentes, tanto no resíduo quanto na árvore total, enquanto V_e foi calculado apenas para refletir o valor da fitomassa do resíduo em termos de óleo combustível.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As espécies escolhidas e respectivas idades de abate, fitomassa do resíduo e conteúdo e nutrientes na fitomassa e árvore total, estão relacionados na Tabela 1.

TABELA 1. Espécies de *Eucalyptus* e *Pinus*, idades de corte, biomassa do resíduo e conteúdo de nutrientes na biomassa e árvore total.

Espécie	Idade (anos)	Biomassa do Resíduo (kg/ha)	Nutrientes						Autor
			Resíduos			Árvore Total			
			N	P	K	N	P	K	
<i>E. grandis</i>	2,5	12590	121,59	9,76	36,73	140,32	11,17	44,78	Poggiani et al. (1984)
<i>E. urophylla</i>	2,5	13100	120,00	13,22	50,17	148,71	14,90	55,17	Poggiani et al. (1984)
<i>E. saligna</i>	2,5	8710	87,90	7,44	29,35	106,01	8,57	35,24	Poggiani et al. (1984)
<i>E. saligna</i>	11,0	27441	106,46	28,04	117,64	219,03	58,16	190,57	Poggiani et al. (1983)
<i>P. occarpa</i>	8,0	31500	176,30	10,00	57,50	270,30	18,50	119,00	Castro et al. (1980)
<i>P. caribaea</i>	14,0	39345	167,37	9,38	90,08	304,50	16,23	150,64	Poggiani (1985)
var. <i>hondurensis</i>									
<i>P. elliotii</i>	24,00	190090	515,68	36,72	118,27	893,86	76,52	217,99	La Torraca et al. (1984)
var. <i>elliotii</i>									

A quantidade de nutrientes fornecida pelos resíduos dessas seis espécies, sua equivalência em adubo e respectivo custo, o custo total da fertilização e sua equivalência em óleo diesel relacionados na Tabela 2.

TABELA 2. Quantidade calculada de adubo existente na biomassa do resíduo por nutriente e seu respectivo custo, custo total por hectare e equivalência em óleo combustível do custo total.

Espécie	Idade (Anos)	Quantidade de Adubo (kg/ha)			Custo do Adubo (Cz\$/ha)				Equivalência da Adubação em Óleo Combustível (Vl) l/ha ^{8/}
		S.A. ^{1/}	S.S. ^{2/}	C.P. ^{3/}	S.A. ^{4/}	S.S. ^{5/}	C.P. ^{6/}	C.T./ha ^{7/}	
<i>E. grandis</i>	2,5	573,54	48,50	70,04	1.106,78	80,19	169,36	1.356,33	837,24
<i>E. acrophylla</i>	2,5	566,04	66,10	95,67	1.092,31	108,61	231,34	1.432,26	884,11
<i>E. saligna</i>	2,5	416,62	37,20	55,97	893,96	61,12	135,34	1.090,42	673,09
<i>E. saligna</i>	11,0	502,17	140,20	224,34	969,06	230,38	542,48	1.741,92	1.075,26
<i>P. oocarpus</i>	8,0	831,60	50,00	109,05	1.504,77	82,16	265,15	1.952,08	1.204,99
<i>P. caribaea</i>	14,0	789,48	46,90	171,78	1.523,49	77,07	415,38	2.015,94	1.244,41
<i>var. hondurensis</i>									
<i>P. elliotii</i>	24,0	2.432,46	183,60	225,54	4.694,01	301,70	545,38	5.541,09	3.420,43
<i>var. elliotii</i>									

^{1/}S.A. = Sulfato de amônia (fator de conversão: 4,717); Fonte: Manual de adubação - ANDA (1971).

^{2/}S.S. = Superfosfato simples (fator de conversão: 5,00); Fonte: Idem.

^{3/}C.P. = Cloreto de potássio (fator de conversão: 1,907); fonte: Idem.

^{4/} Preço do sulfato de amônia: Cz\$ 1.929,74/t.

^{5/} Preço do superfosfato simples: Cz\$ 1.643,25/t.

^{6/} Preço do cloreto de potássio: Cz\$ 2.418,12/t.

^{7/} Custo total da fertilização por hectare.

^{8/} Litros de óleo combustível que poderiam ser comparados com CT/ha. Preço do óleo combustível (BPF-Tipo A): Cz\$ 1,52/litro (Preço FOB São Paulo)

Os custos tendem a aumentar com a idade das árvores, visto que o volume da biomassa aumenta com a idade. Para as mesmas espécies, os valores calculados para o equivalente em óleo diesel da fitomassa do resíduo, do valor do combustível, a diferença entre o valor da biomassa e o custo da fertilização, bem como a relação litros de óleo diesel para energia por litro de óleo diesel equivalente na fertilização, são apresentados na Tabela 3.

Pressupondo-se que o empresário florestal não considere o fator tempo para a disponibilidade de nutrientes no solo, sua opção mais econômica seria utilizar todo o resíduo florestal sob a forma de energia. Assim, por exemplo, o resíduo de *E. saligna* cortado aos onze anos proporciona-lhe Cz\$ 1.741,92/ha de valor como fertilizante; o mesmo resíduo lhe renderia Cz\$ 15.277,51/ha como energia. Se o empresário computasse a perda da não-fertilização como custo de oportunidade em utilizar o resíduo para energia, seu ganho líquido seria a diferença entre esses dois valores, ou seja, Cz\$ 13.535,59/ha. Evidentemente, esses valores mudam conforme o gênero e a espécie explorada, bem como com a idade de corte. Entretanto, tanto os preços como os equivalentes de óleo diesel calculados mostram que a lucratividade da utilização do resíduo sob a forma de energia é sempre maior do que sob a de

fertilização. Considerando-se o preço do óleo diesel como constante, vale dizer que, para *E. grandis*, cortado aos dois anos e meio, seria necessário que o preço do fertilizante subisse 5,17 vezes para que o empresário fique indiferente entre as duas formas de utilização do resíduo (relação Ve/Vf). A tabela 3 relaciona, também, essa equivalência para as demais espécies.

TABELA 3. Biomassa do resíduo, sua equivalência calculada em óleo combustível/hectare e respectivo valor, diferença entre o valor do combustível e o custo total de adubação e a relação do óleo diesel equivalente da biomassa do resíduo para energia e para adubação correspondente à retirada de nutrientes contidos no resíduo.

Espécie	Idade (Anos)	Biomassa do Resíduo (kg/ha)	Equivalência da Biomassa em Óleo Combustível (Ve) l/ (l/ha)	Valor da Energia da Biomassa (Cr\$)	Valor do Óleo Combustível menos o Valor do Adubo 2/ (Cr\$)	Relação Ve/Vf 3/
<i>E. grandis</i>	2,5	12590	4.326,76	7.009,35	5.653,02	5,17
<i>E. urophylla</i>	2,5	13100	4.502,03	7.293,29	5.861,03	5,09
<i>E. saligna</i>	2,5	8710	2.993,34	4.849,21	3.758,79	4,45
<i>E. saligna</i>	11,0	21441	9.430,56	15.277,51	13.525,59	8,77
<i>P. cocarpe</i>	8,0	29345	11.450,28	18.549,45	16.597,37	9,50
<i>P. caribaea</i>	14,0	39345	14.340,58	23.231,74	21.215,80	11,52
<i>var. hondurensis</i>						
<i>P. elliptica</i>	24,0	190990	69.097,53	111.938,64	106.397,55	20,20
<i>var. elliptica</i>						

1/ Base de cálculo:

(t/ha x 3.500 kcal/kg + 10.500 kcal/kg = kg/óleo combustível x 1.031 ** / = litros de óleo combustível/ha para *Eucalyptus*).

(t/ha x 3.702 kcal/kg + 10.500 kcal/kg = kg/óleo combustível x 1.031 ** = litros de óleo combustível/ha para *Pinus*).

*/ Fonte: BRITO, J.O. et alii (1979).

**/ Fator de conversão de kg para litros de óleo combustível.

*/ Valor médio estimado por cálculo.

2/ Refere-se à subtração do custo total da fertilização (coluna C.T./ha da tabela 2) do valor da energia da biomassa.

3/ Ve é o valor da energia da biomassa equivalente em óleo combustível (l/óleo combustível/ha) e Vf é o valor equivalente da adubação para repor os nutrientes retirados pelo resíduo (em l/óleo combustível/ha); corresponde aos valores da última coluna da tabela 2.

Quando se compara o valor da utilização energética do resíduo com o que seria requerido para fazer a reposição mineral dos nutrientes retirados pela árvore total, qualitativamente, os resultados não mudam (Tabela 4).

Observa-se apenas uma diminuição da rentabilidade (relação Ve/Vf) entre a idade de abate das árvores; maior para árvores mais idosas e menor para as mais jovens. Assim, pode-se dizer que o valor do resíduo de *E. saligna* cortado aos onze anos é de 4,64 vezes o dos nutrientes retirados por toda a árvore nessa idade. Para *E. grandis*, esse valor é de 4,45 vezes o da reposição química dos nutrientes retirados pela árvore, o que equivale a dizer que seria necessário que o preço do fertilizante subisse 4,45 vezes para que o empresário ficasse indiferente entre repor os nutrientes e utilizar o resíduo apenas para energia. Em outras palavras, as tabelas 2, 3 e 4 mostram que a utilização do resíduo sob forma de energia é compensadora o suficiente não só para repor quimicamente os nutrientes contidos no próprio resíduo quanto para os contidos na árvore total abatida, proporcionando, ainda, um lucro residual bastante elevado, caso qualquer uma dessas opções de fertilização seja realizada.

Com respeito à relação $Vf = Ve (1 + r)^t$, o fluxo de caixa é tão desfavorável à utilização do resíduo sob a forma de adubo (Vf é menor que Ve no período zero) que, a nenhum valor positivo de t , obter-se-ia a igualdade acima. Isso implica que, devido aos preços relativamente baixos dos fertilizantes, não há possibilidade, no tempo, de

a utilização do resíduo para reciclar nutrientes ser mais econômica que sua utilização para energia. Assim, dentro do contexto deste estudo, para a manutenção da produtividade dos sítios florestais, a adubação química de reposição poderia ser uma forma mais econômica de fertilização do que a reposição de nutrientes via resíduos. Uma pressuposição simplificadora e limitante do presente trabalho é não considerar os benefícios da matéria orgânica na retenção e liberação de nutrientes existentes ou aplicados e, principalmente, na criação de condições propícias para o desenvolvimento de microorganismos benéficos ao crescimento das espécies estudadas. Cabe salientar, ainda, que a presente pesquisa não contempla os custos impostos aos ecossistemas, os custos de transporte, de transformação da madeira em energia e outros. Um modelo de análise econômica mais amplo envolvendo essas variáveis, contribuiria para melhorar o conhecimento da área.

TABELA 4. Quantidade calculada de adubo existente na árvore total por nutriente, seu respectivo custo e custo total por hectare, equivalência em óleo combustível do custo total e a relação do óleo combustível equivalente da biomassa do resíduo para energia e para o adubo correspondente à retirada de nutrientes da árvore total.

Espécie	Idade	Quantidade de Adubo (kg/ha) 1/			Custo do Adubo (Cr\$./ha) 1/			Equivalência da Adubação em óleo Combustível(Vf) 2/	Relação Ve/Vf 3/	
		S.A.	S.S.	C.P.	S.A.	S.S.	C.P.			C.T./ha
		Anos								
<i>E. grandis</i>	2,5	661,84	55,85	85,39	1.277,28	91,77	206,48	1.575,53	972,55	4,45
<i>E. urophylla</i>	2,5	701,46	74,50	105,21	1.353,63	122,42	254,41	1.730,46	1.068,18	4,21
<i>E. saligna</i>	2,5	500,05	42,85	67,20	964,97	70,41	162,50	1.197,88	739,43	4,05
<i>E. saligna</i>	11,0	1.003,16	290,80	363,42	1.935,84	477,86	878,79	3.292,49	2.032,40	4,64
<i>P. cocarpa</i>	8,0	1.275,00	92,50	226,93	2.460,42	152,00	548,74	3.161,16	1.951,13	5,87
<i>P. caribaea</i>	14,0	1.436,32	81,15	287,27	2.771,72	133,35	694,65	3.599,72	2.222,05	6,45
var. <i>hondurensis</i>										
<i>P. eliotii</i>	24,0	4.216,34	382,60	415,71	8.136,44	628,71	1.005,24	9.770,39	6.031,10	11,46
var. <i>eliotii</i>										

1/ Parâmetros de cálculo idênticos à tabela 2, onde SA = sulfato de amônio, SS = superfosfato simples, CP = cloreto de potássio e C.T./ha = custo total da adubação por hectare;

2/ Litros de óleo combustível que poderiam ser comprados com C.T./ha. Preço do óleo combustível (BPF-tipo A): Cr\$ 1,62/litro (Preço FOB São Paulo).

3/ Ve = valor da energia da biomassa convertida em óleo combustível (l/óleo combustível/ha; coluna 3, Tabela 3) e

Vf = valor equivalente da adubação para repor os nutrientes retirados pela árvore total (l/óleo combustível/ha = valores da penúltima coluna acima.)

5. CONCLUSÕES

- 5.1. A utilização dos resíduos florestais como energia é mais econômica do que como reposição de nutrientes no solo. Entretanto, esse resultado não leva em consideração os efeitos benéficos da matéria orgânica no solo.
- 5.2. O baixo valor da equivalência da fitomassa em nutrientes em relação ao de sua transformação em energia e a relação desfavorável dos preços dos fertilizantes ao preço do óleo combustível são os principais fatores que afetam essa economicidade.
- 5.3. No contexto atual de preços, mesmo que se faça a fertilização química para a reposição de nutrientes retirados pela árvore inteira, desde que se utilize o resíduo para energia, ainda seria economicamente compensador.
- 5.4. Este trabalho apresenta limitações por não considerar os custos impostos aos ecossistemas, quando se utilizam os resíduos florestais como energia. Da mesma forma, ele não contempla os custos adicionais de exploração, transporte e de conversão de biomassa em energia. Sugere-se que pesquisas futuras procurem abranger esses aspectos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos pesquisadores José Carlos Duarte Pereira, Jarbas Yukio Shimizu e José Elidney Pinto Júnior, pelas sugestões apresentadas.

6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Manual de adubação**. São Paulo, 1971. 265p.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G.; COUTO, H.T.Z. do; FAZZIO, E.C.M.; CORRADINI, L.; CARRARA, M.A. & MIGLIORINI, A.J. **Avaliação das características dos resíduos de exploração florestal do eucalipto para fins energéticos**. Piracicaba, IPEF, 1979. 8p. (IPEF. Circular Técnica, 62).
- CAMPOS, C.H.O. & GRAÇA, L.R. **Análise preliminar da exploração florestal no Centro-Sul do Brasil**. Curitiba, EMBRAPA - CNPF, 1986. mimeografado.
- CASTRO, D.F. de A.; POGGIANI, F. & NICOLIELO, N. Distribuição da fitomassa e nutrientes em talhões de *P. oocarpa* com diferentes idades. **IPEF**, Piracicaba, (20):61-74, 1980.
- HAAG, H.P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas, Fundação Cargil, 1985. 144 p.
- LA TORRACA, S.M.; HAAG, H.P. & MIGLIORINI, A.J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliotti* em latossolo vermelho escuro na região de Agudos-SP. **IPEF**, Piracicaba, (29):41-7, 1984.

- POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais** de *Eucalyptus* e *Pinus* - implicações silviculturais. Piracicaba, ESALQ, 1985. 211p. (Tese Livre Docência).
- POGGIANI, F.; COUTO, H.T.Z. do; CORADINI, L. & FAZZIO, E.C.M. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, (25):37-9, 1983.
- POGGIANI, F.; ZEN, S.; MENDES, F.S.; MENDES, F.S. & SPINA-FRANÇA, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. **IPEF**, Piracicaba, (27):17-30, 1984.