

POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS DE DESBASTES EM PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda* NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL *

RONALDO VIANA SOARES

Professor Titular do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

PENTTI HAKKILA

Professor do Instituto de Pesquisas Florestais da Finlândia.

SUMMARY

The objectives of this research were: i) to evaluate the weight of the residues left on the soil after thinning operations; ii) to determine the heat content of the residue components; and iii) to estimate the energy potential, per unit of area, of the residual biomass. The data were collected from 7, 10, and 14 years old stands of *Pinus taeda* (loblolly pine), that would be submitted to the 1st, 2nd, and 3rd thinnings, respectively. The plantations are owned by "Indústrias Klabin de Papel e Celulose" and are located in Telêmaco Borba county, State of Paraná, Southern Brazil. In order to obtain the equations for estimating the residues weight, 51 trees from the 7 years old stand, 39 from the 10 years old, and 25 from the 14 years old were sampled. These trees were delimited and stripped, and the residual material classified into the following classes: needles, small branches (less than 0.7 cm diameter), medium branches (0.7 to 2.5 cm diameter), and large branches (2.5 to 7.0 cm diameter). Branches and tops over 7.0 cm diameter were not included because they are harvested for commercial use. The following informations were recorded from the sampled trees: diameter (DBH), total height, and commercial height. These parameters comprised the independent variables used to generate the equations for estimating the weight of the crown components. Random samples from needles and different sizes of branches were collected and taken to the laboratory for determining the dry weights and, afterwards, the heat content. Results showed that the DBH was the most efficient independent variable for estimating the dry weight of the crown components through mathematical

models. Except the large branches that were better estimated by second degree equations of the type $Y = a + b \text{ DBH} + c \text{ DBH}^2$, all other crown components were estimated with higher precision through logarithmic equations of the type $\ln Y = a + b \ln \text{ DBH}$. Total dry weight of residual biomass calculated through general equations was 8.266 ton/ha, 14.972 ton/ha, and 14.000 ton/ha in the first, second and third thinnings, respectively. The average heat content used in the calculations was 19.24 MJ/kg for total crown residues, and 19.11 MJ/kg for crown without needles. The energy production potential of the total residual biomass, for oven dried material, was 3.9 tons of oil equivalent (TOE) per hectare in the 1st thinning, 7.1 TOE/ha in the 2nd, and 6.6 TOE/ha in the 3rd. Considering only the woody residues, i.e., excluding the needles, the energy potential for oven dried material dropped to 3.0 TOE/ha, 5.3 TOE/ha, and 5.0 TOE/ha, respectively. Moisture contents of 40, 80, and 120% (dry weight basis) reduce the energy potential to, respectively, 94, 89, and 83% of the values estimated for oven dried material.

1. INTRODUÇÃO

A biomassa florestal tem sido usada há muito tempo como combustível para produção de energia. Com certeza, há pelo menos um milhão de anos a madeira tem tido uma importante contribuição na geração de energia para a espécie humana. Entretanto, sua importância relativa como fonte de energia decresceu sensivelmente a partir do advento dos combustíveis fósseis — primeiro o carvão nos séculos XVII e XVIII e depois o petróleo, no final do século XIX.

*Trabalho patrocinado pelo acordo de cooperação técnica entre o instituto de Pesquisas Florestais da Finlândia e a Universidade Federal do Paraná.

Nos Estados Unidos, por exemplo, a madeira era responsável por pelo menos três quartos das necessidades energéticas do país em 1870. No entanto, esta participação baixou para 25% em 1900 e chegou ao ponto mais baixo, cerca de 2%, em 1972. Esta tendência porém começou a ser revertida a partir de 1973, quando ocorreu o primeiro substancial aumento do preço internacional do petróleo. Em 1980, a madeira já foi responsável por 3% do total de energia produzida nos Estados Unidos, podendo chegar a 10 ou 20% no ano 2.000 (SMITH¹⁶). Em alguns países europeus altamente industrializados, mas com excelente cobertura florestal, a madeira continua a ser um importante combustível, como ocorre na Suécia e Finlândia, onde a participação da biomassa florestal como fonte de energia era, em 1981, de 8 (SMITH¹⁶) e 16% (HAKKILA⁵), respectivamente.

Na América Latina, a contribuição da madeira como fonte de energia varia bastante de acordo com as condições dos países. Existem países, como o Haiti, onde quase 70% da energia consumida provém da madeira. No outro extremo está a Venezuela, país rico em reservas de petróleo, onde a madeira é responsável por apenas 0,1% do total de energia produzida no país. No Brasil, a participação da madeira como fonte produtora de energia está, aproximadamente, em 20% do total consumido pelo país (TOMASELLI et al²²).

No Brasil, país que atualmente importa cerca de 40% do petróleo consumido e tem graves problemas de balanço de pagamento, a biomassa florestal tende a se tornar cada vez mais importante como fonte produtora de energia. Atendendo ao apelo do governo, algumas indústrias já estão usando largamente a madeira como geradora de energia, visto que isto economiza divisas, reduz a dependência do país ao combustível importado, cria novos empregos, promove uma evolução nas técnicas silviculturais e oferece ainda vantagens a outros setores da economia.

Entretanto, dentre os componentes da biomassa florestal, os resíduos florestais, apesar de representarem grande potencial para o futuro, ainda não são plenamente utilizados. Anualmente, milhares de toneladas de resíduos e árvores pequenas não comerciais, cortadas durante a exploração, são deixadas para se decompor ou queimadas no próprio terreno. Estes resíduos, se devidamente utilizados, através de tecnologia atualmente disponível, poderiam representar uma significativa contribuição às necessidades energéticas do país.

Os objetivos deste trabalho são: i) avaliar a quantidade de resíduo florestal remanescente em operações de desbaste em plantações de *Pinus*

taeda no Estado do Paraná; ii) determinar o poder calorífico dos diversos componentes desse resíduo; e iii) objetivo principal, estimar o potencial de produção de energia desse mesmo resíduo, por unidade de área.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Embora muita gente pense na madeira como combustível do passado, ela está rapidamente emergindo como uma importante fonte de energia para o futuro. O renovado interesse da madeira como combustível está sendo demonstrado não apenas nos países em desenvolvimento, mas também nos desenvolvidos e industrializados.

As florestas cobrem cerca de 25% da superfície de terra do globo terrestre (SMITH¹⁶). O incremento dessas florestas poderia gerar, anualmente, energia equivalente a cinco vezes o que o mundo consumiu em 1970 (VON DROSTE²³). Os Estados Unidos da América têm 50% mais reservas comprovadas de energia em suas florestas do que em petróleo (SAUCIER¹⁵). No entanto, este potencial não pode ser aproveitado em sua plenitude por diversos motivos, como por exemplo, falta de tecnologia adequada, degradação ambiental e problemas econômicos e sociais, pois outros usos da floresta como madeira serrada, polpa, papel e alimentação atualmente são mais importantes do que produção de energia (VON DROSTE²³).

Entretanto, os resíduos florestais deixados no terreno após a exploração se constituem numa apreciável fonte potencial de energia que não deve ser descartada. Segundo PHILLIPS¹¹ os pouco mais de 200 milhões de hectares de florestas existentes nos Estados Unidos contém cerca de 25 a 30 bilhões de toneladas de biomassa verde. Deste total, a exploração florestal produz cerca de 170 milhões de toneladas de matéria seca de resíduos a cada ano (SMITH¹⁶). De acordo com HAKKILA⁵, na Finlândia, do total de madeira disponível para exploração a cada ano, cerca de 27,5 milhões de metros cúbicos correspondem a resíduos, formados por galhos e árvores não comerciais, o que representa uma considerável reserva de energia renovável. No Brasil, existem atualmente cerca de 300 milhões de hectares de florestas nativas produtivas e mais de 5 milhões de hectares de florestas plantadas (MENDONÇA FILHO¹⁰). Apesar de não haver uma estimativa da quantidade total de resíduos gerada anualmente pela exploração dessas florestas, ela deve ser consideravelmente grande.

A utilização dos resíduos florestais significa, em última análise, a exploração total da árvo-

re. Esta possibilidade foi primeiro sugerida por SPROUL et al¹⁹ em 1957. Apesar da preocupação demonstrada por alguns pesquisadores com relação à excessiva exportação de nutrientes, a exploração total das árvores e a utilização dos resíduos como combustível tem ganho adeptos em várias partes do mundo nos últimos anos (VON DROSTE²³). O desenvolvimento de equipamentos altamente eficientes, como os picadores de grande produtividade, tem tornado mais viável técnica e economicamente o aproveitamento integral das árvores (PHILLIPS e VANLEAR¹²).

Para se avaliar o potencial energético dos resíduos florestais em uma determinada região é necessário considerar alguns importantes fatores, tais como quantificar e caracterizar o material, determinar o poder calorífico de seus diversos componentes e, finalmente, estimar a quantidade de energia potencial por unidade de área a ser explorada.

2.1. Estimativa do peso dos resíduos

Os resíduos florestais remanescentes do desbaste de *Pinus taeda* são constituídos de ramos, acículas, ponteiros e árvores que não atingem o diâmetro mínimo de utilização comercial. Portanto, a estimativa da quantidade de resíduos é feita basicamente através do peso dos diversos componentes das copas das árvores.

Segundo WOODARD²⁵, talvez a mais antiga pesquisa de peso da copa tenha sido realizada por Tufts que, em 1919, demonstrou a alta correlação existente entre este parâmetro e a circunferência do tronco de árvores frutíferas.

Embora alguns pesquisadores (STOREY et al²¹; ZAVITKOVSKI²⁶) tenham encontrado melhor correlação entre os componentes da copa e o diâmetro do tronco na base da copa viva, a variável diâmetro à altura do peito (DAP), só ou como componente de variável combinada, é a que surge com maior frequência nos trabalhos de pesquisa como estimador do peso seco de todos os componentes das árvores (SOARES & HOSOKAWA¹⁸).

WADE²⁴ estimou o peso das copas de árvores dominantes e codominantes de *Pinus taeda* na Geórgia, EUA, através da equação:

$$\log (\text{peso da copa}) = a + \log \text{DAP}$$

concluindo que a equação poderia ser usada em toda a região de ocorrência da espécie. WOODARD²⁵, trabalhando com Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) de diferentes idades e diversos locais de uma mesma região usou este mesmo mo-

delo para estimar o peso seco da folhagem e dos ramos, obtendo bons resultados em todas as estimativas.

PINHEIRO & SOARES¹³ testaram 15 variáveis independentes, sendo 3 simples (DAP, altura total e altura comercial) e 12 combinadas, formadas a partir das três primeiras, para estimar os pesos dos diversos componentes das copas de *Pinus caribea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa* no Estado de Minas Gerais, concluindo ser o DAP a variável simples mais eficiente para todas as estimativas em ambas as espécies.

2.2. Produção de energia

A biomassa, essencialmente, é uma forma de energia solar armazenada, isto é, as árvores usam a luz solar, na fotossíntese, para converter CO₂ e H₂O em produtos de alto teor energético, que são os carboidratos, e oxigênio (KARCHESY & KOCH⁸).

No processo de combustão a energia armazenada nos carboidratos é liberada e aproveitada para geração de calor, vapor ou eletricidade. A quantidade de energia liberada pela madeira na combustão é conhecida como poder calorífico da madeira. Esta energia pode ser expressa como poder calorífico superior ou poder calorífico inferior ou efetivo, dependendo se o calor liberado pela condensação da água de constituição do combustível é ou não considerado (BRITO¹).

Na determinação do poder calorífico do combustível florestal geralmente se usa o calorímetro. Os valores assim obtidos correspondem ao poder calorífico superior e são ligeiramente superiores aos observados na prática porque o calorímetro é fechado e os produtos da combustão permanecem enclausurados. Assim, ao se resfriar, o vapor d'água é condensado e libera o calor de vaporização. Numa fornalha industrial este calor de vaporização é perdido para a atmosfera (KARCHESY & KOCH⁸), razão pela qual, na prática, deve-se trabalhar com o poder calorífico efetivo, que é obtido subtraindo-se do poder calorífico superior, o calor de vaporização da água formada durante o processo de combustão. Na média, o poder calorífico efetivo é igual ao poder calorífico superior menos 324 kcal (BRITO¹) ou 1,34 MJ, quando se trabalha com quilo-calorias ou mega-Joules, respectivamente.

A energia gerada pelo combustível florestal depende do poder calorífico e do conteúdo de umidade do mesmo. O poder calorífico depende, em primeiro lugar, da composição química do combustível. Altos conteúdos de carbono e hidrogênio significam alto poder calorífico, enquanto

o oxigênio apresenta efeito contrário. A composição química da madeira, excluída a água, é, aproximadamente, a seguinte: carbono, 50,8%; oxigênio, 41,8%; hidrogênio, 6,0%; nitrogênio, 0,4%; e cinzas, 1,0% (HAKKILA⁵).

O poder calorífico da madeira não varia de maneira significativa entre as espécies. Segundo PHILLIPS¹¹, um quilograma de madeira contém cerca de 20,0 MJ de energia, independentemente da espécie florestal. Por outro lado, HOWARD diz que vários estudos indicam que a maioria das coníferas tem poder calorífico entre 19,2 a 21,0 MJ/kg.

Os resíduos florestais podem apresentar poder calorífico diferente da madeira, principalmente devido às diferenças nas proporções de resina, lignina e celulose. A resina tem um poder calorífico bem maior do que a madeira, cerca de 39,3 MJ/kg (HOWARD⁷). Por isto as coníferas, que contém maior quantidade de resina, têm maior poder calorífico, por unidade de peso, do que as folhosas. A lignina, por sua vez, apresenta maior poder calorífico do que a celulose (HAKKILA⁵). Por estas razões, isto é, maiores proporções de resina e lignina, casca, ramos e acículas apresentam poder calorífico ligeiramente maior do que a madeira, embora as diferenças não sejam grandes. TOMASELLI et al²², por exemplo, encontraram poder calorífico de 20,0 MJ/kg para madeira e 24,9 MJ/kg para casca, em *Pinus elliottii* plantado no Estado do Paraná.

O teor de umidade é talvez o fator que exerce maior influência sobre o uso da madeira para energia. Em primeiro lugar, a presença de água representa poder calorífico negativo pois parte da energia liberada é gasta na vaporização da água. Em segundo lugar, se o teor de umidade for muito variável pode dificultar o processo de combustão, havendo necessidade de constantes ajustes no sistema (BRITO¹). Segundo HAKKILA⁵, para certos tipos de fornalha, o conteúdo de umidade mais eficiente em termos de combustão varia entre 43 a 54% (em relação ao peso seco); se a madeira estiver mais seca, a combustão pode ser muito explosiva, o que resulta em maior perda de energia para a atmosfera e aumenta a emissão de partículas de carbono; se a umidade da madeira aumenta para 100 a 150% a eficiência da combustão diminui drasticamente; e se ela exceder 150 a 230%, o poder calorífico da madeira não consegue manter o processo de combustão. A umidade da madeira varia consideravelmente de espécie para espécie, podendo ir de 40 a 150% em relação ao peso seco (PHILLIPS¹¹). MC MINN & NUTTER⁹ encontraram teores de umidade variando entre 61 a 72% em relação ao peso seco,

na biomassa extraída da região dos *Pinus* do Sudeste dos EUA, enquanto TOMASELLI et al encontraram valores de 189% para a madeira de *Pinus elliottii* recém cortado no Estado do Paraná.

A madeira raramente é encontrada seca e por isto a sua energia potencial depende da quantidade de água que ela contém quando é queimada (PHILLIPS¹¹). Existem várias equações aproximadas que estimam o poder calorífico da madeira em função do seu teor de umidade (BRITO¹; COUNTRYMANN³; FARINHAQUE⁴).

A madeira é um combustível que queima mais limpo e, apesar de ter poder calorífico bem menor, oferece algumas vantagens sobre combustíveis convencionais como carvão e óleo. O conteúdo de cinzas da madeira é muito baixo, menos de 3% do seu peso seco. O do carvão é de 3 a 5 vezes maior (HOWARD⁷). Além disto a cinza da madeira pode ser reciclada e usada como fertilizante, tanto na agricultura como na própria floresta, sendo útil principalmente para elevar o pH de solos ácidos (HAKKILA⁶; KARCHESY & KOCH⁸). A quantidade de enxofre na madeira é negligível e, portanto, não existe a formação dos altamente poluidores compostos de enxofre, que se constitui num sério problema quando se queima carvão ou óleo (HOWARD⁷). Os maiores problemas da madeira com relação à poluição são as partículas de carvão e a fumaça (SOARES¹⁷).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram coletados na Fazenda Monte Alegre, de propriedade das Indústrias Klabin de Papel e Celulose, situada no Município de Telêmaco Borba, região central do Paraná, aproximadamente entre os meridianos 50°21' e 50°43' de longitude oeste e entre os paralelos 24°03' e 24°28' de latitude sul. A altitude média da área é cerca de 850 m acima do nível do mar.

A temperatura média anual da região é de aproximadamente 19°C, a precipitação anual cerca de 1400 mm e a média anual da umidade relativa do ar situa-se em torno de 76,5%. De acordo com a classificação de Koppen o clima da área pertence ao tipo "Cfb", ou seja, temperado úmido com chuvas durante todo o ano e verão fresco. As temperaturas médias dos meses mais quentes (fevereiro) e mais frio (julho) são, respectivamente, 21,8 e 15,5°C. As precipitações dos meses mais seco (agosto) e mais úmido (janeiro) são, em média, 60,8 e 170,7 mm respectivamente.

Os povoamentos usados para a coleta do material estavam estabelecidos em um sítio considera-

do de qualidade média para o *Pinus taeda*, todos plantados a um espaçamento inicial de 1,70 x 2,50 m. As idades eram de 7, 10 e 14 anos e seriam submetidos ao 1º, 2º, e 3º. desbastes, respectiva-

mente. De cada povoamento foi escolhido um talhão para se fazer a amostragem. As características dendrométricas dos talhões amostrados são apresentadas no Quadro 1.

QUADRO 1. Características Dendrométricas dos Talhões amostrados.

Área do talhão (ha)	Idade das árvores (anos)	Diâmetro médio-DAP (cm)	Altura média (m)	Altura média das dominantes (m)	Nº. de árvores por hectare
7,0	7	13,0	10,4	12,3	2088
21,7	10	20,0	16,4	18,6	1240
19,0	14	25,4	20,6	22,0	731

3.1. Técnicas de amostragem

Para se calcular a altura e diâmetro médios, foram demarcadas no terreno, e medidas, 6 parcelas no talhão de 7 anos de idade e 20 parcelas nos de 10 e 14 anos. Destas parcelas, 3 em cada talhão foram sorteadas aleatoriamente para se estimar o número de árvores a serem cortadas para determinação do peso dos componentes da copa. As parcelas dos talhões de 7 e 10 anos englobavam 12 x 10 linhas (20,4 x 25,0 m), tendo portanto, cada uma, 510 m². No talhão de 14 anos, onde era difícil definir o alinhamento inicial do plantio, as parcelas tinham 500 m² (20 x 25 m) de área.

3.1.1. Determinação do número de árvores amostradas

O número de árvores que seriam cortadas para determinação do peso seco dos componentes da copa, para cada idade, foi determinado através da fórmula de amostragem sequencial de Stein (STEEL & TORRIE²⁰), a 95% de probabilidade:

$$n = \frac{t^2 \cdot s^2}{(0,1 \cdot \text{DAP})^2}$$

sendo:

- n = número de árvores necessárias
- s = variância diamétrica
- DAP = DAP médio da parcela
- 0,1 = limite máximo de erro

Para aumentar a precisão de amostragem a equação de Stein foi também aplicada em cada classe diamétrica, decidindo-se sempre pelo

maior número encontrado ou um pouco mais, por medida de segurança.

3.1.2. Processamento das amostras

De cada árvore derrubada foram medidos o DAP, a altura total, a altura comercial e o comprimento da copa viva. Em seguida, as árvores foram desgalhadas, retirando-se as acículas e separando-se o material lenhoso das copas de acordo com as seguintes classes diamétricas: < 0,7 cm; 0,7 a 2,5 cm; 2,6 a 7,0 cm. O material de diâmetro superior a 7,0 cm é aproveitado comercialmente e por isto não foi incluído como resíduo.

Todos os componentes da copa foram pesados no próprio local de amostragem. De cada tipo de material foram retiradas amostras, posteriormente acondicionadas em sacos de polietileno e levadas para secagem em estufa até peso constante.

A secagem das amostras foi feita em estufas do Laboratório de Silvicultura do Curso de Engenharia Florestal da UFPR. O peso constante foi obtido após aproximadamente 48 horas, a 100°C.

3.2. Equações estimadoras da biomassa residual

Com base nos pesos das amostras foram estimados os pesos secos de cada componente das copas das árvores, os quais se constituíram nas variáveis dependentes dos modelos testados. Essas variáveis foram os respectivos pesos secos de: i) acículas; ii) ramos < 0,7 cm (pequenos); iii) ramos entre 0,7 e 2,5 cm (médios); iv) ramos entre 2,5 e 7,0 cm (grandes); v) copa total; vi) copa total sem acículas. As variáveis independentes foram o DAP, a altura total, a altura comercial e o comprimento da copa viva.

Diversos modelos, lineares e logarítmicos, foram testados através de um programa de regressão "stepwise" BMDP2R, desenvolvido pela Universidade da Califórnia, que seleciona as melhores variáveis através dos respectivos coeficientes de correlação. A precisão ou ajuste dos modelos foi estimada através do coeficiente de determinação (R^2), do erro padrão da estimativa (s_{yx}) e do valor de F. Foram desenvolvidos modelos para estimar as variáveis dependentes em cada idade da floresta e equações genéricas, juntando os dados dos três talhões.

Todos os dados foram processados em um computador VAX 11/785 do Instituto de Pesquisas Florestais da Finlândia, em Helsinque.

3.3. Estimativa do peso da biomassa residual

As equações que apresentaram maior precisão, para cada componente da copa, foram usadas para se estimar a quantidade de resíduos remanescente na floresta após as operações de desbastes. Para isto foram marcadas e medidas todas as árvores que seriam retiradas no 1º, 2º, e 3º desbastes.

Para cada desbaste foram feitas duas estimativas, uma usando as equações específicas para a respectiva idade da floresta e outra usando-se as equações gerais, que incluem os dados de todas as idades.

3.4. Determinação do poder calorífico dos resíduos

Para a determinação do poder calorífico foram coletados, nos três talhões, amostras dos diversos componentes dos resíduos, isto é, acículas, ramos pequenos, ramos médios e ramos grandes. As amostras foram moídas, misturando-se posteriormente o material dos três talhões, para se fazer amostras compostas da serragem de cada componente do resíduo.

As amostras, constituídas de cerca de 200 g de serragem seca de cada componente, foram enviadas ao Laboratório de Combustíveis Domésticos do Centro de Pesquisas Tecnológicas da Finlândia, em Jyväskylä, para determinação dos respectivos poderes caloríficos. As determinações foram feitas em um Calorímetro Automático "AC - 300 SYSTEM 708-500" fabricado pela LECO CORPORATION.

Para se testar a hipótese nula da igualdade entre os valores de poder calorífico dos componentes do resíduo foi feita uma análise de variância dos resultados obtidos no calorímetro e, tam-

bém, uma comparação de médias pelo teste SNK, ambos a 95% de probabilidade.

3.5. Estimativa do potencial energético dos resíduos

Através dos pesos dos diversos componentes dos resíduos e de seus respectivos poderes caloríficos foram estimados os valores potenciais de produção de energia do material residual deixado no terreno após a realização dos três desbastes.

As estimativas foram feitas para peso seco e três diferentes teores de umidade, a saber, 40, 80 e 120% em relação ao peso seco. Para a estimativa do poder calorífico do material úmido foi usada a equação proposta por COUNTRYMAN³:

$$H_w = H_d \frac{100 - \frac{U}{7}}{100 + U}$$

sendo,

H_w = poder calorífico do material úmido em MJ/kg

H_d = poder calorífico do material seco em MJ/kg

U = conteúdo de umidade em % do peso seco.

As estimativas finais, por unidade de área, foram feitas em Giga-Joules (Joules x 10^9) e toneladas equivalentes de óleo (TOE), usando-se a relação 1 kg de óleo = 40,7 MJ (Mega-Joules).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Número de árvores amostradas

O número de árvores amostradas, em cada classe de idade, para atender o nível de precisão desejado, é mostrado no Quadro 2.

Inicialmente, quando se aplicou a fórmula de Stein ao total da parcela, o número de árvores a amostrar foi distribuído de maneira proporcional à frequência observada nas classes diamétricas. No entanto, aplicando-se a fórmula dentro de cada classe diamétrica, essa proporcionalidade foi desfeita, prevalecendo a variabilidade existente dentro das classes. Portanto, ao final, quanto maior a variabilidade, mais árvores foram amostradas nas respectivas classes diamétricas.

Nas parcelas medidas no talhão de 10 anos de idade, apenas uma árvore na classe de 30,0 a 34,9 cm de diâmetro foi encontrada. Entretanto, na área de amostragem havia outras árvores e por isto foram amostradas 5 árvores neste classe.

Nas parcelas medidas do talhão de 14 anos

não havia nenhuma árvore com diâmetro maior do que 35 cm. Entretanto, na área de amostragem foram encontradas algumas árvores com diâmetro superior a 35 cm. Destas, 4 na classe de 35,0 a 39,9 cm e uma na classe de 40,0 a 44,9 cm, a única que havia, foram amostradas.

QUADRO 2. Número de árvores a amostrar e efetivamente amostradas, por classe de diâmetro, em cada idade considerada

Idade do Povoamento (anos)	Classe de DAP (cm)	Frequência observada nas parcelas		Nº. de árvores a amostrar aplicando-se a fórmula de Stein ao total da parcela	Nº. de árvores a amostrar aplicando-se a fórmula de Stein dentro das classes de DAP	Nº. de árvores efetivamente amostradas
		Nº.	%			
7	5,0 – 9,9	57	18,6	7	14	16
	10,0 – 14,9	142	46,4	16	7	18
	15,0 – 19,9	96	31,4	12	4	13
	20,0 – 24,9	11	3,6	2	3	4
	TOTAL	306	100,0	37	28	51
10	10,0 – 14,9	21	10,5	3	8	8
	15,0 – 19,9	69	34,3	7	4	7
	20,0 – 24,9	83	41,3	8	3	11
	25,0 – 29,9	27	13,4	3	8	8
	30,0 – 34,9	1	0,5	1	3	5
TOTAL	201	100,0	22	26	39	
14	15,0 – 19,9	10	9,0	3	4	6
	20,0 – 24,9	40	36,0	5	5	5
	25,0 – 29,9	43	38,8	5	3	5
	30,0 – 34,9	18	16,2	3	4	4
	35,0 – 39,9	–	–	–	4	4
	40,0 – 44,9	–	–	–	1	1
TOTAL	111	100,0	16	21	25	

4.2. Equações estimadoras da biomassa residual

4.2.1. Povoamento de 7 anos (1º. desbaste)

As equações selecionadas para estimar os pesos secos dos componentes das árvores no povoamento a ser submetido ao 1º. desbaste estão apresentadas no Quadro 3.

As equações logarítmicas foram mais eficientes para estimar os pesos secos dos componentes das árvores, exceto o dos ramos grandes, que foi melhor estimado através de uma equação de segundo grau.

A baixa precisão do ajuste da equação estimadora do peso seco dos ramos grandes justifica-se

QUADRO 3: Equações selecionadas para estimar os pesos secos dos componentes das árvores, com os respectivos fatores de ajuste, no povoamento de 7 anos de idade.

Equação de Regressão	R ²	S _{xy}	F
Ramos pequenos: In Y = - 7,67534 + 1,57507 In DAP	0,70	0,3994	116,9
Ramos médios: In Y = - 10,83078 + 2,55697 In DAP	0,93	0,2818	619,6
Ramos grandes: Y = 6,29665 - 0,08545 DAP + 0,000445 DAP ²	0,48	1,8850	21,7
Acículas: In Y = - 12,27110 + 2,79207 In DAP	0,93	0,3030	638,7
Copa total: In Y = - 6,52743 + 1,88385 In DAP	0,94	0,1861	770,7
Copa sem acículas: In Y = - 5,69652 + 1,64388 In DAP	0,91	0,2087	466,8

pela inclusão, nesta categoria, dos ponteiros (diâmetro menor do que 7 cm) das árvores. Por isto nas árvores muito pequenas, todo o tronco era considerado material residual, o que fazia com que, às vezes, estas árvores apresentassem peso seco de ramos grandes superior ao de árvores de maior diâmetro. A separação dos ponteiros em uma classe à parte, em termos práticos, não compensaria pois seria uma equação a mais, além do que, para as outras idades o ajuste foi satisfatório.

4.2.2. Povoamento de 10 anos (2^o. desbaste)

As equações selecionadas para estimar os pesos secos dos componentes das árvores no povoamento a ser submetido ao 2^o. desbaste estão apresentados no Quadro 4.

Também aqui, à excessão dos ramos grandes, as equações logarítmicas foram as mais indicadas para a estimativa dos pesos secos dos componentes das árvores. Os ramos grandes foram melhor esti-

QUADRO 4: Equações selecionadas para estimar os pesos secos dos componentes das árvores, com os respectivos fatores de ajuste, no povoamento de 10 anos de idade.

Equação de Regressão	R ²	S _{xy}	F
Ramos pequenos: In Y = - 5,84179 + 1,22069 In DAP	0,58	0,3503	50,2
Ramos médios: In Y = - 8,09077 + 2,00904 In DAP	0,86	0,2764	218,3
Ramos grandes: Y = 42,72202 - 0,52650 DAP + 0,001688 In DAP ²	0,73	9,4068	47,9
Acículas: In Y = - 13,86491 + 2,95618 In DAP	0,86	0,4003	225,3
Copa total: In Y = - 8,96509 + 2,33620 In DAP	0,90	0,2655	319,8
Copa sem acículas: In Y = - 8,61931 + 2,22506 In DAP	0,87	0,2935	237,6

mados através de uma equação de 2^o. Grau e a precisão de ajuste foi bem melhor do que no povoamento de 7 anos.

O valor relativamente baixo de R² na equação estimadora do peso seco dos ramos pequenos deveu-se à grande variabilidade apresentada por algumas árvores para este componente. Entretanto, como foram poucas as árvores a apresentarem valores discrepantes, o erro padrão

da estimativa foi baixo e o ajuste considerado satisfatório.

4.2.3. Povoamento de 14 anos (3^o. desbaste)

As equações selecionadas para estimar os pesos secos dos componentes das árvores no povoamento a ser submetido ao 3^o. desbaste estão apresentados no Quadro 5.

QUADRO 5: Equações selecionadas para estimar os pesos secos dos componentes das árvores, com os respectivos fatores de ajuste, no povoamento de 14 anos de idade.			
Equação de Regressão	R ²	S _{xy}	F
Ramos pequenos: In Y = - 8,19528 + 1,60044 ln DAP	0,50	0,4708	23,3
Ramos médios: In Y = - 6,05816 + 1,63877 ln DAP	0,74	0,2911	63,9
Ramos grandes: In Y = - 15,38501 + 3,32164 ln DAP	0,92	0,2991	248,6
Acículas: In Y = - 14,24835 + 2,98338 ln DAP	0,69	0,5930	51,0
Copa total: In Y = - 9,46556 + 2,43469 ln DAP	0,93	0,2015	294,2
Copa sem acículas: In Y = - 9,46484 + 2,39685 ln DAP	0,93	0,1934	309,7

Nesta idade, todos os componentes das árvores foram melhor estimados através de equações logarítmicas. Novamente, a equação estimadora dos ramos pequenos, devido à grande variabilidade dos dados, apresentou um baixo fator de ajuste. Por outro lado, os ramos grandes puderam ser estimados com grande precisão através de uma equação logarítmica, o que não ocorreu nos povoamentos de idade menores.

4.2.4. Equações genéricas

As equações genéricas, isto é, obtidas através dos dados dos três povoamentos em conjunto, estão apresentadas no Quadro 6.

Com poucas exceções, ramos médios no 1^o. desbaste, acículas no 1^o. e 2^o. desbastes e ramos grandes no 3^o. desbaste, as equações genéricas

apresentaram maior precisão de ajuste do que as equações específicas. Isto provavelmente aconteceu devido ao maior número de dados usados na obtenção destas equações.

Os gráficos das equações genéricas e a dispersão dos dados (nuvens de pontos), para cada componente da árvore, podem ser observados nas Figuras 1 a 6.

Examinando-se as figuras apresentadas, observa-se que à excessão do componente ramos grandes, onde o ajuste é menos preciso nas árvores de pequenos diâmetros, a precisão das equações tende a diminuir a partir dos 30 cm de diâmetro. Isto porém não afeta os resultados de maneira significativa porque apenas no 3^o. desbaste, assim mesmo em proporção inferior a 6%, foram retiradas árvores maiores de 30 cm de DAP.

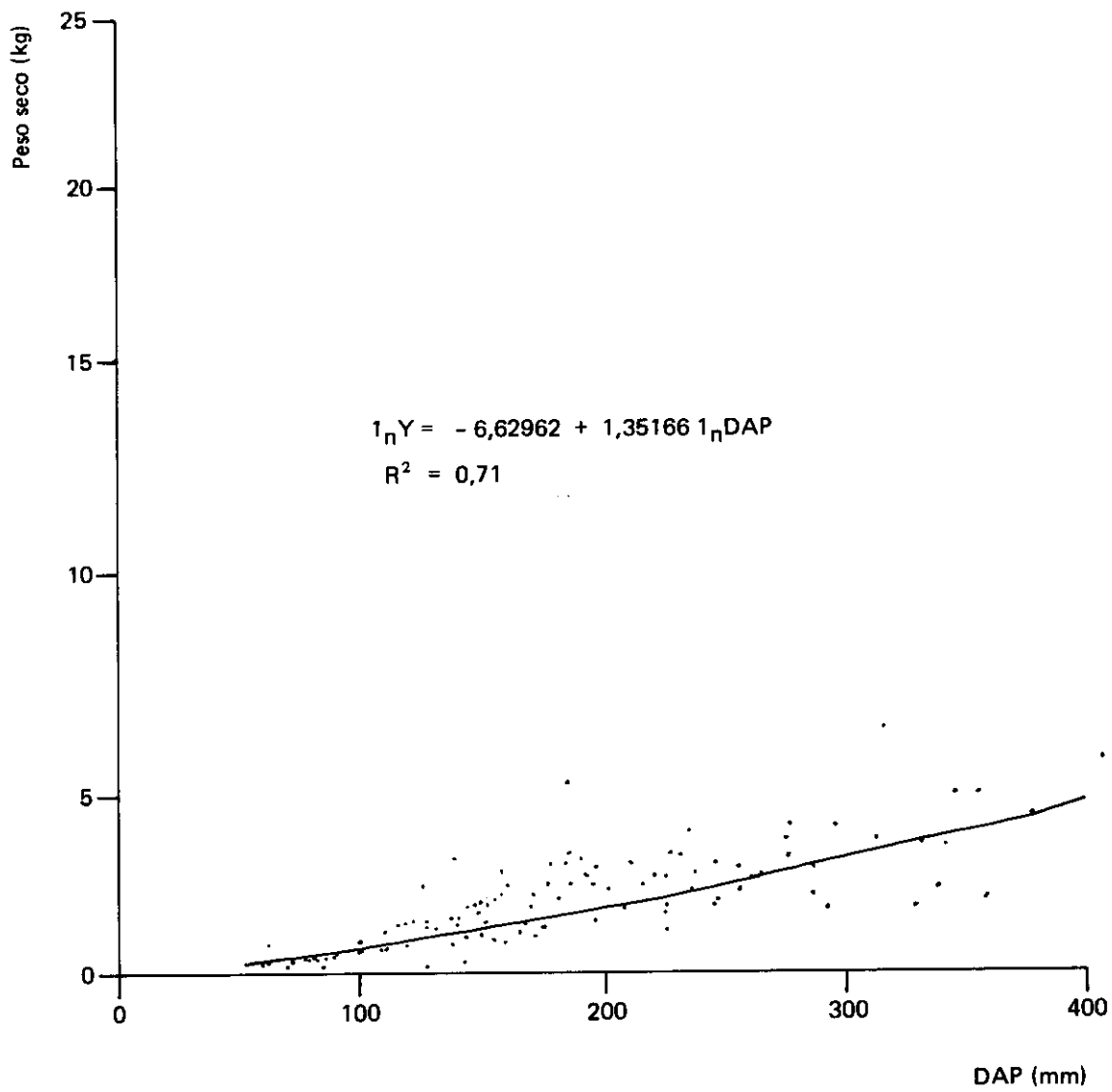


FIGURA 1. Equação genérica usada para estimar o peso dos ramos pequenos.

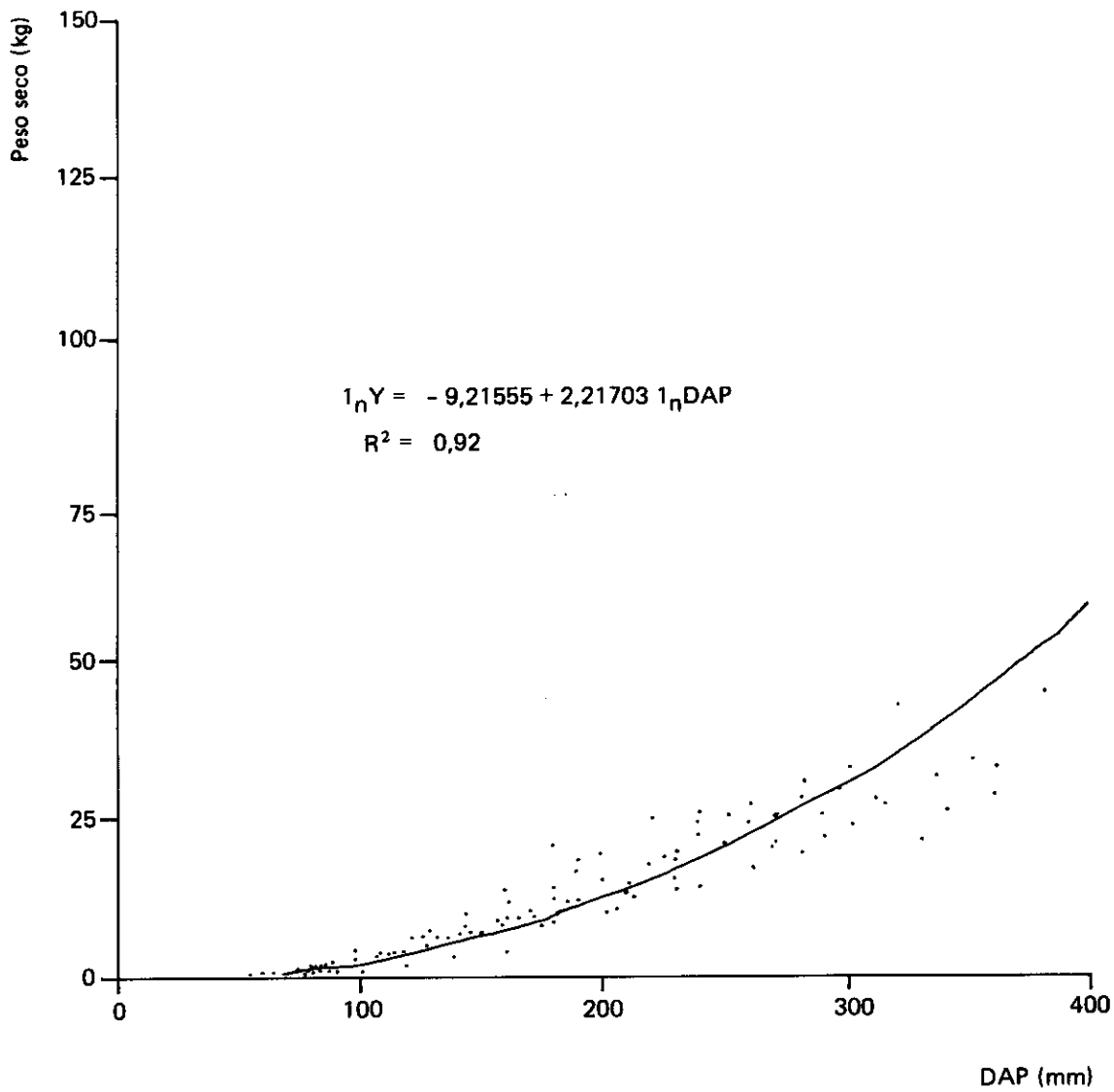


FIGURA 2. Equação genérica usada para estimar o peso dos ramos médios.

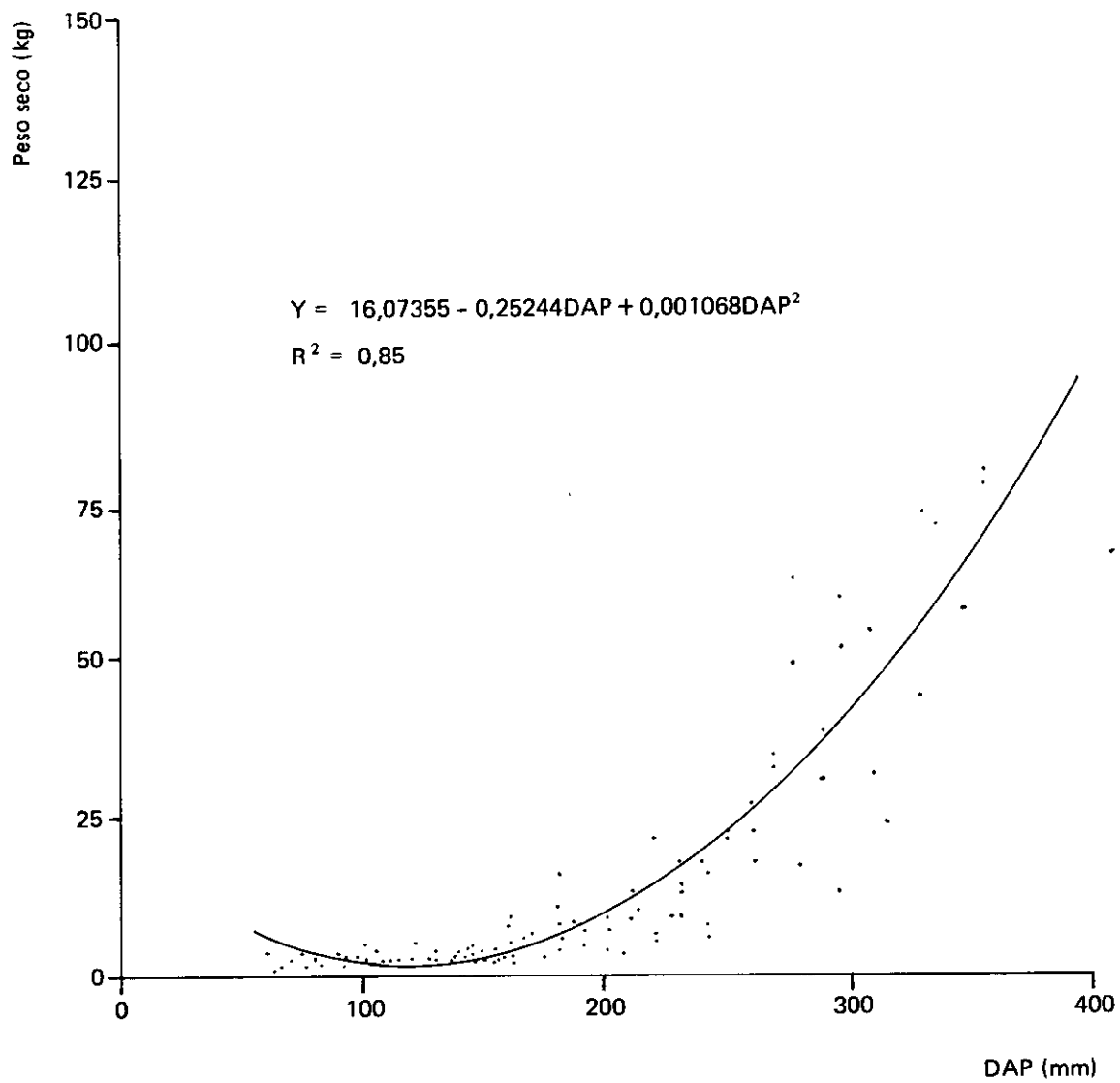


FIGURA 3. Equação genérica usada para estimar o peso dos ramos grandes.

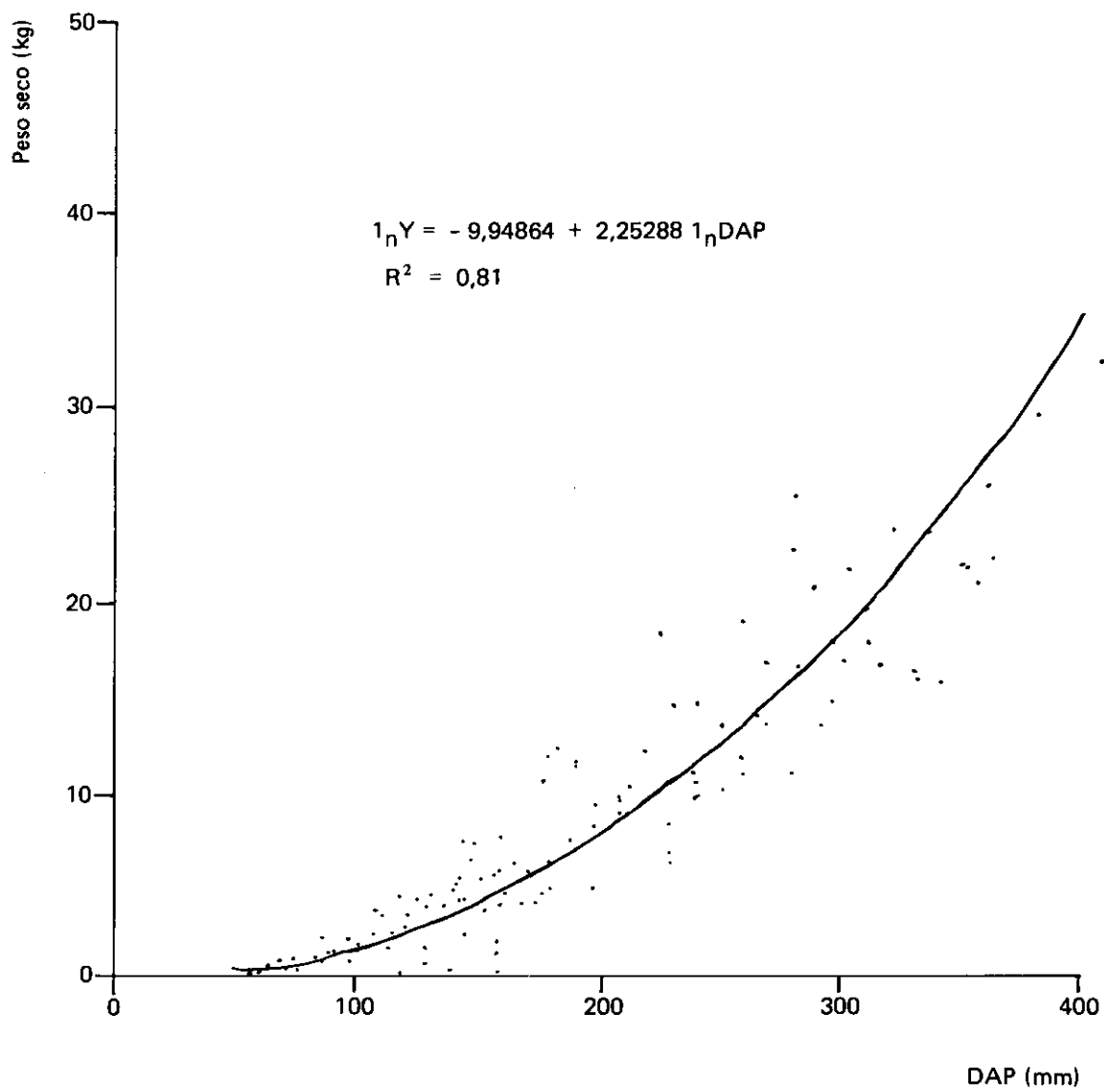


FIGURA 4. Equação genérica usada para estimar o peso das acículas.

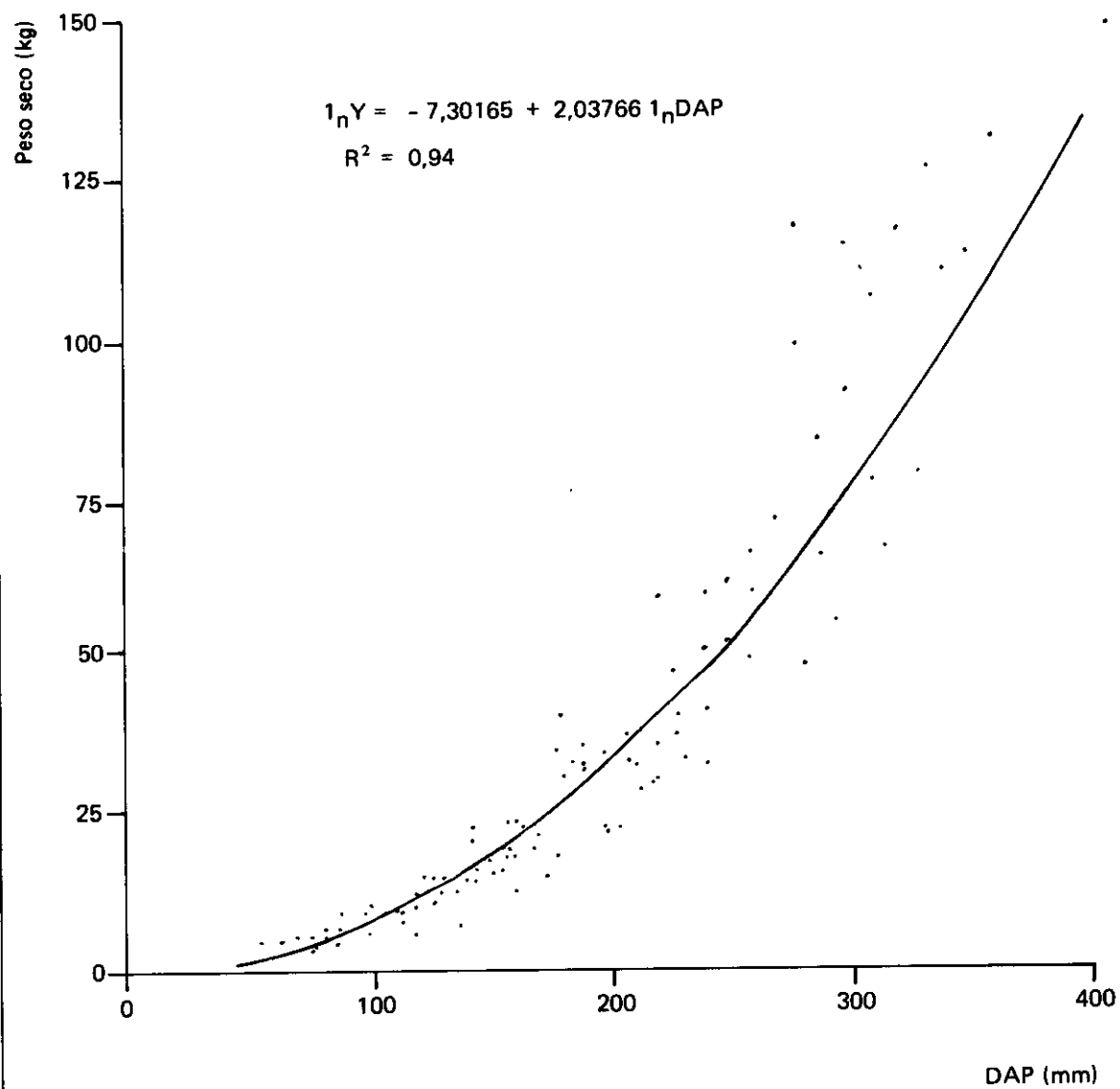


FIGURA 5. Equação genérica usada para estimar o peso da copa total.

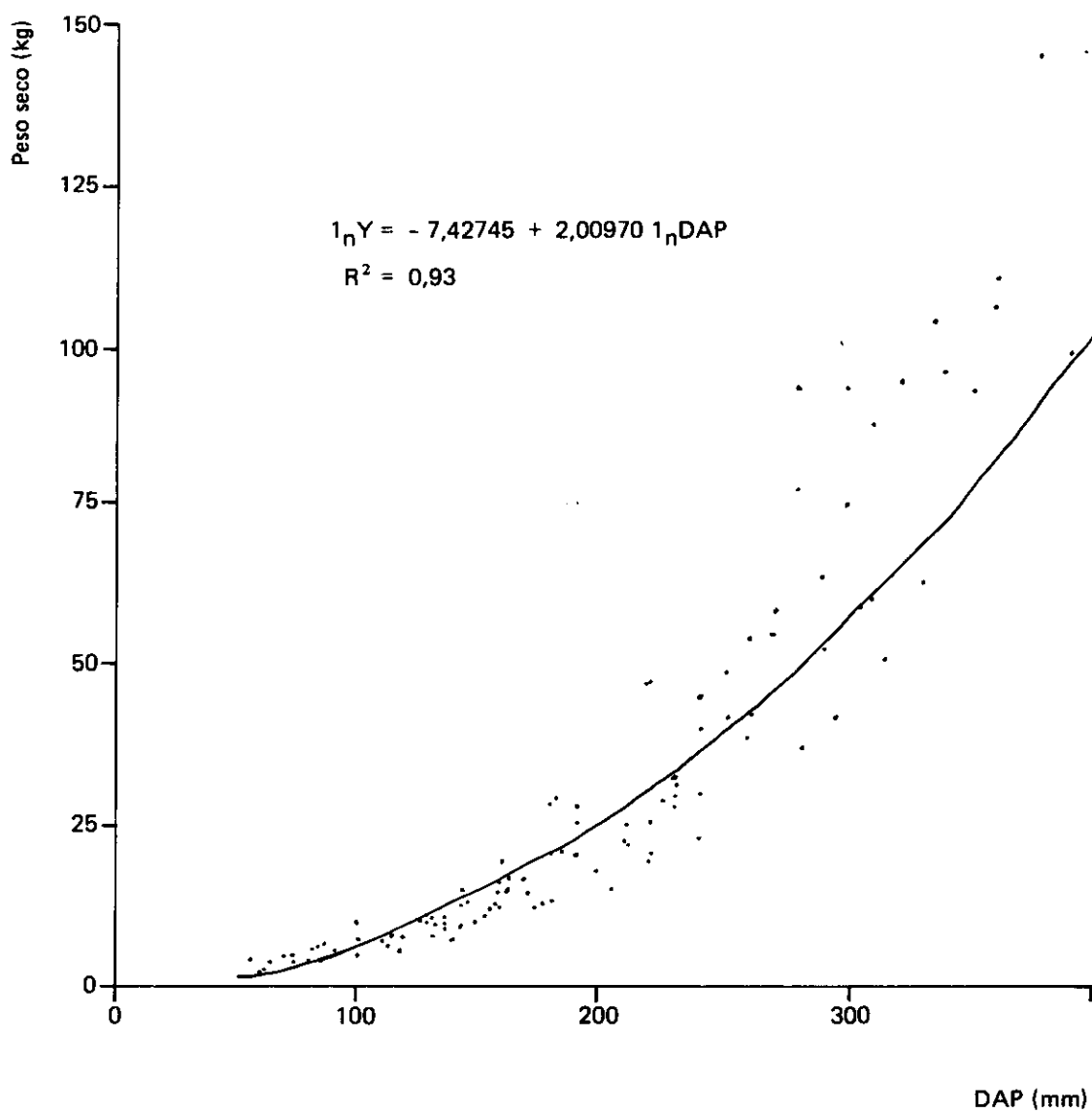


FIGURA 6. Equação genérica usada para estimar o peso da copa sem acículas.

QUADRO 6: Equações selecionadas para estimar os pesos secos dos componentes das árvores, com os respectivos fatores de ajuste, nos três povoamentos estudados.

Equação de Regressão	R ²	S _{xy}	F
Ramos pequenos: ln y = - 6,62962 + 1,35166 ln DAP	0,71	0,4127	274,7
Ramos médios: ln Y = - 9,21555 + 2,21703 ln DAP	0,92	0,3043	1359,8
Ramos grandes: Y = 16,07355 - 0,25224 DAP + 0,001068 DAP ²	0,85	7,6619	307,1
Acículas: ln Y = - 9,94864 + 2,25288 ln DAP	0,81	0,5142	491,6
Copa total: ln Y = - 7,30165 + 2,03766 ln DAP	0,94	0,2386	1868,6
Copa sem acículas: ln Y = - 7,42745 + 2,00970 ln DAP	0,93	0,2672	1449,1

4.3. Estimativa da biomassa residual

A biomassa residual, por unidade de área e idade do povoamento, foi calculada através da utilização das equações dos estimadores e da medição dos diâmetros das árvores que foram marcadas para serem retiradas durante as operações de desbaste (Quadro 7).

Os pesos secos da biomassa residual de cada componente da árvore, por unidade de área, em cada desbaste, calculados pelas equações específica e genérica, estão apresentados no Quadro 8.

Os valores das colunas do Quadro 8 não são aditivos, isto é, o peso total da copa não é exatamente igual à somatória dos pesos dos seus componentes, porque cada componente foi estimado através de sua própria equação.

As diferenças observadas entre os valores estimados pelas equações específicas e genérica, para cada componente da copa, foram sempre inferiores a 10%, excessão dos ramos grandes no 2º. e 3º. desbastes e das acículas em todos os desbastes. Portanto, os pesos da copa total e da copa sem acículas, parâmetros mais importantes para a avaliação do potencial energético, podem ser estimados através das equações genéricas, já que as diferenças entre estas e as específicas são pequenas (Figuras 7 e 8).

QUADRO 7. Árvores marcadas para serem derrubadas por ocasião dos desbastes, classificadas pelos respectivos diâmetros.

DAP (cm)	Número de árvores a serem retiradas nas parcelas		
	1º. desbaste (3.060 m ²)	2º. desbaste (10.200 m ²)	3º. desbaste (10.000 m ²)
2	1	—	—
3*	1	—	—
4	3	—	—
5	7	—	—
6	21	—	—
7	21	—	—
8	18	—	—
9	26	—	—
10	31	4	—
11	25	8	—
12	23	18	—
13	23	23	—
14	13	30	—
15	12	40	—
16	9	43	3
17	5	62	12
18	5	56	8
19	2	25	13
20	1	48	25
21	2	41	33
22	—	28	34
23	—	24	22
24	—	22	19
25	—	12	21
26	—	15	17
27	—	6	18
28	—	3	20
29	—	3	13
30	—	4	12
31	—	—	5
32	—	—	1
33	—	—	4
34	—	—	6
35	—	—	1
TOTAL	249	515	287
TOTAL/HA	814	505	287

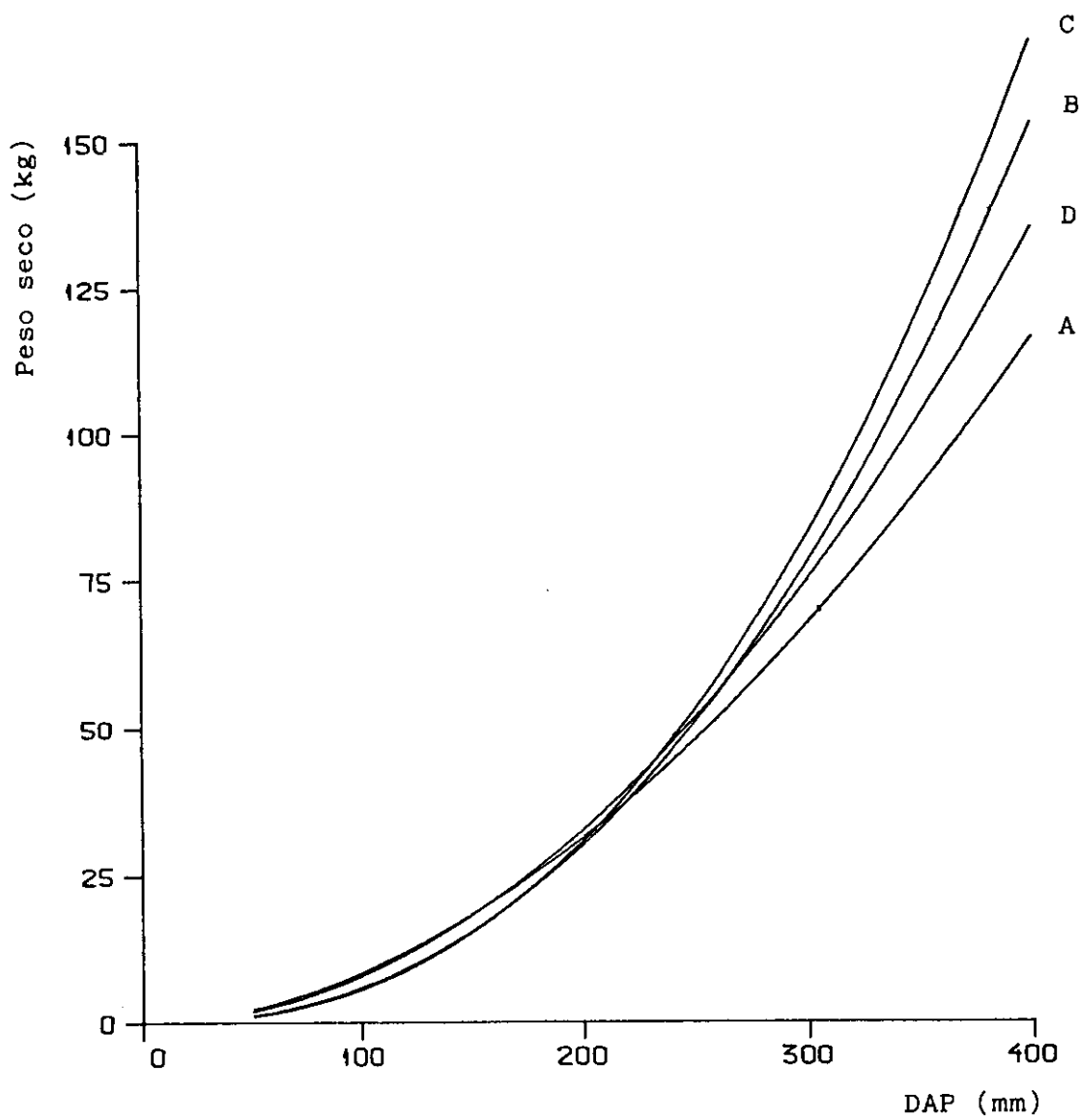


FIGURA 7. Equações estimadoras do peso da copa total. A - 1º desbaste; B - 2º desbaste; C - 3º desbaste; D - equação genérica.

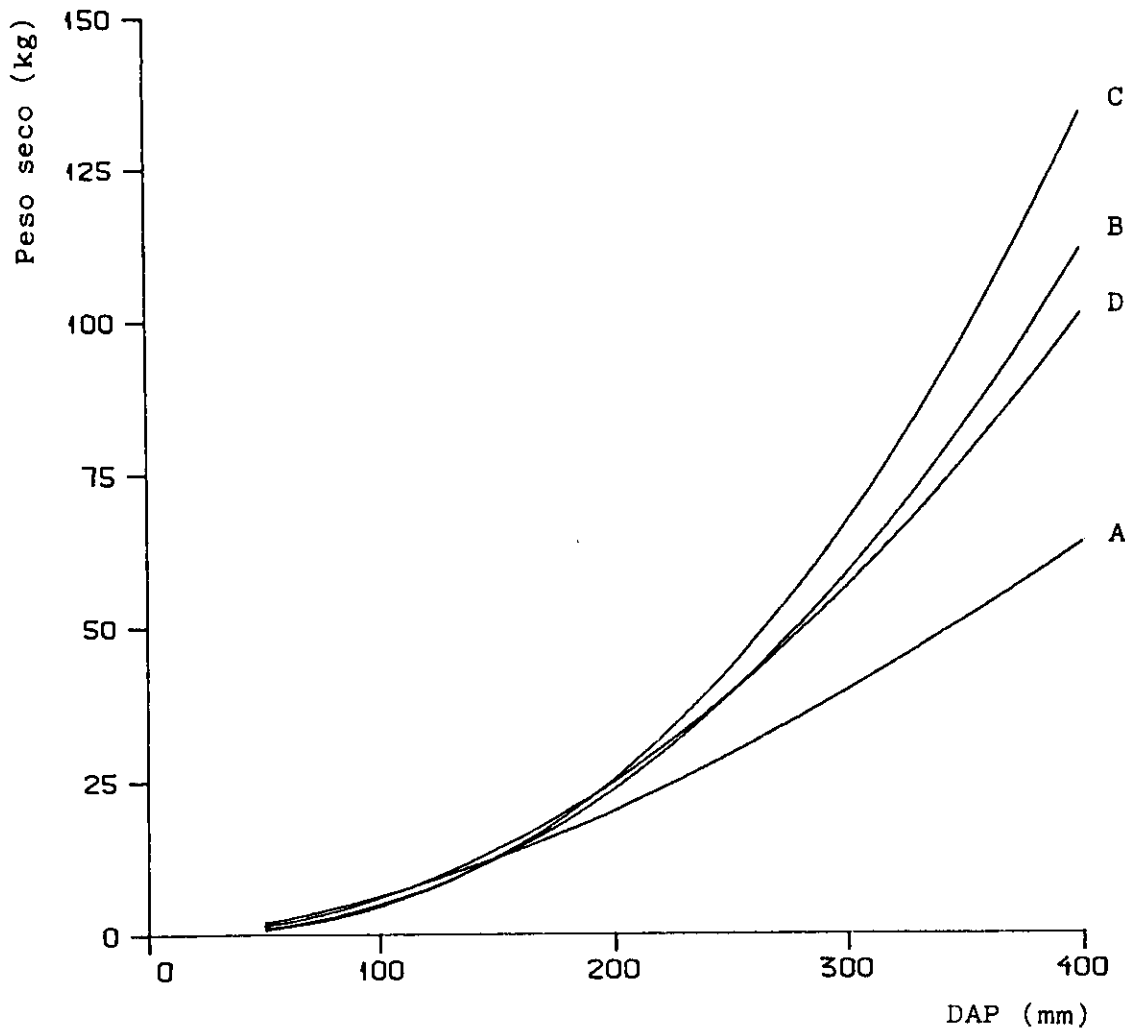


FIGURA 8. Equações estimadoras do peso da copa sem acículas. A - 1º desbaste; B - 2º desbaste; C - 3º desbaste; D - equação genérica.

QUADRO 8. Pesos secos da biomassa residual de cada componente da árvore, nos 3 desbastes, calculados pelas equações específica e genérica, em toneladas por hectare.

Componente	1º. Desbaste		2º. Desbaste		3º. Desbaste	
	Eq. espec.	Eq. genér.	Eq. espec.	Eq. genér.	Eq. espec.	Eq. genér.
Ramos pequenos	0,617	0,605	0,866	0,785	0,514	0,625
Ramos médios	3,001	2,900	5,845	5,711	5,379	5,562
Ramos grandes	2,251	2,099	2,990	3,919	6,111	5,323
Acículas	2,236	1,657	2,782	3,318	2,526	3,257
Copa total	8,547	8,266	13,805	14,972	14,432	14,000
Copa sem acículas	6,205	6,369	10,819	11,386	11,703	10,579

4.4. Poder calorífico do material residual

Foram feitas duas determinações do poder

calorífico de cada componente do material residual, cujos resultados, em valores médios, são apresentados no Quadro 9.

QUADRO 9. Poder calorífico dos componentes do resíduo florestal de *Pinus taeda*.

Componente	Poder calorífico do material seco ao forno (MJ/kg)	
	Superior	Efetivo
Ramos pequenos	20,76	19,52
Ramos médios	20,40	19,15
Ramos grandes	20,22	18,97
Acículas	20,92	19,68

Embora as diferenças não sejam grandes, o poder calorífico dos componentes analisados varia de acordo com a composição do material. Quanto maior a proporção de madeira no material, menor o seu poder calorífico. Isto porque a resina e outros produtos existentes em maiores proporções nas acículas e ramos mais finos apresentam poder calorífico superior ao da madeira (HAKKILA⁵).

A análise de variância dos dados detectou diferença significativa entre os valores do poder calorífico dos materiais, porém o teste SNK mostrou haver diferença significativa apenas entre as médias das acículas e dos ramos grandes.

4.5. Potencial energético dos resíduos

Para se estimar o potencial energético dos resíduos foram usados os pesos secos da copa

total e da copa sem acículas, nas três idades, obtidos através das equações genéricas e as médias ponderadas dos poderes caloríficos dos respectivos componentes. Para a copa total, onde na média dos três desbastes os ramos pequenos representam 6% do peso total, os ramos médios 40%, os ramos grandes 31% e as acículas 23%, o poder calorífico calculado foi de 19,24 MJ/kg. Para a copa sem acículas, onde os ramos pequenos correspondem a 8% do peso total, os ramos médios 52% e os ramos grandes 40%, o poder calorífico estimado foi 19,11 MJ/kg.

Os valores do potencial energético do material residual originário dos três desbastes, por unidade de área e a diferentes teores de umidade, são apresentados no Quadro 10.

QUADRO 10. Energia potencial dos resíduos deixados no terreno após os desbastes, estimada a diversos níveis umidade do material.

Teor de umidade/ componente	1º. Desbaste		2º. Desbaste		3º. Desbaste	
	Energia potencial		Energia potencial		Energia potencial	
	(GJ/ha)	TOE/ha	(GJ/ha)	TOE/ha	(GJ/ha)	TOE/ha
0% (seco ao forno):						
Copa total	159,0	3,9	288,1	7,1	269,4	6,6
Copa sem acículas	121,7	3,0	217,6	5,3	202,2	5,0
40%:						
Copa total	149,9	3,7	271,4	6,7	253,8	6,2
Copa sem acículas	114,8	2,8	205,2	5,0	190,6	4,7
80%:						
Copa total	140,9	3,5	255,2	6,3	238,6	5,9
Copa sem acículas	107,8	2,6	192,7	4,7	179,0	4,4
120%:						
Copa total	131,8	3,2	238,8	5,9	223,3	5,5
Copa sem acículas	100,9	2,5	180,4	4,4	167,6	4,1

Como a umidade dos resíduos produzidos pelos desbastes geralmente varia de 40 a 80% em relação ao peso seco (Mc MINN & NUTTER⁹; PHILLIPS¹¹), pode-se dizer que a energia potencial desses resíduos varia, nos três desbastes, de 2,6 a 5,0 toneladas equivalentes de óleo, quando se aproveitam apenas os ramos, ou de 3,5 a 6,7 TOE quando se incluem as acículas.

Uma das principais preocupações quanto à utilização dos resíduos florestais é a exportação dos nutrientes contidos na copa (PHILLIPS¹¹). SATOO¹⁴ afirma que o aproveitamento das folhas aumenta a exportação de nutrientes do ecossistema florestal e resulta no empobrecimento do solo. Segundo CARLISLE & METHVEN², as folhas contêm muito maior quantidade de nutrientes do que os ramos. Neste caso, o impacto de exportação de nutrientes sobre o solo pode ser minimizado se as folhas ou acículas forem deixadas no terreno. Por este motivo o potencial energético dos resíduos dos desbastes foram estimados com e sem o aproveitamento das acículas.

Futuramente se poderá, através de pesquisas adicionais, verificar se, para o local e espécie estudada, vale a pena, ecológica e economicamente, explorar toda a copa ou apenas os ramos, para a produção de energia. Não se deve também esquecer, nessa futura avaliação, que as cinzas resultantes da combustão dos resíduos florestais podem retornar à floresta como fertilizante

imediatamente disponível às plantas, ao contrário do material residual, que somente depois do lento processo de mineralização através da decomposição natural poderá ser aproveitado pelas árvores.

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados pelo trabalho permitem concluir o seguinte:

i) O DAP foi a variável independente mais eficiente para estimar os pesos de todos os componentes das copas das árvores, nos três povoamentos estudados.

ii) Com excessão dos ramos grandes no 1º. e 2º. desbastes e nos 3 desbastes em conjunto, onde a equação de segundo grau do tipo

$$Y = a + b \text{ DAP} + c \text{ DAP}^2$$

foi mais eficiente, todos os demais componentes, em todos os desbastes, foram melhor estimados através de equações logarítmicas do tipo

$$\ln Y = a + b \ln \text{ DAP}$$

iii) As equações genéricas, geradas pelos dados dos três povoamentos em conjunto, pelos bons

ajustes apresentados e pelo aspecto prático de se usar apenas uma equação por componente, foram indicadas para estimar a biomassa residual nos três desbastes.

iv) O peso total da biomassa residual, calculado através da equação genérica, foi de 8,266 ton/ha no 1º. desbaste, 14,972 ton/ha no 2º. desbaste e 14,000 ton/ha no 3º. desbaste.

v) O poder calorífico de cada componente da copa foi 19,52 MJ/kg para os ramos pequenos; 19,15 MJ/kg para os ramos médios; 18,97 MJ/kg para os ramos grandes; e 19,68 MJ/kg para as acículas. As médias ponderadas, usadas para estimar o potencial energético dos resíduos, foram de 19,24 e 19,11 MJ/kg para copa total e copa sem acículas, respectivamente.

vi) Os potenciais energéticos dos resíduos da copa total, para material seco ao forno, foram de 3,9 TOE/ha, 7,1 TOE/ha e 6,6 TOE/ha no 1º., 2º. e 3º. desbastes, respectivamente.

vii) Considerando apenas o material lenhoso da copa, isto é, ramos sem acículas, também secos ao forno, os potenciais energéticos foram de 3,0 TOE/ha, 5,3 TOE/ha e 5,0 TOE/ha no 1º., 2º. e 3º. desbastes, respectivamente.

viii) Aumentando-se os teores de umidade dos resíduos para 40, 80 e 120%, os potenciais energéticos se reduzem, respectivamente, para cerca de 94, 89 e 83% dos valores originalmente calculados para peso seco ao forno.

6. RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram: i) avaliar a quantidade de material residual remanescente em operações de desbaste em *Pinus taeda*; ii) determinar o poder calorífico dos diversos componentes desse resíduo; e iii) estimar o potencial de produção de energia, por unidade de área, desse mesmo resíduo. Os dados foram coletados em plantações de 7, 10 e 14 anos de idade, que seriam submetidos, respectivamente, ao 1º., 2º. e 3º. desbastes, localizadas no município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná, pertencentes as Indústrias Klabin de Papel e Celulose. Para se obterem as equações estimadoras do peso seco da biomassa foram derrubadas 51 árvores no povoamento de 7 anos, 39 no de 10 anos e 25 no de 14 anos. Estas árvores foram desgalhadas e o material residual dividido nas seguintes categorias: acículas, ramos pequenos (diâmetro < 0,7 cm), ramos médios (0,7 a 2,5 cm) e ramos grandes (2,5 a 7,0 cm). O material com diâmetro superior a 7,0 cm, por ser utilizado comercialmente, não foi incluído como resíduo. Das árvores amostradas se mediram o diâmetro, a altura total e a altura comercial, que

foram as variáveis independente usadas para gerar as equações estimadoras dos pesos secos dos componentes das copas. Amostras de todos os componentes da copa foram secas em estufa para determinação do peso seco e do poder calorífico dos componentes. Os resultados mostraram que o DAP foi a variável independente mais eficiente para estimar os pesos secos de todos os componentes das árvores. Com exceção dos ramos grandes, que foram melhor estimados através de uma equação de segundo grau do tipo $Y = a + b \text{ DAP} + c \text{ DAP}^2$, todos os demais componentes da copa foram estimados com maior precisão através de equações logarítmicas do tipo $\ln Y = a + b \ln \text{ DAP}$. O peso seco total da biomassa residual, calculada através da equação genérica, que incluía os dados dos três povoamentos, foi de 8,266 ton/ha, 14,972 ton/ha e 14,000 ton/ha no 1º., 2º. e 3º. desbastes, respectivamente. O poder calorífico médio usado nos cálculos foi de 19,24 MJ/kg para a copa total e 19,11 MJ/kg para a copa sem acículas. O potencial energético dos resíduos da copa total, para material seco ao forno, foi de 3,9 TOE/ha no 1º. desbaste, 7,1 TOE/ha no 2º. e 6,6 TOE/ha no 3º. desbaste. Considerando apenas o material lenhoso da copa, isto é, excluindo-se as acículas, o potencial energético, também para material seco ao forno, foi de 3,0 TOE/ha, 5,3 TOE/ha e 5,0 TOE/ha no 1º., 2º., e 3º., desbastes, respectivamente. Teores de umidade de 40, 80 e 120% em relação ao peso seco reduzem o potencial energético dos resíduos para, respectivamente, 94, 89 e 83% dos valores originalmente calculados.

7. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a imprescindível colaboração que tiveram das Indústrias Klabin de Papel e Celulose, que cederam a área para o estudo, e das seguintes pessoas: Engenheiro Florestal Sérgio Valiengo Valeri, pela coleta de dados de campo e trabalhos de laboratório, Engenheiro Florestal Juha Nurmi, pelo apoio na determinação do poder calorífico do material e do Sr. Hannu Aaltio, no processamento dos dados.

8. LITERATURA CITADA

- BRITO, J. O. Madeira para a floresta: a verdadeira realidade do uso de recursos florestais. *Silvicultura* 11 (41): 188 - 193. 1986.
- CARLISLE, A. & METHVEN, I. R. The environmental consequences of intensive forestry and the removal of whole trees. In *Proceedings of an International Workshop on Biological and Sociolo-*

- gical Basis for a Rational Use of Forest Resources for Energy and Organics. East Lansing, U. S. Forest Service: 108 - 120. 1979.
3. CCUNTRYMAN, C. M. The nature of heat. U. S. Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 1977. 11 p.
 4. FARINHAQUE, R. Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) e aspectos gerais de combustão. Curitiba, FUPEF, Série Técnica n^o. 6, 1981. 13 p.
 5. HAKKILA, P. Forest chips as fuel for heating plants in Finland. Folia Forestalia n^o. 586: 1 - 62. 1984.
 6. HAKKILA, P. Recycling of wood and bark ash. Helsinki, Metsantutkimuslaitoksen tiedonantoja 211, 1986. 44 p.
 7. HOWARD, J. O. Wood for energy in the Pacific Northwest: an overview. U. S. Forest Service, General technical Report PNW - 94, 1979. 28 p.
 8. KARCHESY, J. & KOCH, P. Energy production from hardwoods growing on southern pine sites. U. S. Forest Service, General Technical Report SO - 24, 1979. 59 p.
 9. McMINN, J. W. & NUTTER, W. L. Energy wood harvesting - a study of promises and pitfalls. Georgia Forest Research Paper 17, 1981. 7 p.
 10. MENDONÇA FILHO, W. F. Aspectos atuais da exploração florestal no Brasil - sistemas e mecanização. Silvicultura 11 (41): 120 - 127. 1986.
 11. PHILLIPS, D. R. Forest residue: a significant source of energy. Southern Lamberman, Dec. 15:101 - 103. 1979.
 12. PHILLIPS, D. R. & VAN LEAR, D. H. Biomass removal and nutrient drain as affected by total-tree harvest in southern pine and hardwood stands. Journal of Forestry 82(9): 547 - 550. 1984.
 13. PINHEIRO, G. S. & SOARES, R. V. Tabelas de peso da biomassa de copas de *Pinus* tropicais na região de Sacramento, MG. Revista Floresta 14(1): 14 - 23. 1983.
 14. SATOO, T. Accumulation of energy in forests. In. Proceedings of an International Workshop on Biological and Sociological Basis for a Rational Use of Forest Resources for Energy and Organics. East Lansing, U. S. Forest Service: 82 - 98. 1979.
 15. SAUCIER, J. R. Diversified use of wood for fuel - its potential limitations. In Timber demand: the future is now. Madison, Forest Product Research Society: 154 - 157. 1980.
 16. SMITH, N. Wood: an ancient fuel with a new future. Wordlwatch Paper 42, 1981. 48 p.
 17. SOARES, R. V. Incêndios florestais: controle e uso do fogo. Curitiba, FUPEF, 1985. 213 p.
 18. SOARES, R. V. & HOSOKAWA, R. T. Estimativa da biomassa energética de árvores de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth). I.B.D.F., Boletim Técnico n^o. 8: 37 - 48. 1984.
 19. SPROUL, R. C.; PARKER, R. B. & BELVIN, W. L. Whole-tree harvesting. Forest Products Journal 7(4): 131 - 134. 1957.
 20. STEEL, R. G. D. & TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics. New York, McGraw-Hill, 1960. 481 p.
 21. STOREY, T. G.; FONS, W. L. & SAUER, F. M. Grown characteristics of several conifers tree species. U. S. Forest Service, Intermountain Technical Report 416, 1955. 95 p.
 22. TOMASELLI, I.; SILVA, L. B. X. & REICHMANN NETO, F. Energy potential of 23 species from fast growing plantations. Madison, IUFRO Division V Conference on Energy from Biomass, 1983. 12 p.
 23. VON DROSTE, B. Forest biomass for energy. In Proceedings of an International Workshop on Biological and Sociological Basis for a Rational Use of Forest Resources for Energy and Organics. East Lansing, U. S. Forest Service: 17 - 20. 1979.
 24. WADE, D. D. Estimating slash quantity from stading loblolly pine. U. S. Forest Service, Research Paper INT - 197, 1969. 56 p.
 25. WOODARD, P. M. Predicting crown slash weights in Douglas-fir. Seattle, University of Washington, M. Sc. Thesis, 1974. 94 p.
 26. ZAVITKOVSKI, J. Dry wieght and leaf area of aspen trees in northern Wisconsin. In Forest biomass studies, University of Florida: 192 - 206. 1971.