

USO DA TÉCNICA DE ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA
NO ESTUDO DA BIOMASSA DE *Eucalyptus grandis*

MARCOS ANTONIO DE REZENDE

- Físico -

Orientador: Prof. Dr. EPAMINONDAS SANSÍGOLO DE BARROS FERRAZ

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Energia Nuclear na Agricultura.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Junho - 1984

Aos meus pais e irmãos,
pelo constante apoio,
contribuindo indiretamente
na realização deste trabalho,

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

- ao *Dr. Epaminondas Sansigolo de Barros Ferraz*, pela orientação e incentivo durante a realização deste trabalho;
- ao *Departamento de Silvicultura da ESALQ/USP* e ao *IPEF*;
- aos professores *Luiz E. G. Barrichelo, Virgílio Franco do Nascimento Filho, Paulo L. Libardi, Nilson A. Villa Nova, Ricardo B. Sgrillo, José O. Brito*;
- à *DURATEX S.A.* e aos engenheiros *Raul Chaves* e *Ângelo Di Ciero Neto*, pelos estímulos e auxílios prestados na realização deste trabalho;
- aos companheiros de trabalho: *Prof. Aparecido dos Reis Coutinho, Prof. Helder de Oliveira, Otacy Mello Menezes, Carlos Gilberto Carvalho, Antonio O. Manzi, Jefferson Mortatti, Orgheda Zucchi*;
- às *bibliotecárias* do *CENA/USP* e do *IPEF*;
- à *FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos*, através do convênio de número 5.4.820559.00;
- à *CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear*, pela bolsa concedida;
- ao *CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura*;
- à *ESALQ - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*.

Í N D I C E

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Uso de radioisótopos no estudo das propriedades físicas da madeira	3
2.2. Variações da densidade na árvore	5
2.3. Energia da madeira	7
2.4. Idade de corte	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Amostragem	11
3.2. Preparo das amostras	11
3.3. Instrumental de detecção de radiação gama	13
3.4. Densidade e atenuação da radiação gama	15
3.5. Cálculo da densidade da madeira (método automático) ...	17
3.6. Densidade média acumulada anualmente	20
3.7. Conversão da densidade básica em densidade à base de volume e massa seca	21
3.8. Cálculo dos parâmetros: incremento corrente anual de massa, ICA(m), e incremento corrente anual de volume, ICA(v) no DAP, por unidade de altura	22
3.9. Idade de corte	25
3.10. Poder calorífico da madeira	25
3.11. Cálculo do poder calorífico	26

	<u>Página</u>
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1. Densidade	28
4.1.1. Densidade anual da madeira pelo método da atenuação da radiação gama	28
4.1.2. Densidade média ponderada das amostras pelos métodos gravimétrico e atenuação gama	38
4.1.3. Conversão da densidade básica em densidade à base de volume e massa seca	42
4.2. Determinação do crescimento volumétrico anual e idade de corte a nível de DAP, por unidade de altura	45
4.3. Determinação do crescimento anual de massa e idade de corte a nível de DAP por unidade de altura	51
4.4. Determinação do crescimento anual de energia e idade de corte a nível de DAP por unidade de altura	57
5. CONCLUSÕES	63
6. LITERATURA CITADA	65
APÊNDICE	72

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela</u>	<u>Página</u>
1 - Valores de densidade média anual à base de volume e de massa seca para o Grupo I (g/cm^3)	30
2 - Valores de densidade média anual à base de volume e de massa seca para o Grupo II (g/cm^3)	31
3 - Valores de densidade média anual à base de volume e de massa seca para o Grupo III (g/cm^3)	32
4 - Valores de densidade média anual à base de volume e de massa seca para o Grupo IV (g/cm^3)	33
5 - Valores de densidade média anual para os quatro grupos no DAP, em g/cm^3	34
6 - Média geral (46 amostras) para densidade média anual e densidade média acumulada no DAP (g/cm^3)	36
7 - Valores da densidade média de cada amostra, obtida pelos métodos: gravimétrico e atenuação gama, no DAP (g/cm^3)	39
8 - Valores médios da densidade de cada grupo no DAP pelos dois métodos de determinação: gravimétrico e atenuação gama (g/cm^3)	40
9 - Valores da densidade básica (D_B) e densidade à base de	

Tabela

Página

	volume e massa seca, obtidos para uma mesma amostra, na forma retangular, com as dimensões 2 x 2 x 10 cm	43
10	- Valores médios dos incrementos de volume, considerando-se hipoteticamente um cilindro com altura de 1,0 cm, a nível de DAP (cm ³)	48
11	- Valores médios dos incrementos de massa, considerando-se hipoteticamente um cilindro com altura de 1,0 cm, a nível de DAP (gramas)	53
12	- Poder calorífico anual (em cal/g), para amostras de <u>Eucalyptus grandis</u> , no DAP	59
13	- Análise de variância para os valores do poder calorífico anual para amostras de <u>Eucalyptus grandis</u> no DAP ...	60
14	- Valores médios dos incrementos de energia, em Kcal, considerando-se hipoteticamente um cilindro com altura de 1,0 cm, tomado no DAP	62

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1 - Esquema da geometria utilizada na atenuação de radiação gama, por amostras de madeira	14
2 - Resultado de uma análise densimétrica de uma amostra de <u>Pinus elliotis</u> de 18 anos, procedente de Mogi-Guaçu (SP), realizada pelo método automático (adaptado de PEREIRA, 1982)	19
3 - Densidade média anual para os 4 grupos, classificados por classe de diâmetro (DAP)	35
4 - Densidade média anual e densidade média acumulada para os 4 grupos reunidos, no DAP (46 amostras)	37
5 - Densidade à base de volume e massa seca, em função do diâmetro (DAP)	41
6 - Relação linear entre as duas formas de densidade: densidade básica (D_B) e densidade à base de volume e massa seca (ρ_s)	44
7 - Aspecto da variação do incremento corrente anual de volume, expressos em cm^3 , para <u>Eucalyptus grandis</u> com 13 anos de idade	49
8 - Aspecto da variação obtida para os parâmetros Incre-	

Figura

Página

	mento Corrente Anual de Volume e Incremento Médio Anu al de Volume, no DAP, por unidade de altura (cm ³) ...	50
9	- Aspecto da variação obtido para: incremento corrente anual de massa, para <u>Eucalyptus grandis</u> , no DAP, por unidade de altura	54
10	- Aspecto da variação obtido para os parâmetros ICA(m) e IMA(m), para <u>Eucalyptus grandis</u> , no DAP, por unidade de altura	55
11	- Aspectos da variação para os parâmetros ICA(m) e ICA (v), em porcentagem, para <u>Eucalyptus grandis</u> , com 13 anos de idade, no DAP, por unidade de altura	56
12	- Variação do poder calorífico anual para amostras de <u>Eucalyptus grandis</u> , 13 anos, em cal/g	60
13	- Aspecto da variação obtido para os parâmetros ICA(E) e IMA(E), para <u>Eucalyptus grandis</u> no DAP, por unidade de altura	61

USO DA TÉCNICA DA ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA
NO ESTUDO DA BIOMASSA DE *Eucalyptus grandis*

Marcos Antonio de Rezende

Epaminondas Sansigolo de Barros Ferraz
Orientador

RESUMO

Foram analisadas amostras de *Eucalyptus grandis* com 13 anos de idade, com o uso da técnica da atenuação da radiação gama. Através do perfil de densidade obtido, foi possível determinar a densidade média em cada anel anual para as amostras divididas em quatro grupos por classe de diâmetro, tomado à altura do peito. Considerou-se como um ano de vida da árvore, o período decorrido para a formação de dois anéis outonais consecutivos, ou seja, dois picos de alta densidade. Procurou-se determinar os incrementos anuais no diâmetro à altura do peito por unidade de altura, com base em volume, massa e energia, e também estimar a idade de corte para cada um desses incrementos e a relação existente entre eles. Procurou-se também enfatizar a importância que se deve considerar com respeito a variações da densidade e do poder calorífico, no sentido medula-casca, nas determinações da idade de corte. Apesar do estudo ter sido dirigido exclusivamente ao diâmetro à altura do peito, é

perfeitamente possível quantificar volume, massa e energia a nível de árvore, pelo método utilizado. O método, além de ser um método praticamente pontual e não destrutivo, possibilita diminuir o número de medidas anuais e operações de campo, não exigindo, em alguns casos, conhecimentos anteriores para a floresta. Uma outra vantagem assinalada pelo método é que as determinações podem ser feitas com as amostras a baixo teor de água, diminuindo, assim, os erros causados pela umidade. Foi verificada uma densidade crescente até o décimo ano aproximadamente, vindo a partir daí a decrescer lentamente até o décimo terceiro ano. O poder calorífico sofreu um pequeno decréscimo no sentido medula-casca e as idades de corte para as amostras analisadas a nível de DAP com base em incrementos anuais de volume, massa e energia foram, respectivamente: 8,8, 11,9 e 11,7 anos. Verificou-se também, para as amostras tomadas no diâmetro à altura do peito, que os incrementos correntes anuais de volume, massa e energia apresentaram pontos de máximos, respectivamente em: 5,1, 8,1 e 8,0 anos.

BIOMASS OF *Eucalyptus grandis* COFFS HARBOUR, BY GROWTH-RING IDENTIFICATION
USING THE GAMMA-RAY ATTENUATION TECHNIQUE

Marcos Antonio de Rezende

Epaminondas Sansigolo de Barros Ferraz
Adviser

SUMMARY

Samples of 13-year old *Eucalyptus grandis* were analysed using the gamma-ray attenuation technique. The density was obtained through the profile, and it was then possible to determine the mean density for each annual ring of the samples, divided into four groups according to the class of the breast-height diameter. The period from formation of two consecutive late-wood rings, i.e. two high density peaks, was considered as one year of tree life. An attempt was made to determine the annual increments at breast-height diameter, per height unit, based on volume, mass and energy, trying to estimate the cutting age for each of these elements and the relationship between them. Emphasis was also put on the importance with which density variations, and core to cork calorific value, should be considered when determining the cutting age. Although the study has been exclusively oriented to

diameter at breast-height, it is perfectly possible to quantify volume, mass and energy at tree level with the method used. This method, besides being accurate and non-destructive, makes it possible to lessen the number of annual measurements and field operations, in some cases not even requiring a previous knowledge of the forest. Another advantage of the method is that the determinations can be made with samples at low moisture, thus diminishing the possibility of errors caused by water content. An increasing density was noted approximately until the tenth year, then slowly decreasing until the thirteenth year. The calorific value decreased slightly from core to cork, and sampling cutting ages for analysis, at breast height diameter, based on annual improvement of volume, mass and energy were 8.8, 11.9 and 11,7 years, respectively.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as possíveis fontes de energia, a madeira possui um lugar de destaque, principalmente por sua fácil utilização e aproveitamento simples e "natural" da energia solar.

Segundo o Dr. Egon Glesinger, vice-diretor da FAO, a madeira vai se tornar a matéria prima de nossa civilização, porque possui três qualidades inigualáveis (FLORESTAL ACESITA, 1979). Ela é "universal" pela sua flexibilidade, sendo capaz de fornecer combustíveis, lubrificantes, celulose, materiais mobiliários e materiais de construção. É "abundante", quando se compara às imensas áreas florestais existentes com as regiões produtoras de carvão mineral, petróleo e minérios de ferro. É "inesgotável", pois uma floresta pode fornecer continuamente energia quando submetida a um sistema racional de exploração e manejo.

O Brasil, pela sua localização geográfica, reúne condições favoráveis ao desenvolvimento de florestas de rápido crescimento. O Eucalipto é uma espécie que, além de possuir essa qualidade, é pouco exigente quanto à qualidade do solo, se adaptando facilmente ao clima e altitude.

Portanto, se torna viável a utilização da madeira como fonte alternativa de energia em maior escala. Desta forma, é de fundamental importância quantificar e qualificar o material produzido no sentido de otimizar a idade de corte e contribuir no desenvolvimento de técnicas de melhoramento e silvicultura.

A técnica de atenuação gama, juntamente com técnicas calorimétricas, reúne condições no sentido de ampliar o conhecimento das propriedades físicas da madeira, quantificar o conteúdo energético e qualificar o produto florestal, relacionados aos fatores ambientais.

Neste trabalho, procurou-se estudar o comportamento anual do Eucalyptus grandis com as amostras tomadas no DAP, relacionadas à densidade, volume, massa e energia. Dessa forma, a idade de corte, ou período de rotação da floresta, pode ser determinada em função de qualquer um desses parâmetros. Considerou-se importante as variações anuais da densidade e poder calorífico na determinação da idade de corte, no sentido de estabelecer relações entre as mesmas, ou seja, relacionar a idade de corte obtida através de cada um dos parâmetros acima considerados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Uso de radiação no estudo das propriedades físicas da madeira

A radiação tem se manifestado, ao longo dos anos, uma boa ferramenta para o estudo das propriedades físicas da madeira. A literatura registra que há mais de 20 anos, vários pesquisadores vêm estudando o assunto e tentando desenvolver metodologias que proporcionem resultados rápidos e precisos.

Um dos primeiros a empregar o método de atenuação da radiação para o estudo das propriedades físicas da madeira foi CAMERON et alii (1959), que utilizou um feixe de radiação beta do ^{90}Sr , e PHILLIPS (1960), também utilizando radiação beta do ^{90}Sr , com uma metodologia mais aperfeiçoada.

POLGE (1965) apresenta as bases teóricas para medidas de densidade de amostras de madeira utilizando raio X. O autor descreve a metodologia experimental baseando-se nos aspectos de formação de imagens radiográficas.

Trabalhando com radiação gama, PARRISH (1961) utiliza várias fontes radioativas, como: ^{113}Sn , ^{125}I , ^{169}Yb , ^{145}Sm e ^{137}Cs e quatro espécies de madeira, para a determinação de defeitos internos. O autor assinala que 23 keV deve ser usado para madeiras de baixa densidade e 135 keV para espécies com alta densidade.

Procurando melhorar fatores como sensibilidade, detecção e amostragem, FERRAZ (1976) descreve com detalhes a utilização da radiação gama do ^{241}Am , com energias de 59,6 keV, 26,4 keV e 32,2 keV, de intensidades relativas, respectivamente, 35,9%, 2,5% e 0,17%. O autor cita as vantagens do uso do ^{241}Am , como: meia-vida longa de 458 anos e fácil blindagem, oferecendo maior segurança ao operador.

Continuando os trabalhos desenvolvidos por Ferraz, PINTO (1978), utilizando um feixe largo de radiação gama do ^{241}Am , descreve uma metodologia para a determinação da densidade da madeira, AGUIAR (1980) estuda a distribuição dos gradientes de umidade na madeira, abaixo e acima do ponto de saturação de fibra, TROVATTI (1982) determina os perfis radiais de densidade dos anéis de crescimento, pela técnica de atenuação da radiação gama, com a finalidade de estudar as variações do clima nos períodos passados e presente, e PEREIRA (1982) estuda a influência do ritmo de crescimento na densidade da madeira de Pinus ellioti Engem, var. elliottii e COUTINHO (1984) estuda a qualidade do carvão vegetal de Eucalyptus saligna Smith correlacionada com a temperatura de carbonização e a madeira de origem.

2.2. Variações da densidade na árvore

BURGER (1947), estudando Quercus spp, concluiu que a densidade tende a decrescer com a idade e que as árvores mais jovens são mais densas que as idosas. O mesmo resultado foi encontrado por BRISCOE (1963) para o gênero Fraxinus.

Alguns estudos realizados no grupo das Angiospermas de poros difusos por alguns autores citados por FERREIRA (1968), como: Murthy (1959) analisando Gontylus bancana, Curró (1957) analisando Eucalyptus camaldulensis Dehn, Tamolang e Balcita (1957) trabalhando com Diplodiscus paniculatus Turcz, concluíram que a densidade aumenta com a idade. Entretanto, alguns autores, como BRISCOE (1963), afirmam que para algumas espécies, a densidade decresce no sentido medula-casca.

FOELKEL et alii (1983) realizaram estudos sobre a variabilidade radial da madeira de Eucalyptus saligna com nove anos de idade. Como resultados, elaboraram o modelo de variação da densidade básica da madeira, o qual apresenta um crescimento gradual no sentido medula-casca, sendo a madeira de cerne menos densa que a de alburno. Essa característica vem reforçar a informação de que nas idades em que o E. saligna é explorado, em torno de sete a dez anos, a madeira de alburno é que possui maior densidade. Através das diversas informações existentes na literatura para a madeira de coníferas, o modelo mais comum é aquele em que a densidade é crescente no sentido medula-casca e decrescente com a altura da árvore. BRASIL (1982), analisando a madeira de Pinus elliotti var. em três regiões do Estado de São Paulo, com idades de 11, 12, 13, 17, 18 e 19 anos, concluiu que a densidade básica da árvore cresce com a idade. E ainda concluiu que a densidade básica da árvore

D_B pode ser estimada em função da densidade ao nível do DAP, pela equação:

$$D_B = 0,0455 + 0,8062 D_d$$

sendo D_d = densidade no DAP.

Vários autores têm se manifestado no decorrer do tempo bastante interessados em estabelecer correlações entre o ritmo de crescimento e a densidade da madeira. Os resultados obtidos, muitas vezes têm a apresentado divergências, e são bastante variáveis.

ELLIOTT (1970) relata uma série de trabalhos em que encontrou uma correlação negativa entre a densidade e ritmo de crescimento e outros em que esta correlação mostrou-se inexpressiva. Ele atribui a estas divergências uma série de fatores como: padrões de amostragem, idade das árvores amostradas, grau de competição, disponibilidade de água e influência das características da copa na época da amostragem.

FIELDING (1967) relata para o gênero de Pinus que, embora o ritmo de crescimento afete apreciavelmente o peso específico mediante uma correlação negativa, em alguns casos os efeitos não são relevantes, principalmente em comparação com as variações dentro da árvore.

FERREIRA (1968,1970) concluiu que para Eucalyptus alba Reinw, de cinco e sete anos, não houve diferença significativa da densidade básica com o DAP, e destacou que as diferenças individuais foram marcantes. Entretanto, para Eucalyptus saligna Smith ele concluiu que houve um acréscimo da densidade com o diâmetro no DAP. Ainda, o autor concluiu para Eucalyptus grandis Hill ex maiden, nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos, que as árvores mais vigorosas têm, em média, maior densidade básica

que as menos vigorosas.

PEREIRA (1982), analisando amostras de Pinus elliotti engelm var, mostrou que o ritmo de crescimento e a densidade básica mostraram-se altamente correlacionados. A equação obtida foi:

$$D_B = 0,289020 - 0,008200 \text{ DAP} + 0,028349 \text{ h}$$

sendo: D_B = densidade básica;

DAP = diâmetro à altura do peito;

h = altura (m).

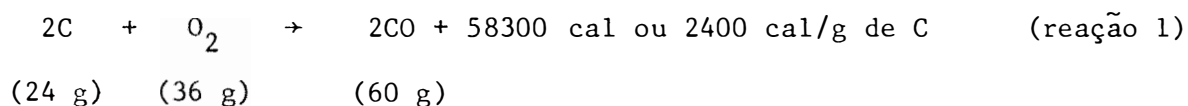
Desta forma, as árvores mais altas e delgadas foram as que produziram madeira mais densa.

2.3. Energia da madeira

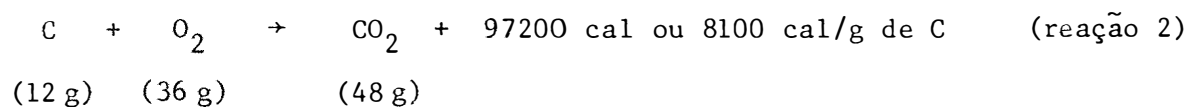
A queima da madeira para fins energéticos representa uma das formas mais simples de utilização da energia solar. Através da fotosíntese, a energia solar é armazenada pelas plantas; para a madeira, essa energia pode ser calculada anualmente pelos anéis de crescimento. Alguns autores sugerem que um dos critérios mais adequados para se avaliar a produtividade de comunidades vegetais é determinar a eficiência fotossintética. Para estimar a eficiência fotossintética, é necessário ter-se informações da produção de matéria seca, poder calorífico e do comportamento qualitativo e quantitativo da radiação solar interagindo com a comunidade vegetal.

Denominam-se combustíveis as substâncias que, ao se combinarem com o oxigênio, desprendem calor. Tal processo é denominado de combustão, o qual inclui reações físicas e químicas regidas por uma série de princípios. Geralmente, essas reações ocorrem entre o oxigênio, carbono e hidrogênio. O carbono, combinado com o oxigênio, pode produzir as seguintes reações (BRITO, 1979):

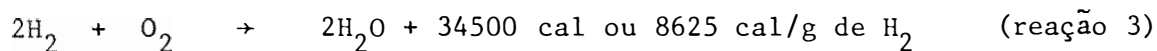
a) formando o óxido de carbono (CO), com o desprendimento de 2400 calorias por grama de carbono:



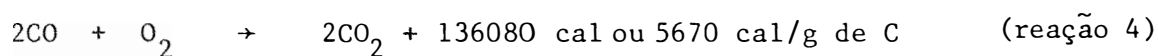
b) formando o gás carbônico (CO₂), com o desprendimento de 8100 calorias por grama de carbono:



O hidrogênio, combinando-se com o oxigênio, forma a água, com a produção de 8625 calorias por grama de hidrogênio:



Normalmente, havendo quantidade suficiente de O₂ para o processo, as reações 2 e 3 são as mais importantes. Na reação 1, a formação de CO indica combustão incompleta, pois esse gás, por ser combustível, ainda pode liberar calor.



Somando-se o calor liberado nas reações 1 e 4, obtêm-se 8100 cal, que é justamente o calor liberado pela reação 2. Esse fato dá indicação de que, na realidade, 1 e 4 são reações intermediárias da reação 2.

2.4. Idade de corte

Para se determinar a idade de corte de uma floresta ou parte desta, vários fatores devem ser considerados, de acordo com a finalidade da madeira. A idade de corte inclui fatores biológicos, econômicos e tecnológicos relacionados com a qualidade da madeira produzida. Portanto, a idade de corte está intimamente ligada a fatores como: espécie, espaçamento entre as árvores e local.

FERREIRA e TIMONI (1980), estudando a idade de corte para Eucalyptus urophila, Eucalyptus saligna e Eucalyptus grandis, com produtividade média de 30 st/ha/ano, concluíram que a idade de corte seria antes do sexto ano e, se fosse manter o crescimento do povoamento florestal no máximo de seu potencial de produção de matéria seca, o corte deveria ser feito próximo do sétimo ano.

De acordo com JOHNSTON et alii (1972), a antecipação na idade dos cortes normais pode ser influenciada por alguns fatores, tais como: pretensão de criar empregos, necessidade de rendimentos para pagar parte dos salários, demanda do material, aumento dos preços reais esperados, aumento do custo das operações florestais, aliado à instalação do plantio posterior.

PACHECO (1981) estuda a idade ótima de corte de eucalipto para carvão vegetal nas condições da região de Santa Bárbara, MG. O autor analisa os efeitos de diferentes níveis de taxas de juros de mercado sobre o período de corte do eucalipto.

FERRAZ e FONSECA (1980) estudam o padrão de crescimento da Mimosa bracaatinga, através da análise dos anéis de crescimento, como objetivo de obter a melhor idade de corte. O autor conclui que a espécie atinge sua idade adulta entre o oitavo e o nono ano.

HOFFMAN e BERGER (1973), analisando os aspectos econômicos da determinação da idade ótima de corte para Eucalyptus saligna, Eucalyptus grandis, Eucalyptus alba e Eucalyptus propinqua, concluiu que a idade de corte varia conforme a espécie e espaçamento, entre 5,4 e 6,2 anos. E ainda relataram que, à medida que a taxa de juros aumenta, diminui o valor da idade ótima de corte. Para juros de 5% ao ano, a idade ótima estimada é, em média, igual a 8,0 anos e para juros de 18% ao ano, a idade ótima de corte é, em média, de 4,7 anos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Amostragem

As amostras analisadas de Eucalyptus grandis foram retiradas de árvores provenientes de Salto, SP, a 23°10' de latitude sul e 47°11' de longitude oeste, a uma altitude de 655 metros. O solo é do tipo Latos solo Vermelho-Amarelo orto e a adubação de plantio foi de 250 gramas de NPK 5:14:3/planta. As árvores foram plantadas em janeiro de 1970, com um espaçamento de 3,0 x 1,5 m. O primeiro desbaste foi realizado em janeiro de 1982 e as amostras foram coletadas em agosto de 1983.

Foram derrubadas 60 árvores, escolhidas ao acaso e, dessas, foram retirados toretes de 30 cm de comprimento, identificados de 1 a 60 no DAP.

3.2. Preparo das amostras

As amostras no DAP foram preparadas em forma de discos de 2,5 cm de espessura. Em seguida, as amostras foram levadas ao laborató

rio, onde foram mantidas a uma umidade relativa e temperatura constante até sua completa estabilização, atingindo uma umidade de equilíbrio de aproximadamente 8%.

As amostras no DAP foram divididas e classificadas por ordem de diâmetro em quatro grupos, como segue.

Grupo	Diâmetro Médio (cm)
I	21,4
II	23,5
III	25,0
IV	27,5

Após a estabilização, as amostras foram levadas ao detector gama automático, processando-se as varreduras ao longo do diâmetro, para obtenção do perfil de densidade e separação dos anéis anuais.

Dentre as 60 amostras preparadas, apenas 46 foram analisadas e utilizadas nos cálculos, pois algumas delas apresentaram anéis poucos distintos e geometria irregular.

Com o objetivo de comparar os resultados obtidos pelo método de atenuação da radiação gama, a densidade média de cada amostra foi determinada também gravimetricamente. Neste processo, os mesmos discos de madeira foram utilizados. Esses discos tiveram seus volumes determinados através de sua espessura, medida com paquímetro, e área obtida por pesagem, utilizando papel de cartolina. As amostras também foram pesadas e

a densidade foi, então, obtida pela relação entre massa e volume.

Para o cálculo do poder calorífico anual, foram preparadas amostras em forma de pastilha, utilizando-se pó de serra referente a cada anel anual na madeira no DAP.

Efetuuou-se cinco repetições para cada anel, utilizando-se no preparo das pastilhas quatro discos de diferentes diâmetros, escolhidos ao acaso.

3.3. Instrumental de detecção de radiação gama

O radioisótopo utilizado como fonte foi o ^{241}Am , com meia-vida de 458 anos, que decai por emissão de partícula alfa, acompanhada de emissão de fótons, entre os quais, o mais abundante possui energia de 59,6 keV. Este radioisótopo apresenta como característica fundamental, uma região livre de interferência numa faixa de energia de 40 a 80 keV.

O sistema de colimação é feito com peças de chumbo, que permitem a obtenção de um feixe de radiação de 1 mm de secção reta, percorrendo cerca de 3 cm em cada colimador.

A incidência do feixe de radiação é feita sobre o material absorvedor, colocado numa plataforma de apoio e pode ser comandada por um posicionador tipo x-y, que se movimenta manualmente ou automaticamente nos sentidos horizontal e vertical (Figura 1).

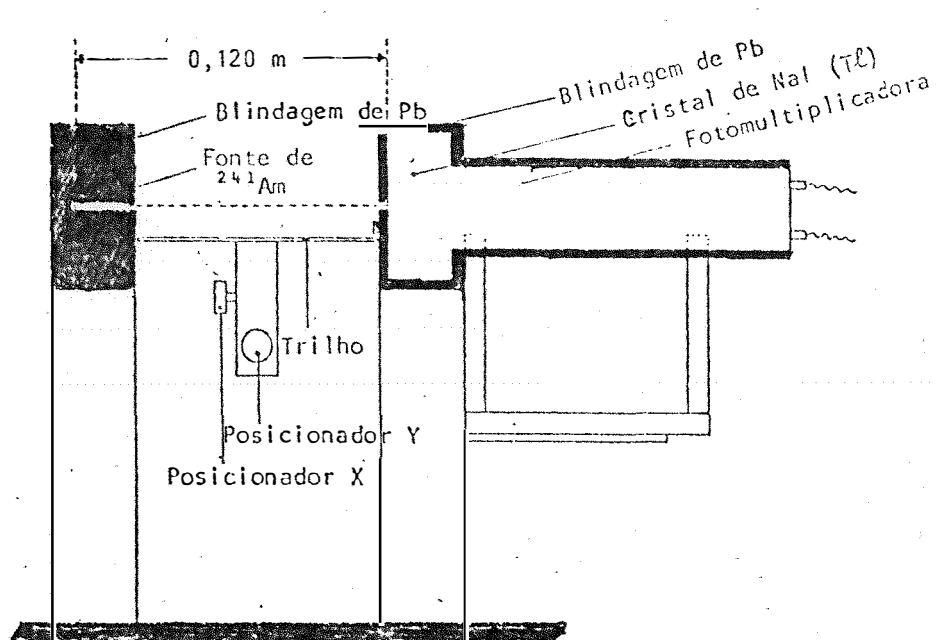


FIGURA 1 - Esquema da geometria utilizada na atenuação de radiação gama, por amostras de madeira.

Relação de equipamentos utilizados

- 1) Fonte radioativa de ^{241}Am (100 mCi)
- 2) Colimadores de chumbo
- 3) Válvula multiplicadora (Harshaw, modelo 4D4-F6)
- 4) Detector NaI(Tl)
- 5) Prê-amplificador (Hewlet-Packard, modelo 5554-A)
- 6) Amplificador monocanal (Ortec, modelo 550)
- 7) Amplificador (Ortec, modelo 472A)
- 8) Scaler (Ortec, modelo 430)
- 9) Alta-Tensão (Hewlet-Packard 6110-A)
- 10) Rate-meter (Ortec, modelo 441)
- 11) Registrador (ECB, PA-01F)

3.4. Densidade e atenuação da radiação gama

Uma amostra de madeira, basicamente, é constituída de três substâncias distintas: madeira propriamente dita, água e ar. A densidade aparente d_m é definida (KOLLMANN e COTÉ Jr., 1968) como a relação entre a massa de matéria seca m_s a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ e o volume total do sistema na umidade considerada V_u .

$$d_m = \frac{m_s}{V_u} \dots\dots\dots (1)$$

A umidade da madeira é definida, segundo SKAAR (1972), como a relação entre a massa de água m_a e a massa de matéria seca m_s .

$$U = \frac{m_a}{m_s} \quad \text{ou} \quad U = \frac{m - m_s}{m_s} \dots\dots\dots (2)$$

sendo m = massa total (madeira + água + ar).

Quando um feixe de raios gama monoenergético interage com uma amostra de madeira, resulta na atenuação da radiação, cujo fenômeno é regido pela Lei de Beer Lambert (AGUIAR, 1980).

$$I = I_0 \exp - \left[\mu_m \rho_m \Theta_m x + \mu_w \rho_w \Theta_w x + \mu_a \rho_a x (\Theta_a - 1) \right] \dots\dots (3)$$

sendo: μ_m, μ_w, μ_a = coeficientes de atenuação de massa para madeira, água e ar (cm^2/g);

ρ_m, ρ_w, ρ_a = densidades da substância madeira, água e ar (g/cm^3);

$\Theta_m, \Theta_w, \Theta_a$ = frações volumétricas de madeira, água e ar, definidas

respectivamente como a relação entre o volume de madeira, água e ar pelo volume total (madeira + água + ar);

x = espessura da amostra de madeira.

Sob condições normais de temperatura e pressão, temos $\rho_a \approx 1,2 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$, e a equação (3) pode ser escrita como:

$$I = I_0 \exp - \left[x(\mu_m \rho_m \Theta_m + \mu_w \rho_w \Theta_w) \right] \dots\dots\dots (4)$$

sendo $\Theta_m = d_m / \rho_m$.

Considerando-se uma amostra de madeira com teor de umidade abaixo do ponto de saturação de fibra, a equação (4) pode ser escrita como

$$I = I_0 \exp - \left[x \frac{\mu_m d_m}{\rho_w} + \mu_w \frac{U d_m}{d_a} \right] \rho_w \dots\dots\dots (5)$$

sendo: $\Theta_w = U \frac{d_m}{d_a}$ (segundo KOLLMANN e CÔTÉ JR, 1968)

d_a = densidade de água adsorvida na parede celular;

$\rho_w = 1,0 \text{ g/cm}^3$.

Explicitando d_m na equação (5), temos:

$$d_m = \frac{\ln (I_0 / I)}{\rho_w \cdot x \left[\frac{U \mu_w}{d_a} + \frac{\mu_m}{\rho_w} \right]} \dots\dots\dots (6)$$

A equação (6) nos fornece a densidade aparente $d_m = m_s / V_u$. Entretanto,

torna-se necessário calcular a densidade à base de volume e massa seca:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} = \frac{\text{massa de matéria seca}}{\text{volume de matéria seca}} \dots\dots\dots (7)$$

e, para isso, deve-se levar em conta a retração volumétrica para a espécie de madeira analisada.

3.5. Cálculo da densidade da madeira (método automático)

Uma maneira prática de se obter o perfil de densidade é através do método automático de detecção gama. Neste processo, as amostras são acionadas automaticamente, utilizando-se um motor e uma fonte reguladora de voltagem, sendo o perfil de densidade obtido graficamente através de um registrador.

Como padrão, utilizou-se o acrílico com densidade bem definida e com cinco espessuras diferentes, apresentando a forma de uma "escada" (ver Figura 2).

Considerando a Lei de Beer Lambert de atenuação da radiação gama separadamente para a madeira e acrílico, temos:

1) para o acrílico:

$$\rho_a = \frac{\ln (I_o / I_A)}{\mu_a x_A} \dots\dots\dots (8)$$

sendo: ρ_a , μ_a , x_A = densidade, coeficiente de atenuação de massa e espessura do acrílico;

I_o, I_A = intensidade dos raios incidentes e emergentes, ao longo do acrílico.

2) para a madeira:

$$\rho_m = \frac{\ln (I_o / I_m)}{\mu_m x_m} \dots\dots\dots (9)$$

sendo: ρ_m, μ_m, x_m = densidade, coeficiente de atenuação de massa e espessura da madeira;

I_m = intensidade dos raios emergentes ao longo da madeira.

Para os pontos em que $I_A = I_m$, podemos substituir (8) em (9), e teremos:

$$\mu_m \rho_m x_m = \mu_a \rho_a x_a$$

ou

$$\rho_m = \frac{\mu_a \rho_a x_a}{\mu_m x_m} \dots\dots\dots (10)$$

Portanto, a densidade fica determinada conhecendo-se $\mu_a, \rho_a, x_a, \mu_m$ e x_m (Figura 2). Usando o acrílico com cinco espessuras diferentes e densidade conhecida, pode-se obter uma curva de calibração. A partir dessa curva de calibração, a densidade pode ser obtida em cada ponto por extrapolação.

O coeficiente de atenuação de massa foi obtido a partir da lei de Beer-Lambert, conforme AGUIAR (1980).

$$\mu = \ln \frac{(I_o / I)}{\rho x} \dots\dots\dots (11)$$

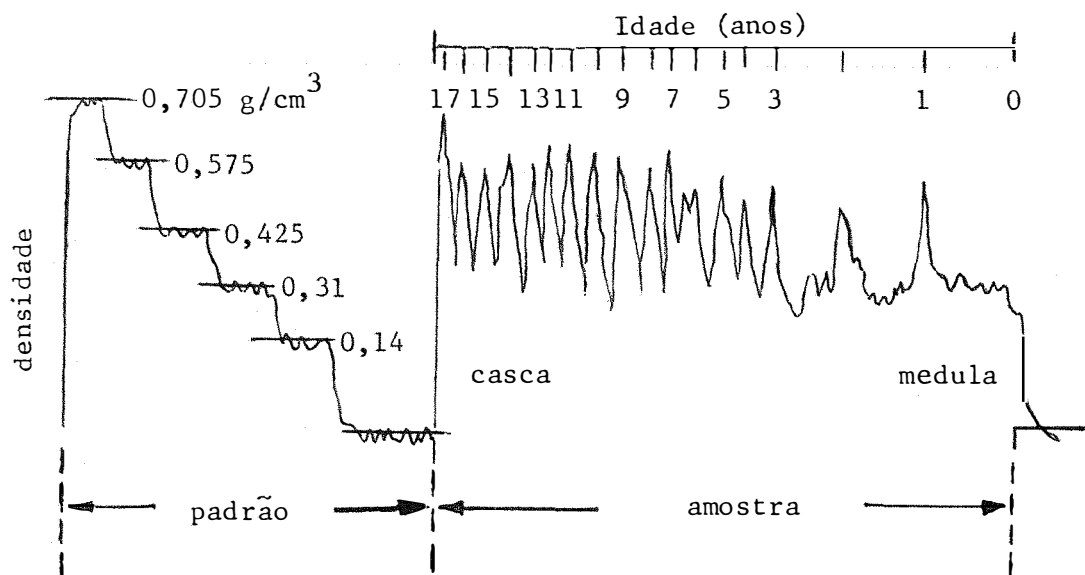


FIGURA 2 - Resultado de uma análise densimétrica de uma amostra de Pinus elliotis de 18 anos, procedente de Mogi-Guaçu (SP), realizada pelo método automático (Adaptado de PEREIRA, 1982, incluído para fins didáticos).

As espessuras x_a e x_m foram medidas com auxílio de um paquímetro. Para melhor precisão, foram medidas as espessuras correspondentes a cada anel anual.

Para obtenção do perfil de densidade, foram feitas varreduras ao longo do diâmetro do disco, procurando, na medida do possível, utilizar duas direções diferentes. Desta forma, as amostras provenientes das 46 árvores foram analisadas. Determinou-se a densidade média de cada anel, através da média ponderada das densidades obtidas em intervalos de 1 mm dentro do anel. O número total de determinações foi de 9840, representando uma média de 209 determinações por árvore e 16 por anel.

3.6. Densidade média acumulada anualmente

Definiu-se densidade média acumulada anualmente, as médias das densidades de todos os anéis existentes até aquele ano, ou seja:

$$\rho_{AC(1)} = \rho_1$$

$$\rho_{AC(2)} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

$$\rho_{AC(3)} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{3}$$

⋮

$$\rho_{AC(N)} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_n}{n}$$

sendo: $\rho_{AC(1)}, \rho_{AC(2)}, \rho_{AC(3)} \dots \rho_{AC(N)}$ = densidades médias acumuladas anualmente para idades de 1, 2, 3 ... n;

$\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots \rho_n$ = densidades médias anuais para os anéis 1, 2, 3 ... n.

3.7. Conversão da densidade básica em densidade à base de volume e massa seca

A densidade básica é definida pela relação:

$$D_B = \frac{m_s}{V_v} \dots\dots\dots (12)$$

onde: D_B = densidade básica (g/cm^3);

m_s = massa de matéria seca em estufa a $105 \pm 3^\circ C$ (g);

V_v = volume de madeira saturada em água (cm^3).

Esta forma de densidade tem sido bastante utilizada por diversos pesquisadores, mostrando bons resultados. Entretanto, se torna bastante importante converter densidade básica definida pela equação (12) em densidade à base de massa e volume de matéria seca, definida pela equação (7). Com esta finalidade, procurou-se determinar experimentalmente essas duas formas de densidade. Para isso, foram utilizadas um número de dez amostras, com dimensões 2 x 2 x 10 cm, as quais foram saturadas em água durante um período de aproximadamente 40 dias. Dessa forma, obteve-se o volume saturado (V_v), medido com auxílio de um paquímetro. O volume e massa de matéria seca também foram obtidos após secagem em estufa a $105 \pm 3^\circ C$.

Assim, foi possível determinar essas duas formas de densidade e uma relação linear entre elas.

3.8. Cálculo dos parâmetros: Incremento Corrente Anual de Massa, ICA(m), e Incremento Corrente Anual de Volume, ICA(v), no DAP, por unidade de altura

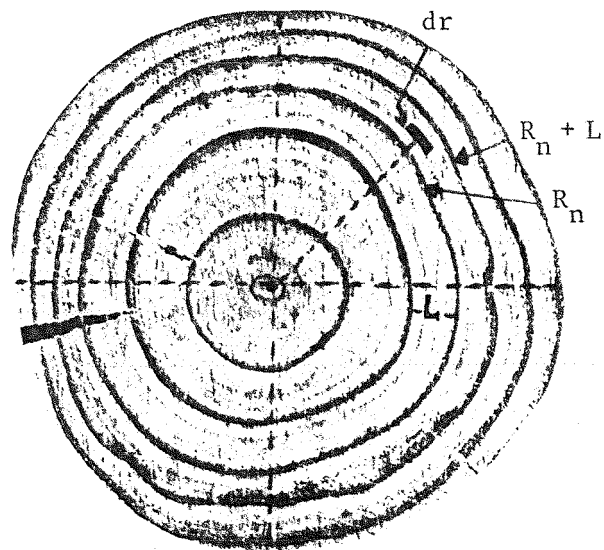
Após a obtenção do perfil de densidade ao longo do diâmetro escolhido ao acaso, procedeu-se à separação dos anéis de crescimento. Para efeito de cálculo, considera-se como um ano de vida da árvore o período decorrido para a formação de dois picos outonais (Latewood) consecutivos, ou seja, entre dois picos de alta densidade.

Convenciona-se chamar de ano 1, ou seja, primeiro ano de vida da árvore, ao intervalo do centro da peça (medula) até o primeiro pico de alta densidade. Os intervalos subsequentes foram denominados de ano 2, 3, 4, ..., n.

Supondo-se uma geometria cilíndrica perfeita para as amostras, isto é, os anéis de crescimento formando círculos concêntricos, podemos calcular o acréscimo anual de massa.

Procedimento Teórico

Considere o enésimo anel, de acordo com a figura a seguir.



Temos que: (I) $dm = \rho_i \cdot dv$

(II) $dv = x dA$

(III) $dA = 2\pi r dr$

sendo: dm, dv, dA = incremento infinitesimal de massa, volume e área, no a
nel em análise;

x = espessura do anel;

ρ_i e ρ_{i+1} = densidade da madeira no ponto considerado, e da madei-
ra no ponto posterior;

dr = incremento infinitesimal do raio no anel analisado;

L = largura do anel;

R_n = raio interno do anel;

$R_n + L$ = raio externo do anel;

r = variável do raio nos limites R_n e $R_n + L$.

Da equação I, II e III temos:

$$dm = \frac{\rho_i + \rho_{i+1}}{2} \times 2\pi r dr$$

$$ICA(m) = \sum_{i=1}^K \frac{\rho_i + \rho_{i+1}}{2} \times 2\pi \int_{R_n}^{R_n + L} r dr$$

$$ICA(m) = \pi x \left[(R_n + L)^2 - R_n^2 \right] \sum_{i=1}^K \frac{\rho_i + \rho_{i+1}}{2}$$

$$ICA(m) = \frac{\pi x}{2} \left[(R_n + L)^2 - R_n^2 \right] \sum_{i=1}^K \rho_i + \rho_{i+1} \dots \dots (13)$$

e o volume:

$$ICA(v) = \pi x \left[(R_n + L)^2 - R_n^2 \right] \dots \dots \dots (14)$$

sendo: K = número de intervalos (1mm) entre um pico e outro correspondente ao ano n;

ICA(m) = incremento corrente anual de massa;

ICA(v) = incremento corrente anual de volume.

A equação acima é levada ao computador, através do qual pode-se obter:

- 1) incrementò corrente anual de massa
- 2) incremento corrente anual de volume
- 3) densidade média ponderada do anel no disco
- 4) a massa total do disco

- 5) o volume total do disco
- 6) densidade média ponderada de cada amostra.

3.9. Idade de corte

A idade de corte ou rotação de uma floresta refere-se ao tempo necessário para que a floresta produza ótima quantidade de madeira. Para estimar a idade de corte, deve-se levar em conta fatores econômicos, fisiológicos e ainda a qualidade do produto florestal. Para isso, deve-se acompanhar a floresta ano a ano, medindo-se a altura e o diâmetro das árvores. Com isso, determina-se o incremento corrente anual (ICA) e o incremento médio anual (IMA) (FERREIRA e TIMONI, 1979).

Quando o incremento do ano (ICA) passar a ser menor que o médio (IMA) no ano correspondente, tendendo a abaixar a média geral de produção, este seria o ano de corte para a floresta.

No presente trabalho, procurou-se determinar dessa forma a idade de corte relativa a incrementos anuais de: volume, massa e energia no DAP por unidade de altura.

3.10. Poder calorífico da madeira

O poder calorífico de um combustível vem a ser a quantidade de calorias que pode produzir ao queimar-se. Normalmente, ele é expresso em cal/g ou Kcal/kg.

Quando um combustível é queimado, normalmente se forma água no estado gasoso. Esta água consome uma certa energia para se evaporar. Se esta água for condensada, esta energia permanece no sistema.

Geralmente, isto acontece em um sistema "fechado". Neste caso, tem-se o poder calorífico superior, que é o valor do poder calorífico encontrado através do calorímetro.

Na prática, geralmente, não se tem um sistema fechado, não havendo condensação da água, ocasionando uma perda de energia. Neste caso, chamamos poder calorífico inferior, o qual varia negativamente com a umidade da madeira. Portanto, para melhor aproveitamento de energia, a madeira deve ser queimada com baixo teor de umidade.

A relação entre o poder calorífico inferior e poder calorífico superior, pode ser expressa através da equação:

$$PCI = PCS - ML \quad (\text{BRITO, 1979}) \quad \dots\dots\dots (15)$$

onde: PCI = poder calorífico inferior;

PCS = poder calorífico superior;

M = massa de água produzida por grama de combustível;

L = calor latente de vaporização da água.

3.11. Cálculo do poder calorífico

O poder calorífico superior de cada anel no DAP foi obtido através da equação:

$$PCS = \frac{(K + M_a)}{M} \Delta T = \frac{\text{cal}}{\text{g}} \dots\dots\dots (16)$$

onde: K = constante do calorímetro;

M_a = massa de água utilizada (g);

ΔT = diferença de temperatura antes e depois da combustão (°C);

M = massa da amostra de madeira.

Para o calorímetro utilizado, o valor de K é 2463 e a massa de água utilizada é 2000 g (COUTINHO e MANZI, 1983).

Foram obtidos os valores do poder calorífico para cada anel e a energia correspondente a cada anel pode ser calculada pela equação:

$$E_i = m_i \cdot PCS_i \dots\dots\dots (17)$$

sendo: m_i, PCS_i, E_i = massa total, poder calorífico médio superior e energia total correspondente ao anel i, no DAP;

i = 1, 2, 3, 4, ..., 13 (anel anual).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Densidade

4.1.1. Densidade anual da madeira pelo método da atenuação da radiação gama

Os valores das densidades médias anuais à base de volume e massa seca, obtidos pelo método de atenuação da radiação gama, para cada amostra, são mostrados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Na Tabela 5 têm-se os valores médios anuais da densidade para cada grupo. Pela Figura 3, pode-se notar a semelhança que existe entre os perfis de densidade para os 4 grupos selecionados por classe de diâmetro. Em todos eles, a densidade cresce até o décimo ano, aproximadamente e, a partir daí, começa a decrescer lentamente.

A Tabela 6 e Figura 4 mostram as densidades médias anuais para os 4 grupos reunidos e as densidades médias acumuladas anualmente. A densidade média anual cresce até o décimo ano, aproximadamente, passando a decrescer lentamente a partir desse ano. A densidade média acumulada na

árvore se manteve crêscente até o décimo terceiro ano. Isto significa que para se ter máxíma densidade acumulada no DAP, as árvores de Eucalyptus grandis deveriam ser cortadas com idades superiores. Entretanto, para se fazer uma estimativa dessa idade de corte, seriam necessárias amostras com idades acima dos 13 anos.

TABELA 1 - Valores de densidade média anual à base de volume e de massa seca para o Grupo I (g/cm³).

Número da Amostra	Anel Anual													Média	D.P.	C.V.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
36	0,442	0,387	0,437	0,437	0,539	0,514	0,621	0,644	0,628	0,643	0,677	0,612	0,588	0,551	0,098	17,8
05	0,462	0,429	0,443	0,524	0,566	0,674	0,726	0,759	0,745	0,768	0,744	0,675	0,631	0,627	0,122	20,3
39	0,413	0,411	0,411	0,451	0,514	0,588	0,694	0,765	0,726	0,631	0,593	0,579	0,606	0,568	0,071	12,5
33	0,448	0,444	0,466	0,507	0,472	0,543	0,633	0,673	0,693	0,767	0,712	0,615	0,575	0,581	0,115	19,8
35	0,411	0,423	0,450	0,510	0,549	0,630	0,626	0,638	0,560	0,545	0,538	0,524	0,503	0,531	0,074	13,9
52	0,476	0,518	0,541	0,525	0,565	0,622	0,615	0,692	0,664	0,718	0,648	0,650	0,644	0,606	0,075	12,2
27	0,519	0,489	0,500	0,493	0,476	0,509	0,533	0,586	0,581	0,604	0,632	0,710	0,565	0,554	0,068	12,3
25	0,456	0,440	0,436	0,485	0,575	0,574	0,570	0,644	0,655	0,664	0,649	0,624	0,602	0,567	0,085	15,0
21	0,482	0,528	0,524	0,467	0,474	0,547	0,576	0,612	0,686	0,675	0,700	0,667	0,660	0,584	0,037	14,8
23	0,448	0,455	0,482	0,525	0,553	0,686	0,631	0,613	0,624	0,622	0,634	0,548	0,613	0,572	0,076	13,3
37	0,540	0,436	0,439	0,446	0,458	0,468	0,567	0,526	0,532	0,486	0,421	0,443	0,445	0,477	0,048	10,0
Média	0,463	0,451	0,466	0,492	0,522	0,578	0,617	0,650	0,645	0,648	0,632	0,604	0,585	0,565		
D.P. (*)	0,045	0,045	0,045	0,032	0,045	0,071	0,055	0,071	0,071	0,084	0,089	0,077	0,063	0,045		
C.V. (**)	9,6	10,0	9,7	6,4	8,6	12,2	8,9	10,9	11,0	12,9	14,2	12,7	10,8			

(*) D.P. = desvio padrão

(**) C.V. = coeficiente de variação (%)

TABELA 2 - Valores de densidade média anual à base de volume e de massa seca, para o Grupo II (g/cm³).

Número da Amostra	Anel Anual													Média	D.P.	C.V.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
33	0,464	0,453	0,453	0,458	0,495	0,521	0,569	0,629	0,655	0,651	0,647	0,658	0,639	0,566	0,089	15,8
46	0,425	0,459	0,533	0,512	0,542	0,597	0,684	0,640	0,680	0,656	0,593	0,571	0,603	0,577	0,084	14,5
24	0,594	0,499	0,585	0,624	0,674	0,693	0,734	0,711	0,739	0,732	0,751	0,741	0,711	0,676	0,077	11,5
47	0,508	0,441	0,434	0,471	0,494	0,504	0,644	0,652	0,596	0,668	0,734	0,764	0,628	0,580	0,110	18,9
45	0,498	0,551	0,501	0,503	0,524	0,552	0,577	0,616	0,652	0,661	0,660	0,655	0,639	0,584	0,063	10,8
48	0,424	0,435	0,423	0,434	0,470	0,511	0,604	0,658	0,692	0,656	0,637	0,575	0,657	0,552	0,105	19,0
43	0,497	0,459	0,459	0,441	0,491	0,521	0,511	0,584	0,513	0,591	0,593	0,532	0,554	0,519	0,055	10,6
22	0,392	0,419	0,400	0,414	0,425	0,508	0,539	0,567	0,594	0,524	0,671	0,604	0,541	0,512	0,095	18,5
02	0,519	0,512	0,484	0,508	0,593	0,620	0,713	0,696	0,621	0,645	0,585	0,588	0,569	0,589	0,071	12,0
31	0,504	0,522	0,425	0,459	0,507	0,593	0,604	0,623	0,690	0,717	0,768	0,653	0,598	0,589	0,105	17,8
04	0,496	0,415	0,416	0,448	0,460	0,484	0,536	0,555	0,592	0,609	0,618	0,677	0,630	0,534	0,089	16,7
Média	0,484	0,470	0,472	0,479	0,516	0,555	0,610	0,630	0,635	0,652	0,660	0,638	0,607	0,570		
D.P. (*)	0,055	0,045	0,063	0,055	0,071	0,055	0,077	0,045	0,053	0,045	0,063	0,071	0,045			
C.V. (**)	11,4	9,6	13,3	11,5	13,8	9,9	12,7	7,1	9,9	6,9	9,5	11,1	7,4			

(*) D.P. = desvio padrão

(**) C.V. = coeficiente de variação (%)

TABELA 3 - Valores de densidade média anual à base de volume e de massa seca, para o Grupo III (g/cm³).

Número da Amostra	Anel Anual													Média	D.P.	C.V.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
29	0,530	0,506	0,518	0,530	0,579	0,607	0,639	0,617	0,598	0,638	0,583	0,578	0,524	0,573	0,047	8,1
57	0,471	0,459	0,447	0,452	0,481	0,527	0,556	0,630	0,666	0,642	0,668	0,677	0,683	0,566	0,097	17,1
26	0,467	0,468	0,496	0,537	0,609	0,551	0,541	0,607	0,613	0,607	0,653	0,668	0,647	0,574	0,069	12,6
28	0,355	0,369	0,384	0,444	0,524	0,534	0,579	0,638	0,643	0,646	0,639	0,571	0,616	0,534	0,110	20,7
59	0,406	0,393	0,386	0,454	0,501	0,506	0,529	0,599	0,607	0,642	0,565	0,573	0,534	0,515	0,084	16,3
12	0,433	0,416	0,449	0,576	0,624	0,617	0,665	0,697	0,721	0,711	0,710	0,702	0,683	0,616	0,113	18,3
08	0,465	0,487	0,458	0,485	0,517	0,591	0,599	0,640	0,649	0,722	0,689	0,637	0,711	0,602	0,103	17,2
60	0,442	0,436	0,422	0,436	0,450	0,501	0,570	0,575	0,653	0,688	0,695	0,678	0,761	0,562	0,122	21,6
55	0,487	0,515	0,511	0,496	0,537	0,549	0,595	0,612	0,631	0,693	0,678	0,756	0,645	0,593	0,085	14,3
07	0,487	0,444	0,461	0,554	0,615	0,617	0,630	0,724	0,723	0,743	0,660	0,660	0,694	0,616	0,101	16,3
10	0,443	0,442	0,425	0,481	0,478	0,492	0,542	0,567	0,574	0,556	0,559	0,583	0,643	0,522	0,066	12,6
07	0,458	0,472	0,504	0,554	0,618	0,614	0,612	0,763	0,795	0,767	0,701	0,750	0,790	0,646	0,123	19,0
Média	0,454	0,451	0,455	0,500	0,544	0,559	0,588	0,639	0,656	0,671	0,650	0,653	0,657	0,575	0,086	14,9
D.P. (*)	0,045	0,045	0,045	0,045	0,063	0,045	0,045	0,063	0,063	0,063	0,055	0,063	0,077			
C.V. (**)	9,9	10,0	9,9	9,0	11,6	8,1	7,7	9,9	9,6	9,4	8,5	9,6	10,7			

(*) D.P. = desvio padrão

(**) C.V. = coeficiente de variação (%)

TABELA 4 - Valores de densidade média anual à base de volume e de massa seca, para o Grupo IV (g/cm^3).

Número da Amostra	Anel Anual													Média	D.P.	C.V.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
18	0,455	0,457	0,498	0,616	0,632	0,649	0,650	0,648	0,673	0,613	0,635	0,674	0,595	0,595	0,080	13,4
44	0,468	0,501	0,455	0,457	0,523	0,578	0,615	0,578	0,598	0,671	0,622	0,515	0,466	0,542	0,072	13,2
13	0,420	0,420	0,481	0,540	0,612	0,612	0,574	0,624	0,608	0,542	0,469	0,454	0,500	0,527	0,075	14,2
11	0,436	0,380	0,396	0,468	0,515	0,578	0,550	0,552	0,497	0,525	0,508	0,487	0,481	0,490	0,059	12,0
54	0,446	0,514	0,505	0,521	0,567	0,648	0,619	0,638	0,675	0,684	0,739	0,668	0,703	0,610	0,090	14,7
03	0,465	0,476	0,518	0,593	0,578	0,635	0,597	0,660	0,763	0,730	0,713	0,680	0,669	0,621	0,095	15,2
06	0,445	0,485	0,524	0,610	0,652	0,709	0,683	0,771	0,770	0,730	0,713	0,704	0,715	0,655	0,107	16,3
40	0,378	0,386	0,417	0,427	0,468	0,534	0,570	0,597	0,605	0,701	0,624	0,585	0,607	0,531	0,104	19,5
53	0,419	0,444	0,402	0,426	0,457	0,524	0,566	0,550	0,624	0,632	0,601	0,560	0,544	0,519	0,081	15,6
42	0,446	0,445	0,403	0,456	0,488	0,496	0,589	0,623	0,654	0,621	0,591	0,618	0,613	0,542	0,087	16,0
30	0,475	0,510	0,461	0,542	0,670	0,658	0,742	0,713	0,795	0,735	0,718	0,701	0,702	0,646	0,111	17,1
20	0,484	0,482	0,496	0,495	0,556	0,611	0,601	0,640	0,652	0,685	0,677	0,587	0,552	0,578	0,074	12,8
Média	0,445	0,458	0,463	0,506	0,559	0,600	0,613	0,633	0,657	0,661	0,632	0,600	0,602	0,571	0,078	13,6
D.P. (*)	0,032	0,045	0,045	0,063	0,071	0,063	0,055	0,063	0,084	0,071	0,084	0,084	0,089			
C.V. (**)	7,1	9,8	9,7	12,5	12,7	10,5	8,9	10,0	12,8	10,7	13,3	14,0	14,8			

(*) D.P. = desvio padrão

(**) C.V. = coeficiente de variação (%)

TABELA 5 - Valores da densidade média anual para os quatro grupos, no DAP, em g/cm³.

Grupo	Anel Anual													Média	D.P.	C.V.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
I	0,463	0,451	0,466	0,492	0,522	0,578	0,617	0,650	0,645	0,648	0,632	0,604	0,585	0,566	0,076	13,1
II	0,484	0,470	0,472	0,479	0,516	0,555	0,610	0,630	0,635	0,652	0,660	0,638	0,607	0,570	0,076	12,5
III	0,454	0,451	0,455	0,500	0,544	0,559	0,588	0,639	0,656	0,671	0,650	0,653	0,657	0,575	0,086	15,0
IV	0,445	0,458	0,463	0,506	0,559	0,600	0,613	0,633	0,657	0,661	0,632	0,600	0,602	0,571	0,078	13,6
Média	0,462	0,458	0,464	0,494	0,535	0,573	0,607	0,638	0,648	0,658	0,644	0,624	0,613	0,571		
D.P.	0,017	0,009	0,007	0,012	0,020	0,020	0,013	0,009	0,010	0,010	0,014	0,026	0,031			
C.V. (%)	3,6	2,0	1,5	2,4	3,7	3,6	2,1	1,4	1,6	1,6	2,2	4,2	5,1			

D.P. = desvio padrão

C.V. = coeficiente de variação

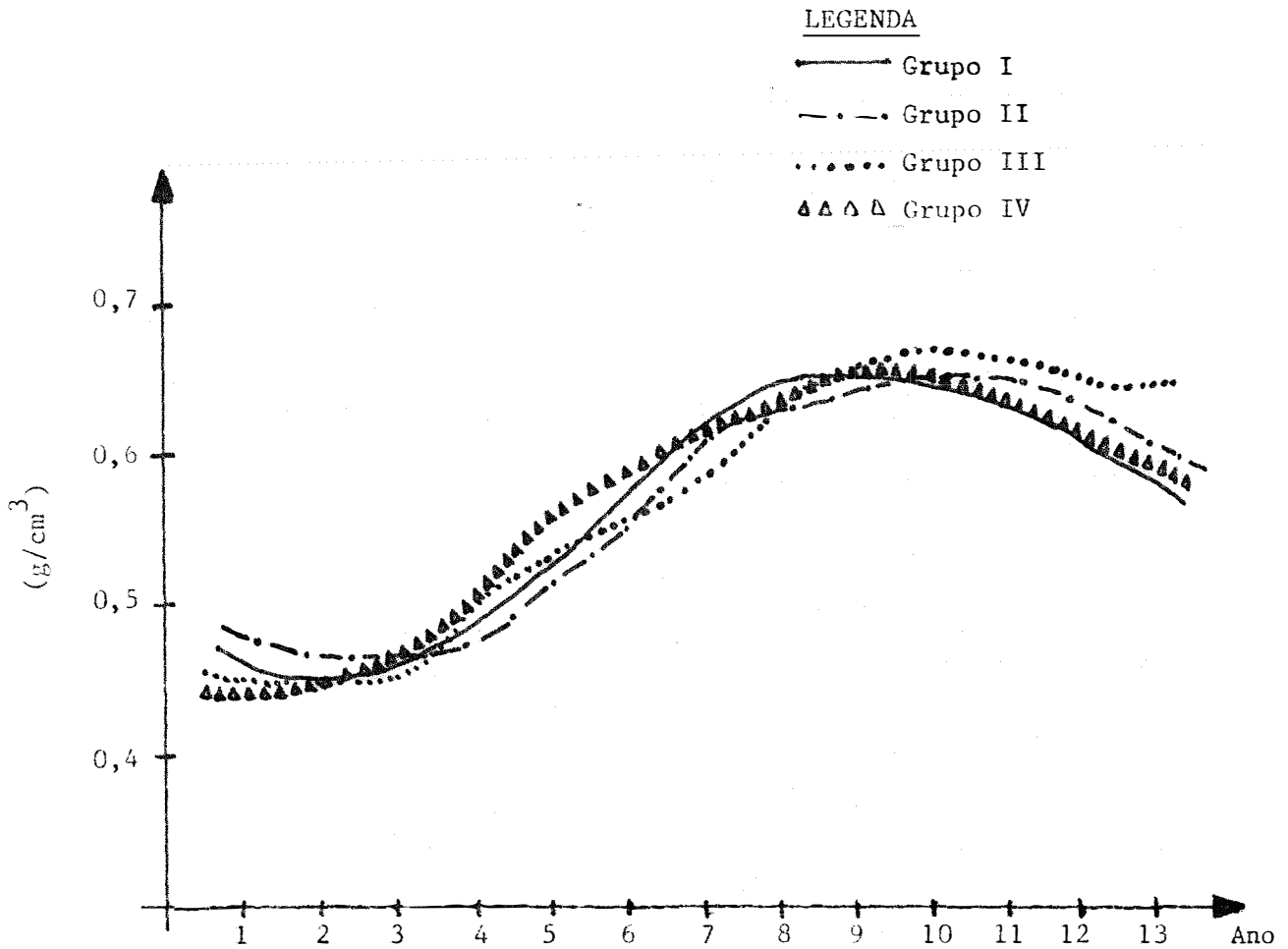


FIGURA 3 - Densidade média anual para os 4 grupos, classificados por classe de diâmetro. (DAP).

TABELA 6 - Média geral (46 amostras) para densidade média anual e densidade média acumulada no DAP (g/cm³).

	Anel Anual													Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Densidade Média Anual	0,462	0,458	0,464	0,494	0,535	0,573	0,607	0,638	0,648	0,658	0,644	0,624	0,613	0,571
Densidade Média Acumulada	0,462	0,460	0,461	0,469	0,483	0,498	0,513	0,529	0,542	0,554	0,562	0,567	0,571	

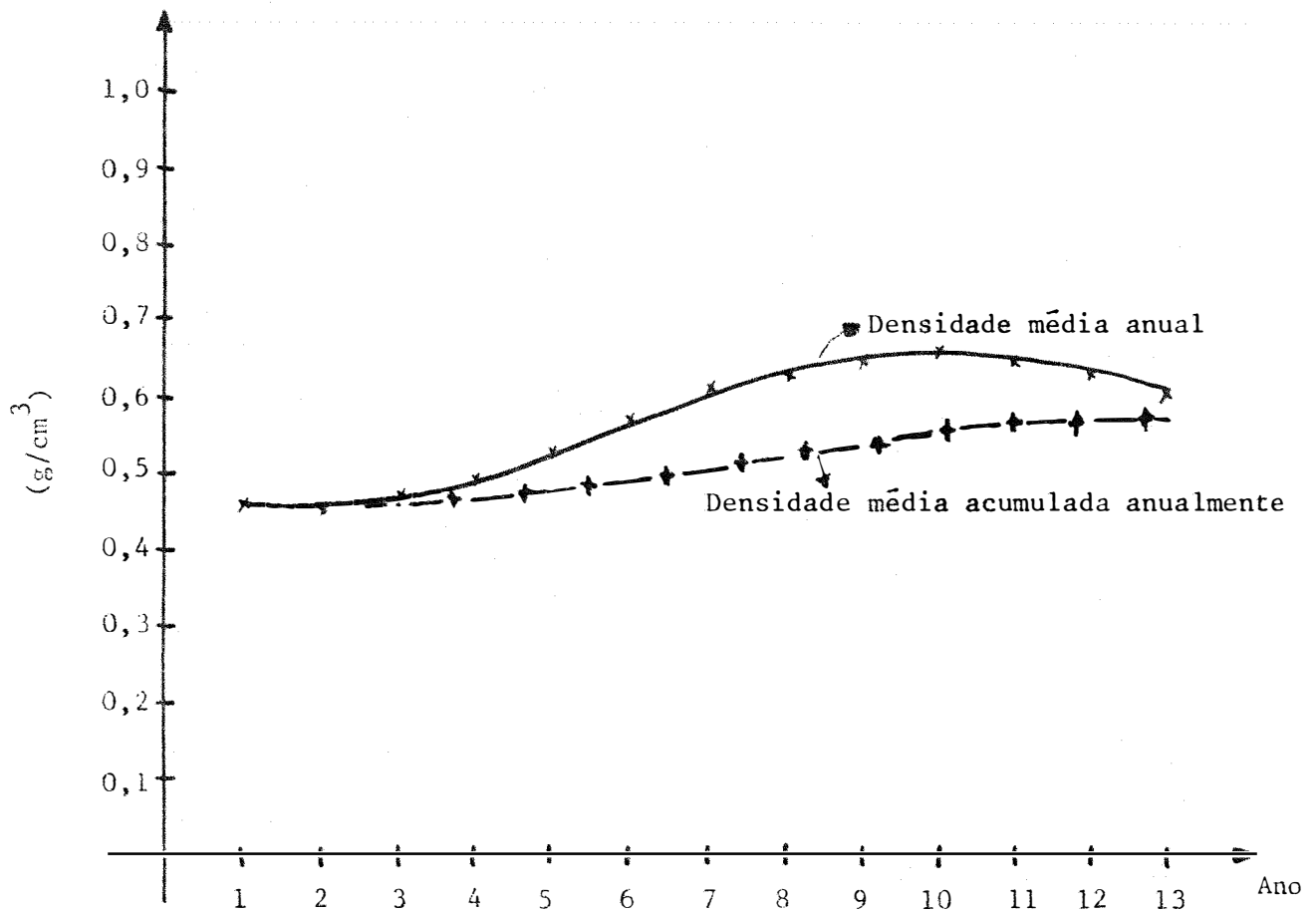


FIGURA 4 - Densidade média anual e densidade média acumulada anualmente para os 4 grupos reunidos no DAP (46 amostras).

4.1.2. Densidade média ponderada das amostras pelos métodos gravimétrico e atenuação gama.

Na Tabela 7 têm-se os valores das densidades médias de cada amostra, obtidos pelos métodos gravimétrico e atenuação gama, para os 4 grupos separadamente. Foi utilizado o teste t para amostras pareadas, com a finalidade de verificar as diferenças entre os métodos utilizados.

Para o grupo G 2, os métodos se diferem a nível de 1% de probabilidade e para os grupos G 1, G 3 e G 4 os métodos se diferem ao nível de 5% de probabilidade. Essas diferenças, apesar de perfeitamente aceitáveis, são atribuídas a pequenos erros na determinação de alguns parâmetros, como: coeficiente de atenuação de massa, espessura, volume e massa das amostras. Um outro fator que pode ter contribuído para essas diferenças foi a aplicação dos métodos em épocas diferentes, sob condições diferentes de umidade e amostragem.

A Tabela 8 mostra os valores médios das densidades ponderadas de todas as amostras em cada grupo. O valor de t mostra uma diferença significativa para os métodos ao nível de 1% de probabilidade. Entretanto, o alto valor do coeficiente de correlação linear (R), mostra ter havido "coerência" entre os resultados obtidos dentro de cada método utilizado.

Pelos valores médios das densidades ponderadas obtidos para cada grupo, pode-se observar, pela Tabela 8, que não houve diferença significativa da densidade com o diâmetro das amostras. A Figura 5 ilustra este fato, onde os 4 pontos obtidos para a densidade fornecem aproximadamente uma reta paralela ao eixo correspondente ao diâmetro.

TABELA 7 - Valores da densidade média de cada amostra, obtida pelos métodos: gravimétrico e a tenuação gama, no DAP (g/cm^3).

Grupo	Método	Amostra															Média	t	\bar{x}	R
		36	05	39	33	35	52	27	25	21	23	37								
I	Gravimétrico	0,530	0,652	0,534	0,560	0,525	0,597	0,475	0,557	0,560	0,585	0,468	0,549	2,509*	0,019	0,88				
	Atenuação γ	0,538	0,642	0,592	0,583	0,534	0,604	0,551	0,565	0,579	0,590	0,476	0,568							
II	Gravimétrico	0,576	0,550	0,660	0,556	0,564	0,518	0,491	0,513	0,560	0,538	0,575	0,555	5,285**	0,017	0,97				
	Atenuação γ	0,573	0,578	0,681	0,565	0,591	0,544	0,520	0,521	0,582	0,546	0,587	0,572							
III	Gravimétrico	0,555	0,575	0,578	0,560	0,508	0,584	0,607	0,520	0,563	0,507	0,614	0,555	2,908*	0,015	0,88				
	Atenuação γ	0,568	0,565	0,574	0,558	0,521	0,621	0,600	0,562	0,593	0,610	0,640	0,578							
IV	Gravimétrico	0,603	0,555	0,495	0,463	0,572	0,626	0,590	0,548	0,485	0,530	0,595	0,558	3,038*	0,021	0,93				
	Atenuação γ	0,620	0,531	0,509	0,481	0,600	0,662	0,657	0,587	0,516	0,654	0,582	0,578							

t = teste utilizado para amostras pareadas

** = significância ao nível de 1% de probabilidade

* = significância ao nível de 5% de probabilidade

R = coeficiente de correlação linear

\bar{x} = desvio médio ($\bar{x} - \bar{y}$)

TABELA 8 - Valores médios da densidade de cada grupo no DAP pelos dois métodos de determinação: gravimétrico e atenuação gama (g/cm^3).

Método	G I	G II	G III	G IV	Média	t	\bar{d}	R
Gravimétrico (y_i)	0,550	0,555	0,563	0,558	0,557	25,56**	0,017	0,999
Atenuação γ (x_i)	0,568	0,572	0,578	0,574	0,573			

t = teste utilizado para amostras pareadas

** = significância ao nível de 1% de probabilidade

* = significância ao nível de 5% de probabilidade

R = coeficiente de correlação linear

\bar{d} = desvio médio ($\bar{x} - \bar{y}$)

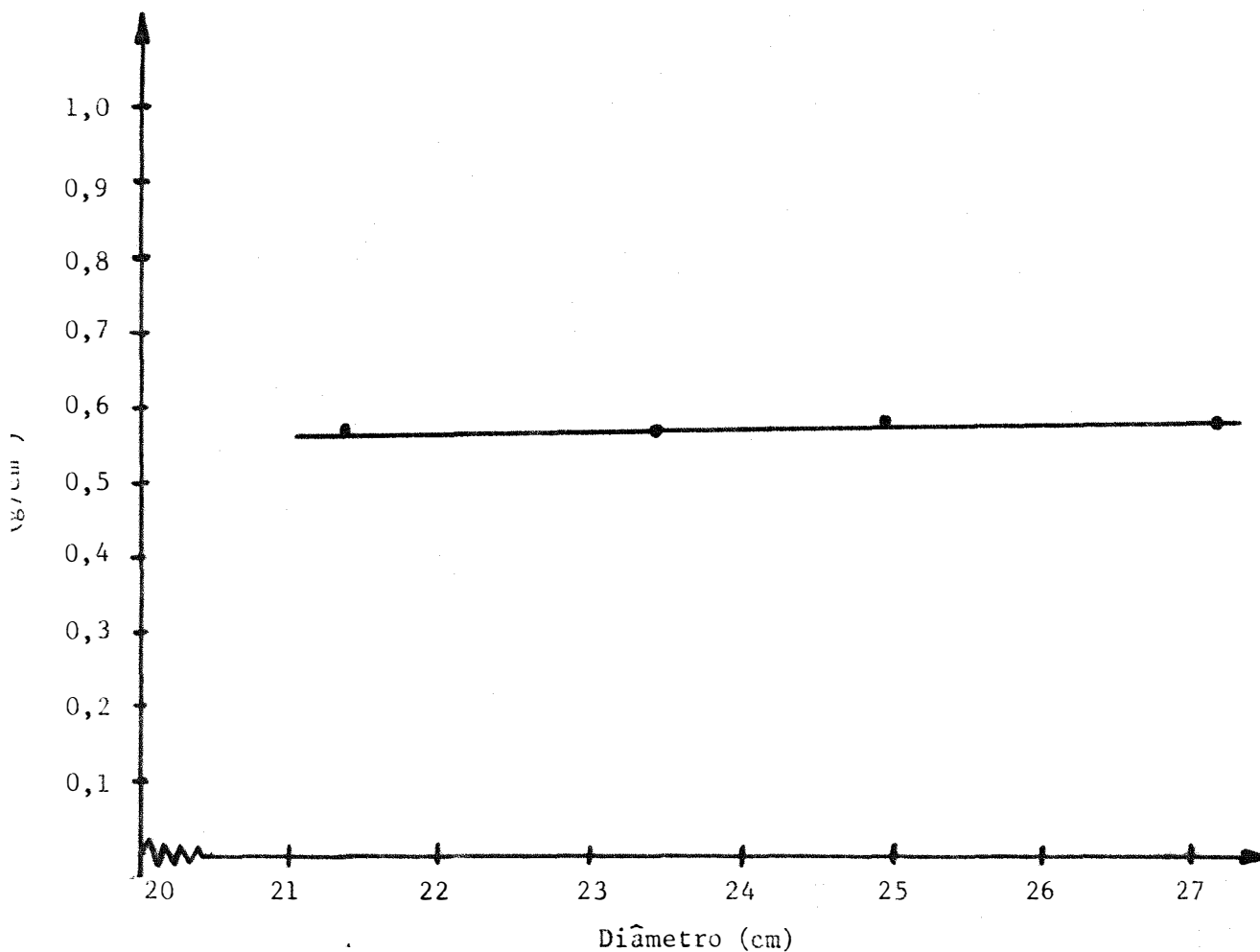


FIGURA 5 - Densidade $\tilde{\rho}$ base de volume e massa seca, obtida pelo método de atenuação da radiação gama, em função do diâmetro (DAP).

4.1.3. Conversão da densidade básica em densidade à base de volume e massa seca

Com a finalidade de converter a densidade básica (DB) em densidade à base de volume e massa seca (ρ_s) e vice-versa, procurou-se determinar experimentalmente essas duas formas de densidade para uma mesma amostra. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 9. Através de uma regressão linear, podemos encontrar uma equação que relacione essas duas formas de densidade.

A equação obtida, utilizando-se os valores da Tabela 9, foi

$$\rho_s = -0,0539 + 1,2719 D_B \dots\dots\dots (18)$$

O coeficiente de correlação encontrado foi de 0,997.

A Figura 6 mostra a relação linear entre essas duas formas de densidade.

TABELA 9 - Valores da densidade básica (D_B) e densidade \bar{a} base de volume e massa seca, obtidos para uma mesma amostra, na forma retangular, com as dimensões $2 \times 2 \times 10$ cm.

Densidade	Amostras										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
D_B	0,395	0,402	0,404	0,440	0,474	0,480	0,504	0,538	0,562	0,453	0,466
ρ_s	0,453	0,460	0,459	0,498	0,540	0,564	0,591	0,632	0,660	0,521	0,538
ρ_s/D_B	1,147	1,144	1,136	1,132	1,139	1,175	1,173	1,175	1,174	1,150	1,154

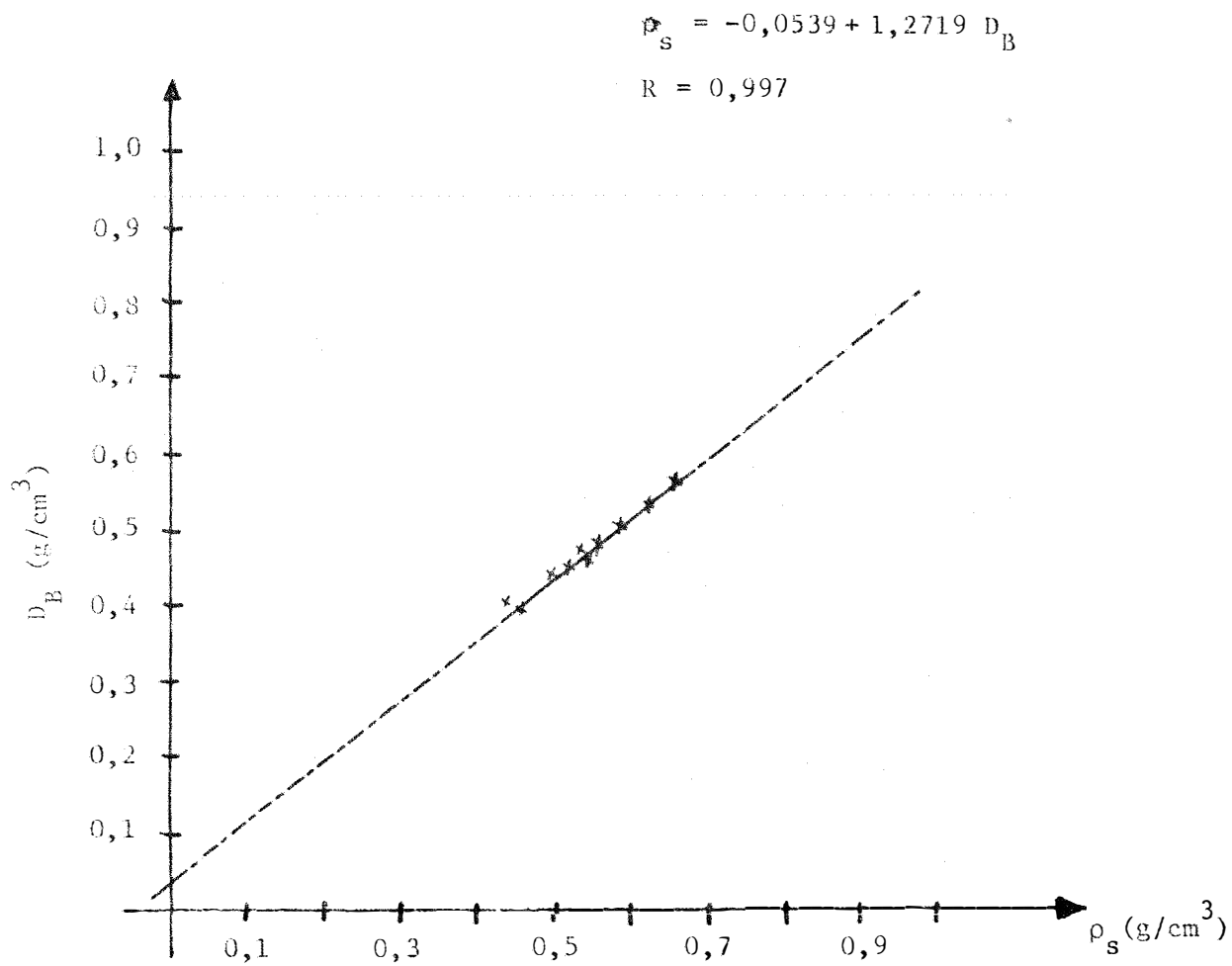


FIGURA 6 - Relação linear entre as duas formas de densidade: densidade básica (D_B) e densidade à base de volume e massa seca (ρ_s).

4.2. Determinação do crescimento volumétrico anual e idade de corte a nível de DAP por unidade de altura

Através da equação 14 foram obtidos os valores dos incrementos correntes anuais volumétricos (ICA(v)) para Eucalyptus grandis com 13 anos de idade. A partir daí, determinaram-se os incrementos globais volumétricos (IG(v)) e incrementos médios anuais volumétricos (IMA(v)). A Tabela 10 mostra os resultados obtidos, considerando-se hipoteticamente um cilindro com altura de 1,0 cm. Desta forma, o IG(v) é numericamente igual à área transversal média anual \bar{g} . Com os dados da Tabela 10, construiu-se o gráfico da Figura 7 e obteve-se uma equação de regressão cúbica para ICA(v), com o ano de vida da árvore. A equação encontrada foi

$$\text{ICA}(v) = 0,06586 + 19,9995x - 2,9128x^2 + 0,1246x^3 \dots (19)$$

com coeficiente de correlação $R = 0,960$ e válida nos intervalos de 1 a 10 anos. Essa equação possui um ponto de máximo para 5,1 anos. Analisando-se a Figura 7, pode-se verificar que o ICA(v) possui rápido desenvolvimento durante os 5 primeiros anos e, a partir daí, começa a decrescer lentamente até o décimo terceiro ano. Também é importante acrescentar que no décimo terceiro ano foi feito desbaste na floresta, o que ocasionou um pequeno acréscimo em volume para a floresta, em relação ao ano anterior. Entretanto, as amostras do último anel possuíam pouco mais de um ano de vida, dificultando assim quantificar a influência do desbaste em termos de acréscimos volumétricos.

Pode-se também notar, pela Tabela 10, que a partir do no

no ano, inicia-se um pequeno decréscimo do IMA(v), em razão do decréscimo do ICA(v) a partir do quinto ano.

A Figura 8 mostra a variação do ICA(v) e IMA(v) em um só gráfico. A idade de corte pode ser obtida, então, pela intersecção desses incrementos volumétricos (FERREIRA e TIMONI, 1978), utilizando-se os dados da Tabela 10. A equação de regressão obtida para IMA(v) foi:

$$\text{IMA}(v) = 5,2601 + 11,0550x - 1,3044x^2 + 0,0496x^3 \quad \dots (20)$$

com um coeficiente de correlação $R = 0,997$.

Através das equações (19) e (20), pode-se obter a idade ideal de corte, resolvendo o sistema de equações. A idade ideal de corte encontrada foi: $I_c = 8,8$ anos. Porém, é importante caracterizar que a idade de corte foi obtida a nível de DAP por unidade de altura. Para se obter a idade de corte a nível de árvore e, conseqüentemente, a nível de floresta, é necessário o conhecimento da altura e do fator de forma da árvore em cada ano. O volume de uma árvore pode ser dado por:

$$V = \sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot F_i = g_1 H_1 F_1 + g_2 H_2 F_2 + \dots + g_n H_n F_n$$

onde: g_i, H_i, F_i = área transversal, altura e fator de forma da árvore no ano correspondente i ;

n = idade da árvore;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ (idade em anos).

O método de atenuação gama fornece valores de g_1, g_2, g_3, \dots

g_n . O volume da árvore pode, então, ser determinado, conhecendo-se os valores de H_i e F_i , que pode ser obtido por medidas anuais, ou através de equações regionais para a mesma espécie e mesmo espaçamento.

TABELA 10 - Valores médios dos incrementos de volume, considerando-se hipoteticamente um cilindro com altura de 1,0 cm, à nível de DAP (cm³).

Increm. de	Anel Anual												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Volume	14,46	31,44	40,48	42,10	40,25	39,15	39,34	37,50	35,80	34,79	34,70	33,98	34,95
ICA(v)	14,46	45,90	86,38	128,48	168,73	207,88	247,22	284,72	320,52	355,31	390,01	423,99	458,94
IG(v)	14,46	22,95	28,79	32,12	33,75	34,65	35,32	35,56	35,61	35,53	35,46	35,33	35,30

ICA(v) = incremento corrente anual de volume

IG(v) = incremento global de volume

IMA(v) = incremento médio anual de volume

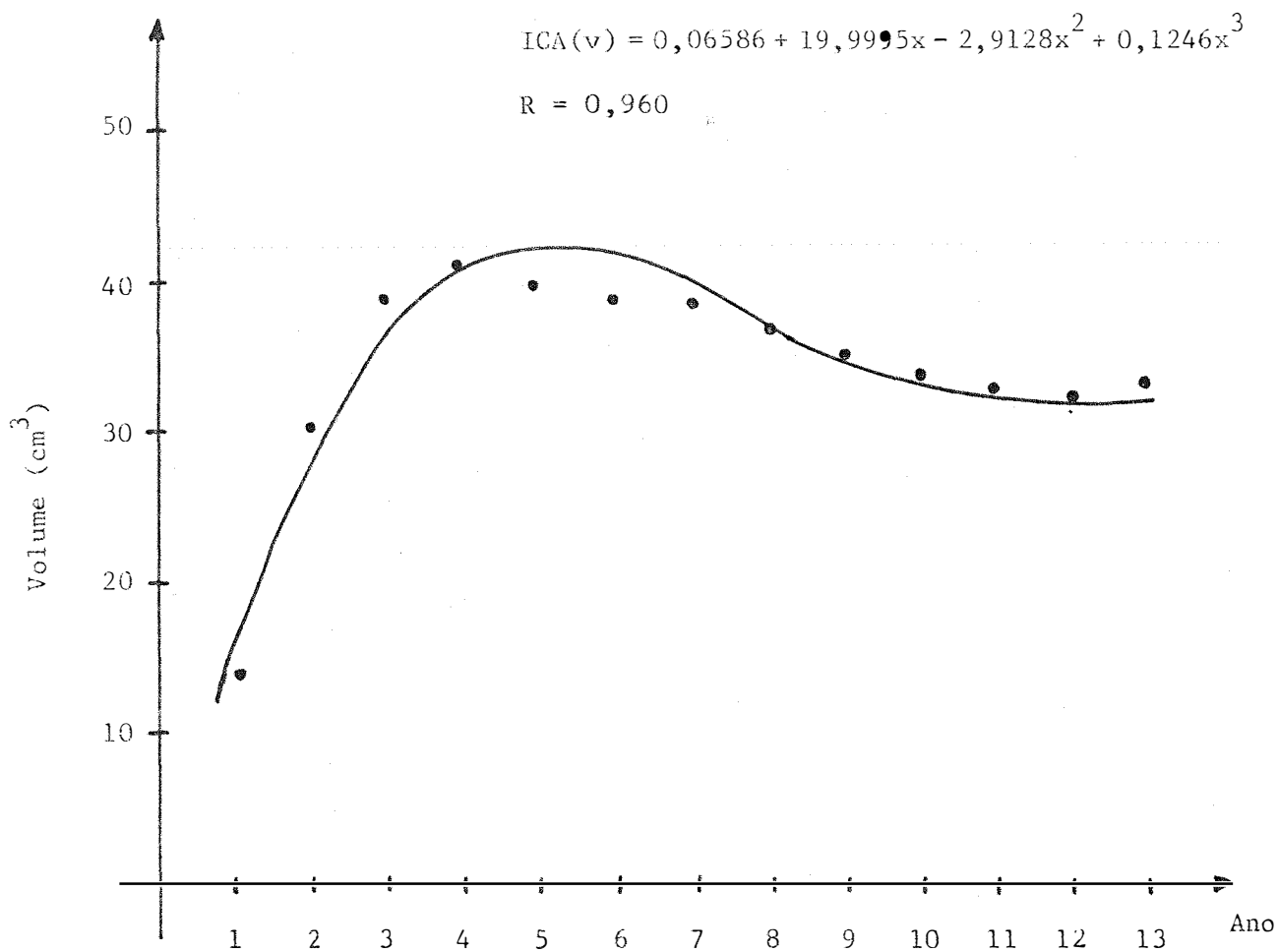


FIGURA 7 - Aspecto da variaçã~o do incremento corrente anual de volume, expres-
sos em cm³, para Eucalyptus grandis, com 13 anos de idade.

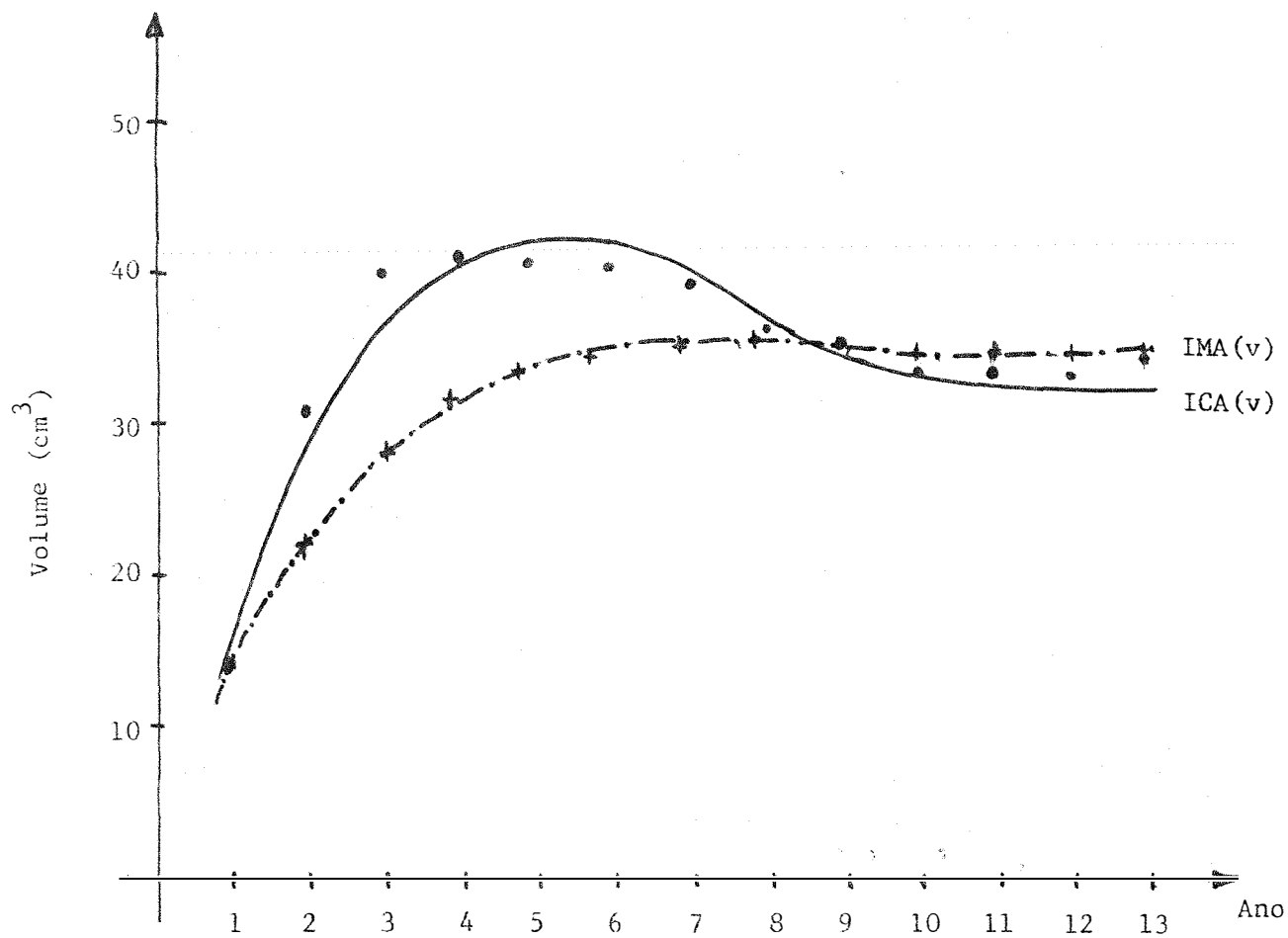


FIGURA 8 - Aspecto da variação obtida para os parâmetros Incremento Corrente Anual de Volume e Incremento Médio Anual de Volume, no DAP, por unidade de altura (cm³).

4.3. Determinação do crescimento anual de massa e idade de corte a nível de DAP por unidade de altura

Através da equação (13) foram obtidos os incrementos correntes anuais de massa ICA(m) para Eucalyptus grandis, com 13 anos de idade. Em seguida, determinaram-se os incrementos globais de massa IG(m) e incrementos médios anuais de massa IMA(m). A Tabela 11 mostra os resultados obtidos. Com os dados da Tabela 11, construíram-se as Figuras 9 e 10 e obtiveram-se as equações de regressões para ICA(m) e IMA(m) com a idade da árvore. As equações obtidas foram:

$$\text{ICA(m)} = 4,0281 + 5,1670x - 0,3210x^2 \quad R = 0,969 \quad (21)$$

$$\text{IMA(m)} = 4,3941 + 2,9601x - 0,1389x^2 \quad R = 0,995 \quad (22)$$

A equação (21) possui um ponto de máximo para 8,1 anos de idade. Pela figura, pode-se notar que o ICA(m) cresce rapidamente até o oitavo ano e, a partir daí, decresce de maneira semelhante, até o décimo terceiro ano.

A curva do IMA(m) atinge o ponto de máximo no décimo ano, e a partir daí, começa a decrescer lentamente. A Figura 10 mostra as curvas do ICA(m) e IMA(m), evidenciando o ponto de encontro entre elas correspondente à idade de corte. Através das equações (21) e (22) pode-se encontrar a idade de corte. A idade ideal de corte encontrada para incrementos de massa, a nível de DAP, foi $I_c = 11,9$ anos. Isto significa que com uma rotação de 12 anos, aproximadamente, é que se tem maior quantidade de matéria seca a nível de DAP por unidade de altura para as amostras analisadas.

No item anterior, o valor da idade de corte obtida, levando-se em conta os valores dos incrementos volumétricos, foi de 8,8 anos, correspondendo à idade de rotação que proporciona maior quantidade de volume a nível de DAP. Essas diferenças na idade de corte são ocasionadas pelas variações das densidades anuais crescentes no sentido medula-casca proporcionando maior quantidade de massa por unidade de volume para os anéis nas "proximidades" da casca.

A Figura 11 pode ilustrar este fato mostrando o ICA(v) e o ICA(m) em porcentagem. Pode-se notar pelo gráfico que do primeiro até o sexto ano, o crescimento porcentual em volume é predominante em relação ao crescimento porcentual de massa. E, a partir do sexto ano, tem-se a situação inversa, predominando o crescimento porcentual em massa.

Para o DAP, a relação entre as duas idades de corte será:

$$\frac{I_c (m)}{I_c (v)} = 1,35$$

onde: $I_c (m)$ = idade de corte para incrementos de massa;

$I_c (v)$ = idade de corte para incrementos de volume.

TABELA 11 - Valores médios dos incrementos de massa, considerando-se hipoteticamente um cilindro com altura de 1,0 cm a nível de DAP (gramas).

Incremento de Massa	Anel Anual													Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
ICA (m)	6,62	13,41	18,87	21,41	22,14	22,44	23,72	24,22	23,94	22,68	22,46	20,78	20,98	20,22
IG (m)	6,62	20,03	38,90	60,31	82,45	104,89	128,61	152,83	176,77	199,45	221,91	242,69	263,67	
IMA (m)	6,62	10,02	12,97	15,08	16,49	17,48	18,37	19,10	19,64	19,95	20,17	20,22	20,28	16,65

ICA (m) = incremento corrente anual de massa

IG (m) = incremento global de massa

IMA (m) = incremento médio anual de massa

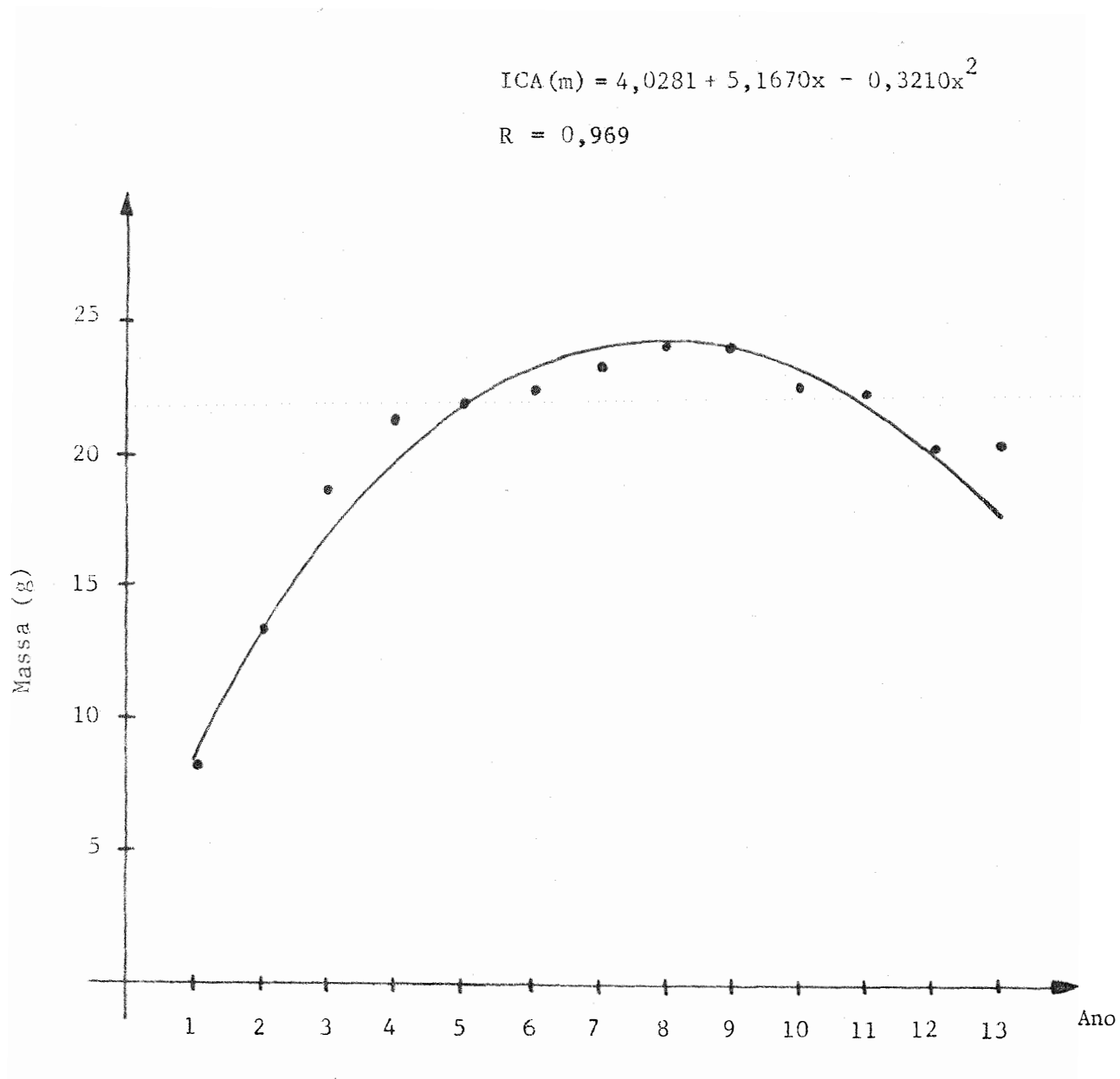


FIGURA 9 - Aspecto da variação obtido para: incremento corrente anual de massa, para Eucalyptus grandis, no DAP, por unidade de altura.

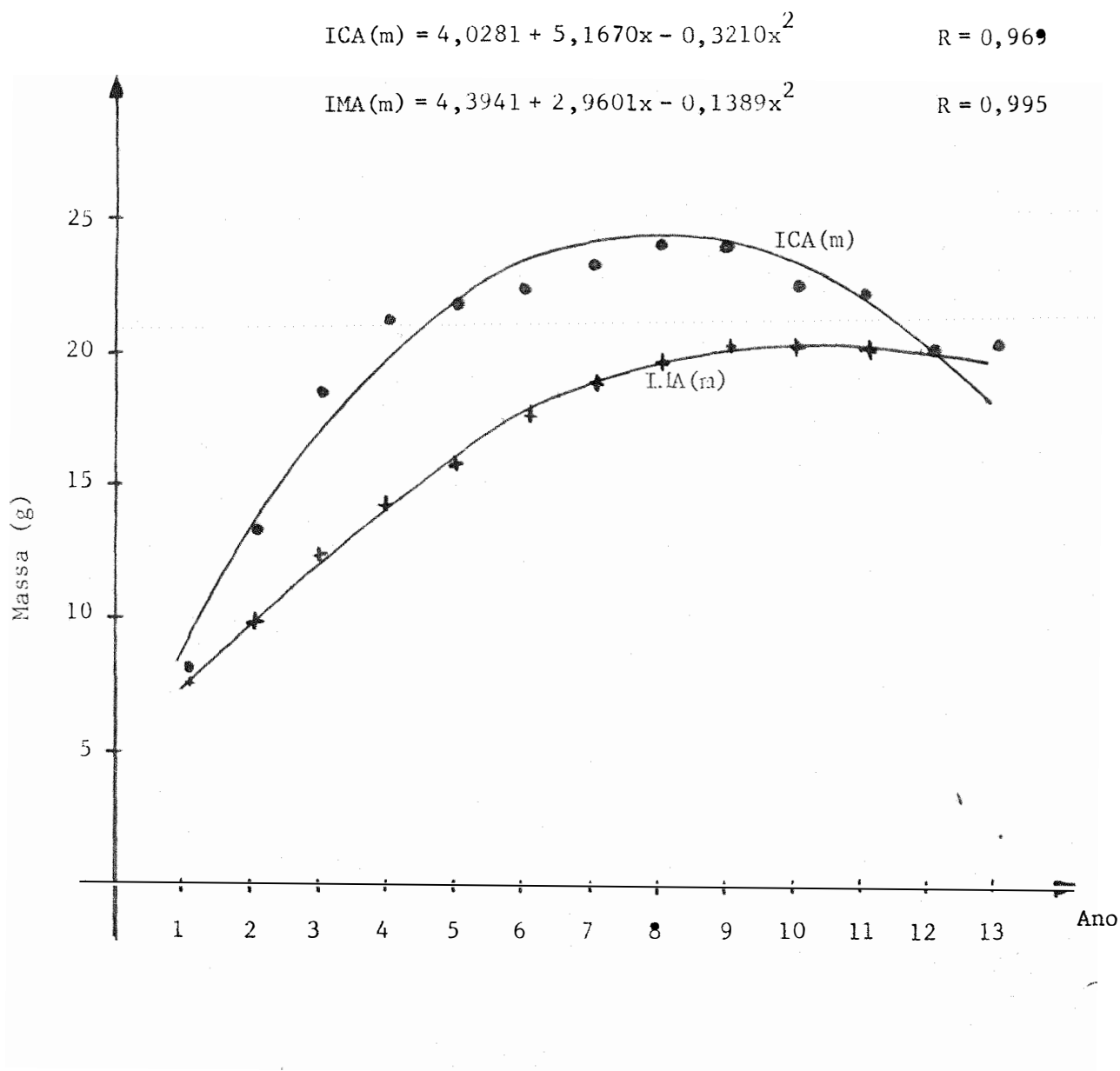


FIGURA 10- Aspecto da variaçãõ obtido para os parâmetros ICA(m) e IMA(m), para Eucalyptus grandis, no DAF, por unidade de altura.

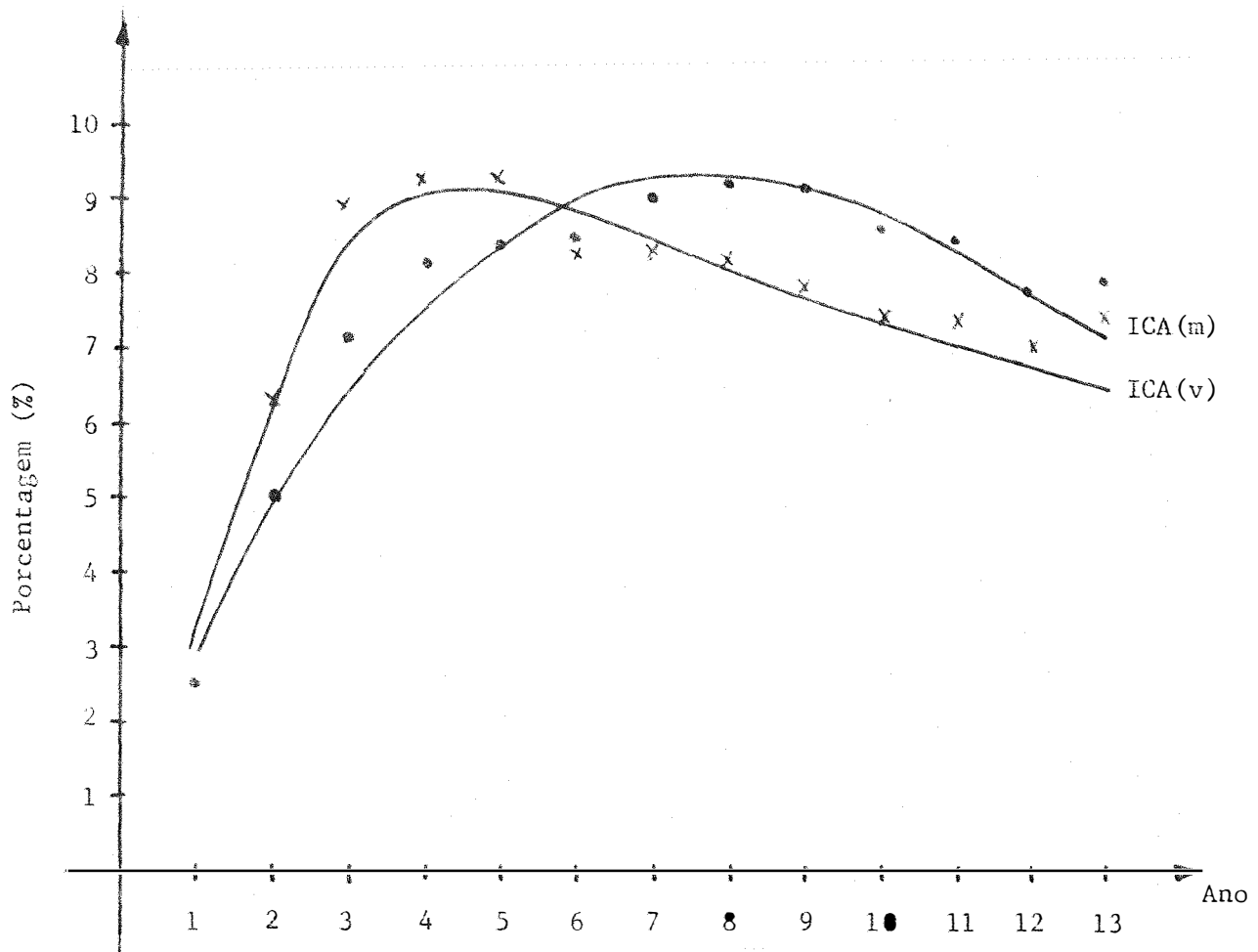


FIGURA 11- Aspecto da variaçãõ para os parâmetros ICA(m) e ICA(v), em porcentagem, para Eucalyptus grandis, com 13 anos de idade, no DAP, por unidade de altura.

4.4. Determinação do crescimento energético anual e idade de corte a nível de DAP por unidade de altura

Seguindo as normas da ABNT, através do método da bomba calorimétrica e equação (16), foram obtidas as medidas do poder calorífico anual para as amostras de Eucalyptus grandis no DAP. Com os valores obtidos para cada anel anual, construiu-se a Tabela 12 e Figura 12.

Com o objetivo de verificar as diferenças do poder calorífico entre os anéis, foi feita uma análise de variância em blocos inteiramente ao acaso. Pela análise de variância, verificou-se que F é significativo a 1% de probabilidade.

Para comparação entre as médias, foi feito o teste de Tukey (Tabela 13). De uma maneira geral, com algumas exceções, os anéis mais próximos à medula possuem poder calorífico ligeiramente maior. Isto pode ser notado pela Tabela 13 e Figura 12. Entretanto, essas diferenças são pequenas, podendo considerar a idade de corte com base em incrementos anuais de massa aproximadamente igual à idade de corte com base em incrementos anuais de energia. Este fato é mostrado na Figura 13 e Tabela 14, onde temos as curvas ICA(E), IMA(E) e o ponto de encontro entre elas, evidenciando a idade de corte.

Foram também obtidas as equações referentes as curvas ICA(E) e IMA(E), sendo:

$$ICA(E) = 20,0211 + 24,7351x - 1,5452x^2 \quad R = 0,968 \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$IMA(E) = 22,2335 + 14,4712x - 0,6873x^2 \quad R = 0,993 \quad \dots\dots\dots (24)$$

A equação (23) possui um ponto de máximo para 8,0 anos de idade.

A idade de corte com base em energia, encontrada através das equações (23) e (24) foi: $I_c = 11,7$ anos, o que significa que, com um período de rotação de aproximadamente 11,7 anos é que se tem maior quantidade de energia a nível de DAP por unidade de altura.

Portanto, para o DAP, a relação entre as idades de corte para incrementos de volume e para incrementos de energia será:

$$\frac{I_c (E)}{I_c (V)} = 1,33$$

onde: $I_c (V)$ = idade de corte para incrementos de volume;

$I_c (E)$ = idade de corte para incrementos de energia.

TABELA 12 - Poder calorífico anual (em cal/g), para amostras de Eucalyptus grandis, no DAP.

Determinações	Anel Anual													Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	4747	4828	4872	4866	4828	4798	4868	4810	4782	4794	4798	4809	4776	4814
2	4744	4826	4839	4838	4730	4771	4850	4806	4775	4804	4696	4847	4740	4790
3	4766	4900	4798	4800	4803	4768	4796	4794	4789	4766	4758	4801	4721	4789
4	4840	4880	4868	4891	4850	4809	4869	4819	4808	4789	4834	4820	4736	4832
5	4756	4796	4931	4850	4827	4828	4808	4830	4800	4760	4770	4749	4740	4803
Média	4771	4846	4861	4849	4807	4794	4838	4811	4790	4782	4771	4805	4743	4805

TABELA 13 - Análise de variância para os valores do poder calorífico anual para amostras de Eucalyptus grandis no DAP.

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamentos	12	74993,50	6249,45	5,09**
Resíduo	52	63760,50	1226,16	
Total	64	138754,00		

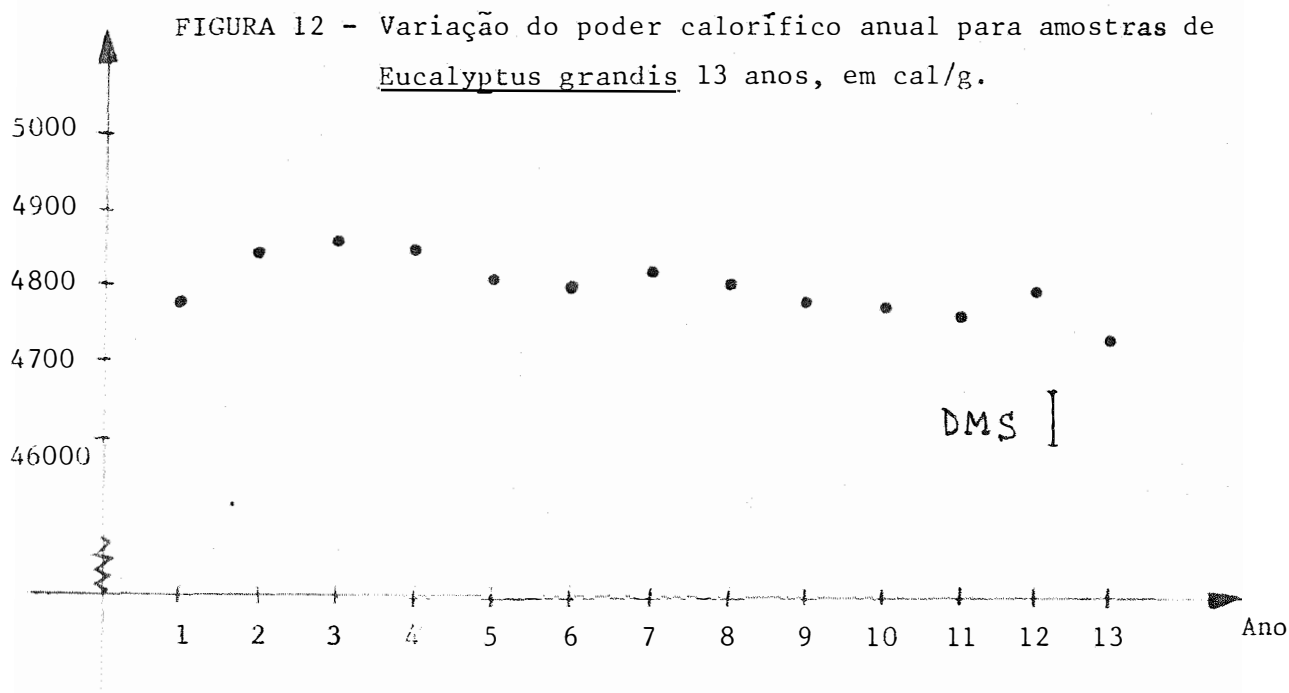
** - ao nível de 1% ao menos um contraste de médias difere de zero.
 Coeficiente de variação = 0,73

Teste Tukey 5% para tratamentos - DMS = 77,04

Tratamento 03 = 4861,6 a
 Tratamento 04 = 4849,0 ab
 Tratamento 02 = 4846,0 abc
 Tratamento 07 = 4838,2 abc
 Tratamento 08 = 4811,8 abcd
 Tratamento 05 = 4807,6 abcd
 Tratamento 12 = 4805,2 abcd
 Tratamento 06 = 4794,8 abcd
 Tratamento 09 = 4790,8 abcd
 Tratamento 10 = 4782,6 bcd
 Tratamento 11 = 4771,2 cd
 Tratamento 01 = 4770,6 cd
 Tratamento 13 = 4742,6 d

Média das repetições

Repetição 01 = 4813,5
 Repetição 02 = 4789,6
 Repetição 03 = 4789,2
 Repetição 04 = 4831,7
 Repetição 05 = 4803,4



$$ICA(E) = 20,0211 + 24,7351x - 1,5452x^2 \quad R = 0,968$$

$$IMA(E) = 22,2335 + 14,4712x - 0,6873x^2 \quad R = 0,993$$

Idade de corte: $I_c = 11,7$ anos

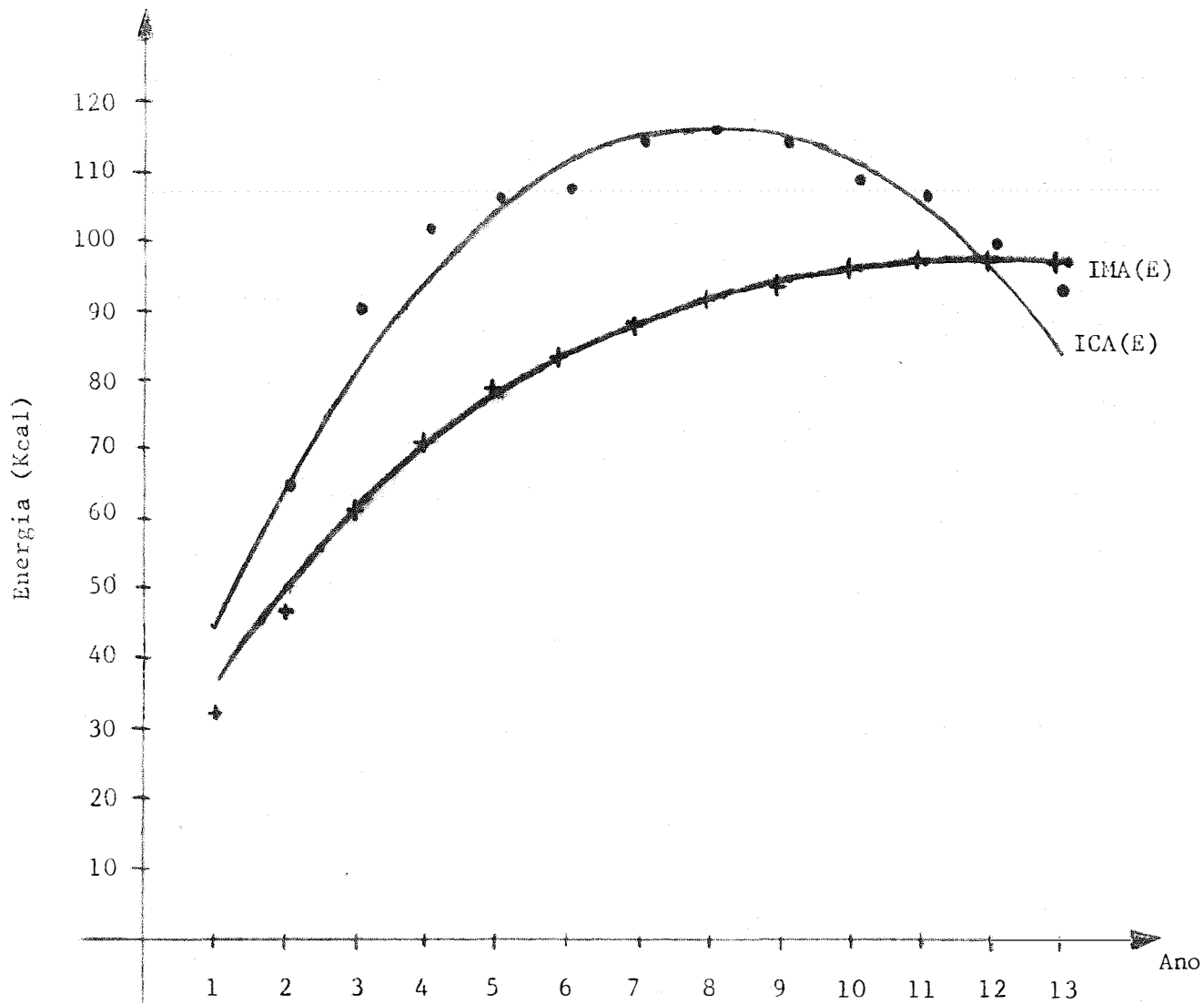


FIGURA 13 - Aspecto da variação obtido para os parâmetros ICA(E) e IMA(E), para Eucalyptus grandis no DAP por unidade de altura.

TABELA 14 - Valores médios dos incrementos de energia, em Kcal, considerando-se hipoteticamente um cilindro com altura de 1,0 cm, tomado no DAP.

Incrementos de Energia	Anel Anual												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ICA(E)	31,58	64,98	91,73	103,82	106,64	107,58	114,75	116,52	114,67	108,84	107,15	99,41	95,90
IG(E)	31,58	96,56	188,29	292,11	398,75	506,33	621,08	737,60	852,27	961,11	1068,26	1167,67	1263,50
IMA(E)	31,58	48,28	62,76	73,03	79,75	84,39	88,73	92,20	94,70	96,11	97,11	97,31	97,19

ICA(E) = incremento corrente anual de energia

IG(E) = incremento global de energia

IMA(E) = incremento médio anual de energia

5. CONCLUSÕES

- 1) A densidade média anual da madeira para as amostras de Eucalyptus grandis analisadas no DAP, apresentaram um aumento no sentido medula-casca, do primeiro ao décimo ano, aproximadamente, vindo a partir daí a decrescer lentamente para idades superiores.
- 2) A densidade média acumulada se manteve crescente até o décimo terceiro ano. Isto significa que, acima dessa idade, é que se tem máxima densidade acumulada a nível de DAP.
- 3) A densidade básica da madeira (D_B) e a densidade à base de massa e volume de matéria seca (ρ_s) para as amostras de Eucalyptus grandis analisadas podem ser relacionadas através da equação:
$$\rho_s = -0,0539 + 1,2719 D_B$$
- 4) As variações da densidade no sentido medula-casca nortearam a idade de corte quando analisadas com base em acréscimos anuais de massa e energia, pois os anéis mais próximos à casca apresentaram maiores quantida-

des de massa por unidade de volume que os mais próximos à medula, provocando um aumento na idade de corte relativos à massa e energia.

- 5) As curvas referentes à: incremento corrente anual de volume, incremento corrente anual de massa e incremento corrente anual de energia apresentaram pontos de máximo, respectivamente em: 5,1, 8,1 e 8,0 anos, para as amostras de Eucalyptus grandis tomadas no DAP, por unidade de altura, significando que nessas idades é que se tem maiores crescimentos ao nível de DAP relativos à cada parâmetro analisado.
- 6) As idades de corte para as amostras analisadas a nível de DAP, com base em: incrementos anuais de volume, incrementos anuais de massa e incrementos anuais de energia foram, respectivamente: 8,8, 11,9 e 11,7 anos.
- 7) O poder calorífico apresentou um pequeno decréscimo no sentido medula-casca para as amostras de Eucalyptus grandis analisadas a nível de DAP.
- 8) Os resultados aqui apresentados se restringem apenas ao nível de DAP, considerando-se hipoteticamente um cilindro com 1 cm de altura. Entretanto, os itens 5 e 6 podem ser extrapolados para a árvore, através do conhecimento de alguns parâmetros, como: crescimento anual em altura, juntamente com o respectivo fator de forma, ou com equações volumétricas regionais.

6. LITERATURA CITADA

A.B.N.T., 1943. Determinação do poder calorífico superior a volume constante do carvão pelo método da bomba calorimétrica. Rio de Janeiro, 1-2.

AGUIAR, O., 1980. Determinação de umidade em madeira por atenuação da radiação gama do ^{241}Am . Piracicaba, ESALQ/USP. 84 p. (Dissertação de Mestrado).

BARRICHELO, L.E.G. e J.O. BRITO, 1979. Variabilidade radial da madeira de Pinus caribaea var. hondurensis. IPEF, Piracicaba, (18): 81-102.

BRASIL, M.A.M. e M. FERREIRA, 1971. Variação da densidade básica da madeira de Eucalyptus alba Reinw, E. saligna Smith e E. grandis Hill ex Maiden, aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. IPEF, Piracicaba, 2/3: 129-149.

BRASIL, M.A.M.; R.G. MONTAGNA; L.C.C. COELHO e R.A.R. VEIGA, 1982. Densi-

dade básica da madeira de Pinus elliotti var. Elliotti, em três regiões do Estado de São Paulo. Boletim Técnico IF, São Paulo, 36: 9-17.

BRISCOE, L.B.; J.B. HARRIS e D. WICKOFF, 1963. Variation of specific gravity in plantation grown trees of Bigleaf Mahogany. Caribb. Forest, 24: 64-74.

BRITO, J.O. e L.E.G. BARRICHELO, 1979. Aspectos florestais tecnológicos da matéria prima para carvão vegetal. Circular Técnica IPEF, Piracicaba, (67): 1-4.

BRITO, J.O., 1979. Queima ou combustão da madeira para fins energéticos. 36 p. (não publicado).

BROWN, H.P.; A.J. PANSIN e C.C. FORSAITH, 1949. Textbook of wood technology. New York, Van Nostrand Reinhold Book Company Inc. V. 1. 625 p.

BURGER, H., 1947. In the influence of environment and genetics on pulpwood quality - An annotated bibliography. Wood Foliage Yield and Growth. Mitt Schweiz. VII Oak.

CAMERON, J.E.; P.F. BERRY e E.W.J. PHILLIPS, 1959. The determination of wood density using beta rays. Holzforchung, Berlim, 13(3): 78-84.

COUTINHO, A.P., 1984. Qualidade do carvão vegetal correlacionada com as características da madeira de Eucalyptus saligna e temperatura de carbonização. Piracicaba, ESALQ/USP. 79 p. (Dissertação de Mestrado).

- COUTINHO, A.P. e A.O. MANZI, 1983. Projeto e construção de um calorímetro. Relatório Técnico Semestral. FINEP, Junho.
- ELLIOT, G.K., 1970. Wood density in conifers. Oxford Common Wealth Agricultural Bureaux. IPEF. 44 p.
- FIELDING, J.M., 1967. The influence of silvicultural practices on wood properties. Review of Forestry Research. New York, Academic Press. 316 p.
- FERRAZ, E.S.B., 1976. Determinação da densidade da madeira por atenuação da radiação gama de baixa energia. Boletim IPEF, Piracicaba, (12): 61-68.
- FERRAZ, E.S.B. e S.M. FONSECA, 1980. Estudo do padrão de crescimento dos anéis usando radiação gama. Circular Técnica IPEF, Piracicaba, (113): 1-7.
- FERRAZ, E.S.B., 1974. Determinação simultânea de densidade e umidade de solos por atenuação de raios gama do ^{137}Cs e ^{241}Am . Piracicaba, ESALQ/USP. 120 p. (Tese de Livre-Docência).
- FERRAZ, E.S.B. e J. MORTATTI, 1982. Determining density of wood by gamma-ray attenuation method - Growth ring identification. Wood microdensitometry Bulletin, 2(2): 26-33.
- FERREIRA, M., 1968. Estudo da variação da densidade básica da madeira de Eucalyptus alba Reinw e Eucalyptus saligna Smith. Piracicaba, ESALQ/USP.

72 p. (Tese de Doutorado).

FERREIRA, M., 1970. Estudo da variação da densidade básica da madeira de povoamentos de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden. Piracicaba, ESALQ/USP. 62 p. (Tese de Livre-Docência).

FERREIRA, C.A. e J.L. TIMONI, 1980. Contribuição ao estudo da determinação da época de corte em povoamentos de Eucalyptus spp. Silvicultura, São Paulo, (14): 85-86.

FERREIRINHA, M.P., 1961. Propriedades físicas e mecânicas das madeiras dos Eucalyptus. (Relatório dos Progressos Realizados 1956-1961). Conferência Mundial do Eucalipto, 2a., São Paulo, Relatórios e Documentos. V. 2. p. 1113-1122.

FLORESTAL ACESITA, 1979. Madeira: uma usina de energia. Sol & Solo, Belo Horizonte, (4): 1-3.

FOELKEL, C.E.B.; C.A. BUSNARDO; C. DIAS; R.M.R. SILVA; C. SCHIMIDT e J.B.V. FESZ, 1983. Variabilidade radial da madeira de Eucalyptus saligna. Silvicultura, São Paulo, 8: 782-791.

HEINSDIJK, D.; R.O. SOARES; S. ANDEL e R.B. ASCOLY, 1965. Plantações de eucaliptos no Brasil: estudo preliminar dos volumes e capacidades de produção. Rio de Janeiro, Departamento de Recursos Naturais Renováveis. p. 28-40 (Boletim, 10).

HOFFMANN, R. e R. BERGER, 1973. Determinação da idade ótima de corte de povoamentos de Eucalyptus. Piracicaba, IPEF, p. 85-86 (Série Técnica).

JOHNSTON, D.R.; A.J. GRAYSON e R.T. BRAPLEY, 1972. Planejamento florestal. Lisboa, Fundação Calouste Mundial, 7. 16 p. (separata).

KOLLMANN, F.F.P. e W.A. COTÉ Jr., 1968. Principles of wood science and technology. New York, Springer-Verlag. V. 1.

MACHADO, S.A., 1973. Aplicabilidade de equações de regressão em inventários florestais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 2º, Curitiba, FIEP. Anais. p. 175-177.

NETTO, S.P., 1982. Estimativas volumétricas de árvores individuais: síntese teórica. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 5º, Curitiba, EMBRAPA/UFPFCS, 1981. Anais. p. 15-21.

PACHECO, R.A., 1981. Determinação da idade ótima de corte do eucalipto para carvão vegetal nas condições da região de Santa Bárbara-Minas Gerais. Viçosa, UFV. 62 p. (Dissertação de Mestrado).

PARRISH, W.B., 1961. Detecting defects in wood by the attenuation of gamma-rays. Forest Science, 7(2): 136-143.

PEREIRA, J.C.D., 1982. A influência do ritmo de crescimento na densidade da madeira de Pinus elliotti Engelm var. elliotti. Piracicaba, ESALQ/USP. 98 p. (Dissertação de Mestrado).

PHILLIPS, E.W.J., 1960. The beta-ray method of determining the density of wood and the proportion of summer wood. Journal of the Institute of Wood

- Science, Londres, (5): 16-28.
- PINTO, F.A., 1978. Determinação de densidade de madeira por atenuação de radiação gama do ^{241}Am . Piracicaba, ESALQ/USP. 129 p. (Dissertação de Mestrado).
- POLGE, H., 1965. Study of wood density variation by densitometric analysis of X-ray negatives of samples taken with a pressler anger. In: MEETING OF IUFRO, Melbourne, October 1965. Proceedings, CSIRO, Section 41. V. 2.
- SILVA, J.A., 1979. Estimativa do volume por hectare e sua contribuição em povoamentos de Eucalyptus spp nos cerrados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Curitiba, UFP. 79 p. (Dissertação de Mestrado).
- SIMÕES, J.W.; R.M. BRANDI; N.B. LEITE e E.A. BALLONI, 1981. Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento. Brasília, IBDF. 131 p.
- SKAAR, C., 1972. Water in wood. Syracuse, Syracuse University Press. 218 p.
- SPURR, S.H., 1951. Forest inventory. New York, Ronald Press. 476 p.
- TROVATTI, L.R., 1982. Resposta da densidade dos anéis de crescimento de Pinus oocarpa Schiede aos fatores climáticos. Piracicaba, ESALQ/USP.

97 p. (Dissertação de Mestrado).

THAME, A.C.M., 1976. Estudo da determinação das doses ótimas de fertilizantes e da idade ótima de corte em Eucalyptus saligna Sm, em solo de Cerrado no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP. 93 p. (Dissertação de Mestrado).

APÊNDICE

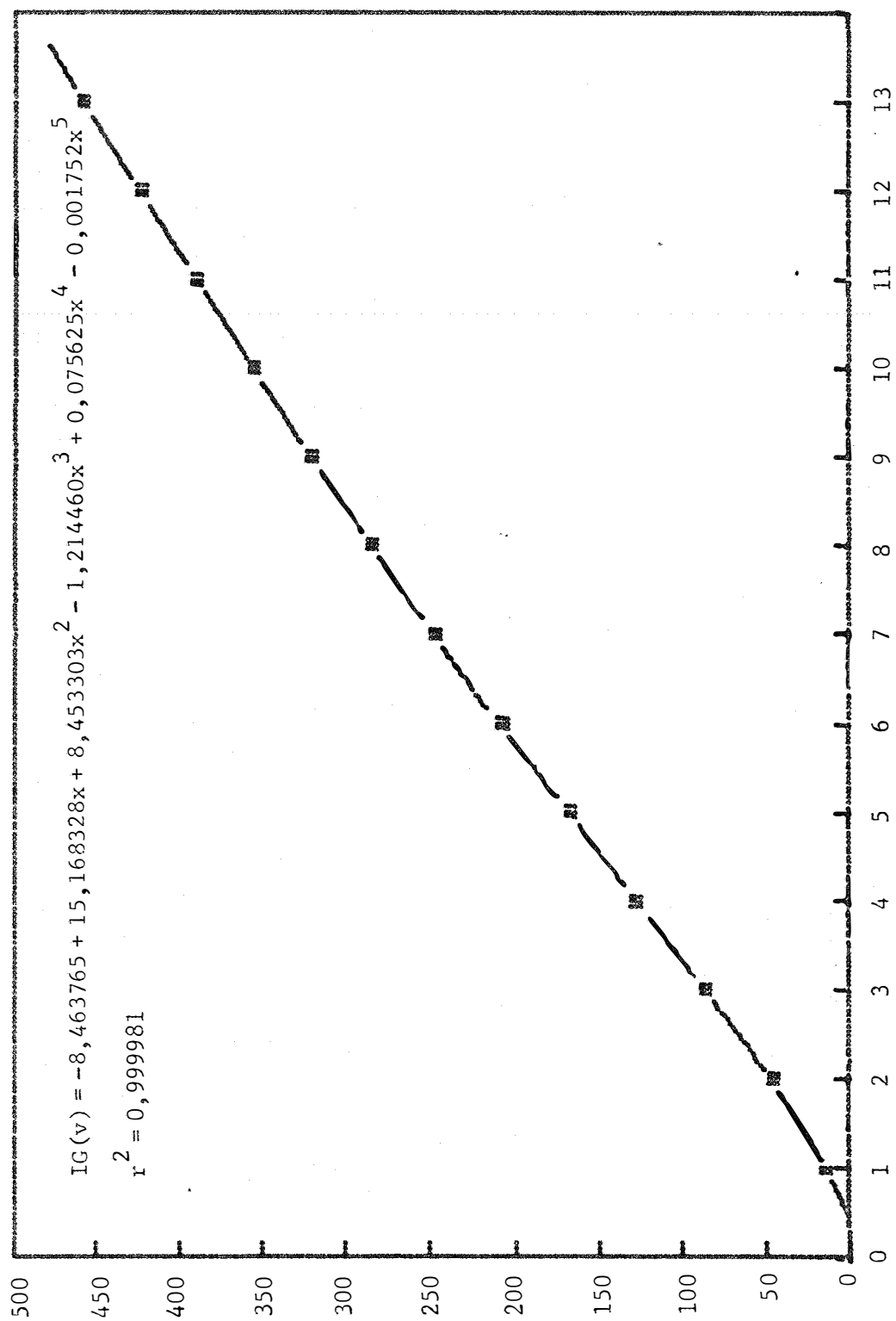


FIGURA 1 - Incremento global de volume, expresso em cm³, para Eucalyptus grandis, com idade de 13 anos, no MAP, por unidade de altura, em cm.

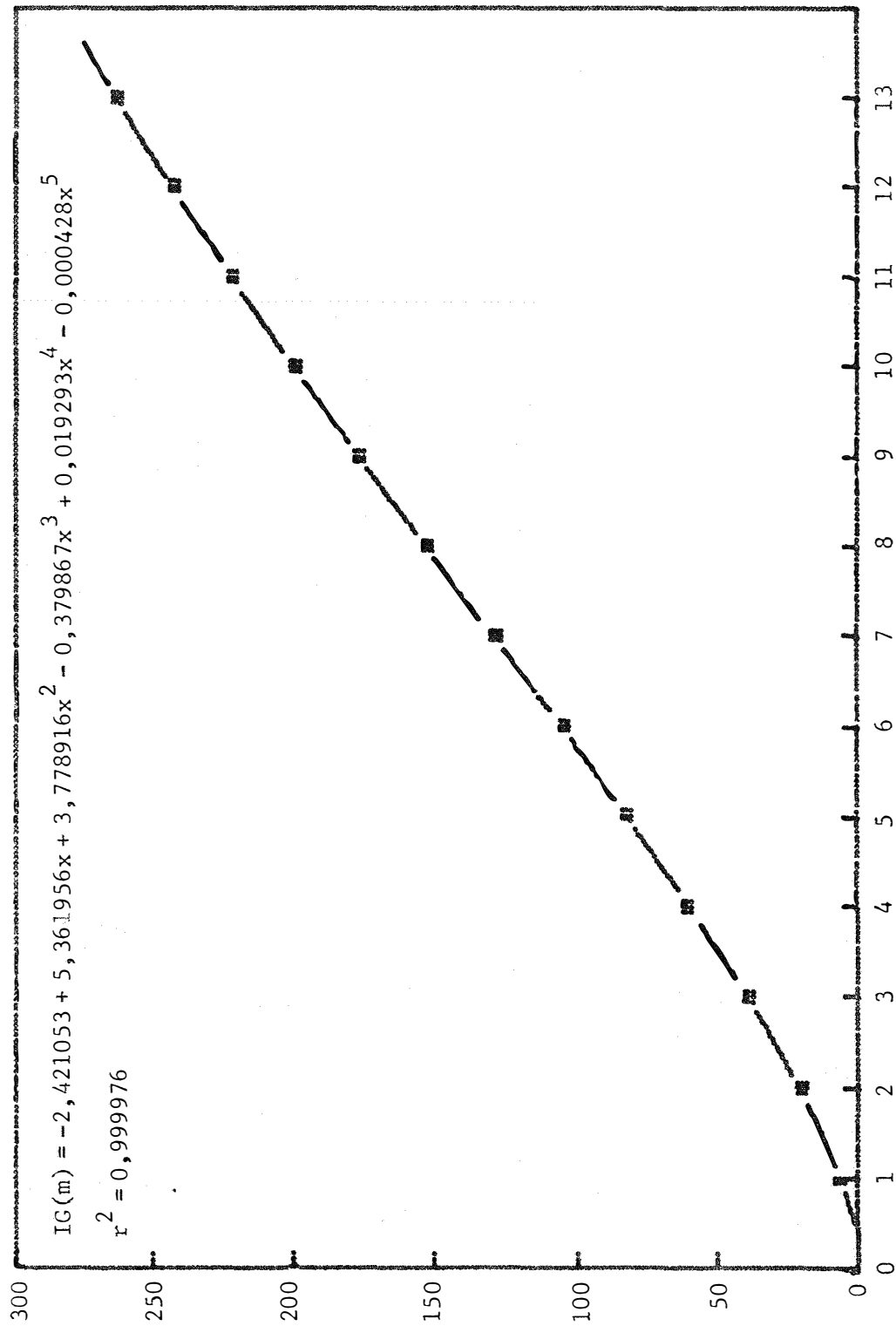


FIGURA 2 - Incremento global de massa em gramas, para Eucalyptus grandis, com idade de 13 anos, no DAP, por unidade de altura, em cm.

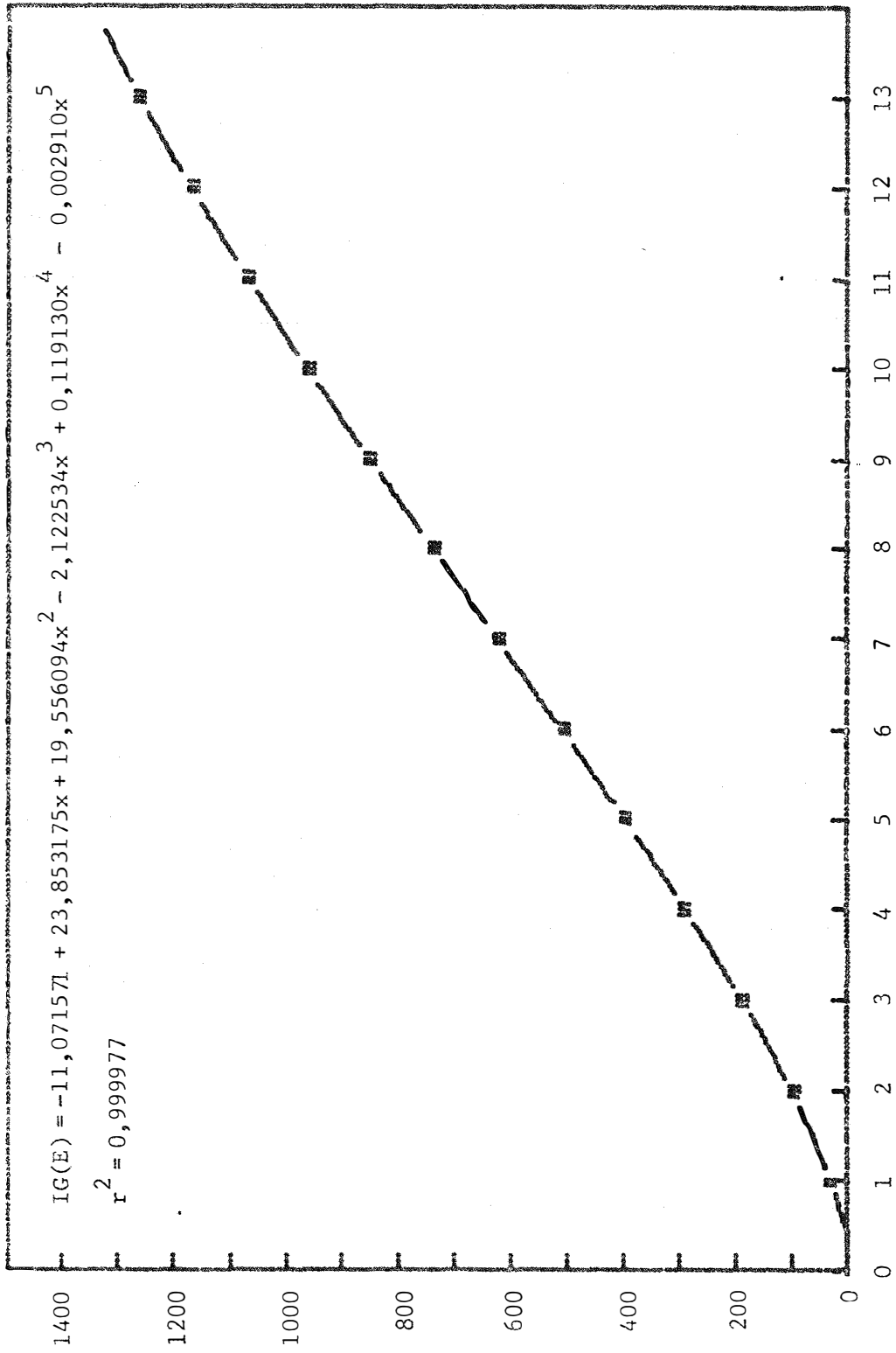


FIGURA 3 - Incremento global de energia, expresso em Kcal, para Eucalyptus grandis, com idade de 13 anos, no DAP, por unidade de altura, em cm.