



DENSIDADE BÁSICA, TEOR DE HOLOCELULOSE E RENDIMENTO EM CELULOSE DE MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*.

Luiz E.G. Barrichelo

José Otávio Brito

Hilton T.Z. do Couto

o ESALQ-USP

Edgard Campinhos Junior.

o Aracruz Florestal S.A. Brasil.

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi estudar a variação da densidade básica, teor de holocelulose e rendimento em celulose sulfato entre e dentro de árvores, de populações de *Eucalyptus grandis* para as idades de 5, 6, 7, 8, 9 e 10 anos. Da mesma forma procurou-se verificar a existência de correlações entre estes parâmetros e a possibilidade de se expressar o rendimento da floresta, diretamente em termos de toneladas de celulose sulfato branqueada por hectare a partir dos dados dendrométricos normalmente obtidos.

Summary

The objective of this paper was to study wood basic density, holocellulose content and kraft pulp yield variations between and within *Eucalyptus grandis* trees, with 5, 6, 7, 8, 9 and 10 years old. Likely it was determined correlations among the underline variables and equations for pulp yield estimation for *Eucalyptus grandis* stands through the data usually recorded in forest surveys.

The following conclusions could be drawn:

1. Wood basic density of the increment core taken at DBH level was lower than that of wood disc of the same level.
2. Tree wood basic density is highly correlated to basic density of the increment core and the disc taken at DBH.
3. Tree wood basic density increases as the age of the stands increases.
4. Within tree wood basic density is higher at bottom and between 50 to 75% high of the commercial stem of the trees.
5. For all ages, tree bottom and top are the regions of the trees that show lower pulp yield.
6. Holocellulose content increases from bottom up to about 75% high of the commercial stem of the trees.
7. There is no correlation between pulp or holocellulose yield with tree wood basic density, even with wood basic density taken at a specific level, DBH for instance.
8. Holocellulose yield is highly correlated to holocellulose content.
9. There is no correlation between pulp yield of the wood taken at DBH level and the yield of the whole tree. Likely there is no correlation of the same yields for holocellulose.
10. Knowing, DBH, total height and wood basic density of the increment core taken at DBH level it is possible to estimate kraft pulp yield per tree, for each age. These results can be used for estimating pulp yield per hectare, through usual forest survey data.

1. INTRODUÇÃO

Dentro do conceito moderno de "silvicultura industrial", novos enfoques estão sendo procurados para a produção de madeira.

A par da preocupação com os incrementos volumétricos dos povoamentos florestais, outros parâmetros estão sendo introduzidos visando-se expressar os rendimentos das florestas em termos de quantidades das matérias-primas. Associados a informações tecnológicas da madeira e industriais de processos visa-se expressá-los em termos de produto final.

O presente trabalho procurou trazer algumas contribuições para se alcançar estes objetivos, tendo sido realizado com as seguintes finalidades:

- a) Estudar a variação da densidade básica da madeira, entre árvores e dentro das árvores, de populações de *Eucalyptus grandis*, para seis idades, a saber: 5, 6, 7, 8, 9 e 10 anos;
- b) Estudar as variações do teor de holocelulose e rendimento em celulose sulfato;
- c) Verificar a existência de correlações entre densidades básicas, teor de holocelulose e rendimento em celulose sulfato, com o objetivo de nortear os estudos de melhoramento florestal; e
- d) Verificar a possibilidade de se expressar o rendimento da floresta, diretamente, em termos de toneladas de celulose sulfato branqueada por hectare.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

O material do presente estudo se constituiu de madeira de *Eucalyptus grandis* colhida de árvores de povoamentos implantados em propriedade da Aracruz Florestal S.A., na região de Aracruz-ES, nas idades de 5, 6, 7, 8, 9 e 10 anos.

2.2. Métodos

2.2.1. Coleta das amostras

Para cada uma das idades foram amostradas 25 árvores em quantidades proporcionais à distribuição normal de diâmetros à altura do peito (DAP) dentro das classes, segundo o método de Draudt (SPURR, 1952).

Estabelecido o número de árvores dentro de cada classe diamétrica, a escolha das mesmas foi feita ao acaso, evitando-se árvores atípicas ou de feituosas (bifurcadas, retorcidas ou espiraladas).

Após a escolha das árvores foram determinados: diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT) e altura comercial (HC).

A seguir foram retiradas amostras (bagaetas) com sonda de Pressler ao nível do DAP, na direção norte-sul, de casca-a-casca, e discos a diferentes alturas conforme mostrado na tabela 1.

Tabela 1. Alturas de retiradas dos discos

DISCO	ALTURA DE RETIRADA
0	Base: altura normal do corte
1	DAP : a 1,30 m do solo
2	25% da altura comercial
3	50% da altura comercial
4	75% da altura comercial
5	Topo: altura do limite mínimo de diâmetro

Os discos obtidos apresentavam espessuras em torno de 2,5 cm, faces paralelas e livres de nós ou qualquer outra anormalidade.

De cada disco foram anotados os diâmetros com e sem casca através de medições perpendiculares entre si.

2.2.2. Determinação da densidade básica

Dos discos foram retiradas cunhas e mantidas em água, sob vácuo ininterrupto, até atingirem a completa saturação. A seguir foi empregado o método da balança hidrostática (Norma ABCP M14/70) que consiste em se determinar o peso imerso, peso úmido e peso absolutamente seco da amostra.

O cálculo da densidade básica é feito através da seguinte expressão:

$$d_b = \frac{PS}{PU - PI} \quad \text{onde}$$

$$d_b = \text{densidade básica, em g/cm}^3$$

$$PS = \text{peso absolutamente seco da amostra, em g}$$

$$PU = \text{peso úmido da amostra, em g}$$

$$PI = \text{peso imerso da amostra, em g}$$

Para as baguetas, o método empregado foi o do máximo teor de umidade (FOELKEL et alii, 1971) que consiste em se determinar o peso úmido da amostra e respectivo peso absolutamente seco.

O cálculo da densidade básica é feito através da seguinte expressão:

$$d_b = \frac{1}{\frac{PU}{PS} - 0,346} \quad \text{onde}$$

$$d_b = \text{densidade básica, em g/cm}^3$$

$$PU = \text{peso úmido da amostra, em g}$$

$$PS = \text{peso seco da amostra, em g}$$

2.2.3. Teor de holo celulose

Para a realização dos ensaios, visando a determinação do teor de holo celulose, de cada disco foi retirada uma cunha.

O preparo final da serragem para os ensaios consistiu na moagem do material em moinho Wiley e classificação através de peneira de 40 mesh.

A determinação foi feita segundo método preconizado pelo Forest Products Laboratory (MOORE & JOHNSON, 1967).

2.2.4. Produção de celulose

Para a produção de celulose foi empregado o processo sulfato.

Os cozimentos foram realizados utilizando-se digestor rotatório, de aço inoxidável, capacidade para 20 litros e aquecido através de resistência elétrica.

Dentro de cada idade, os cozimentos foram conjuntos para as 150 amostras utilizando-se recipientes de tela de aço inoxidável, numa técnica semelhante à descrita por BARRICHELO & BRITO (1977).

As condições empregadas para os cozimentos são mostradas na tabela 2.

Tabela 2. Condições empregadas nos cozimentos

VARIÁVEL	
Alcali ativo como Na ₂ O	13-15 %
Sulfidez	25%
Atividade	100%
Relação licor-madeira	4 litros/l kg
Temperatura máxima	170°C
Tempo até 170°C	180-210 min
Tempo a 170°C	30 min

Estas condições foram suficientes para produzir celuloses, cujos graus de deslignificação, expresso pelo número de permanganato, se situaram entre 14 e 16.

Após cada cozimento, as celuloses eram removidas dos recipientes lavadas, e determinados os rendimentos em celulose de cada amostra.

A transformação para celulose branqueada foi feita admitindo-se um rendimento de branqueamento da ordem de 90%.

Desta forma:
rendimento em celulose branqueada = rendimento do cozimento x 0,9.

2.2.5. Cálculos estatísticos

Para os parâmetros analisados, a saber: densidade básica, teor de holo celulose e rendimento do cozimento, os resultados obtidos, para cada idade de, foram utilizados para análises de variância e teste de Tukey, visando observar as variações entre posições. Neste caso, cada árvore foi considerada como sendo uma repetição.

A análise conjunta de todos os valores obtidos foi feita através de regressões lineares, utilizando-se computador eletrônico IBM 370/158.

3. RESULTADOS

3.1. Valores médios e parâmetros estatísticos

Tabela 3. Valores médios e demais parâmetros estatísticos para alturas, diâmetros à altura do peito (DAP) e densidades básicas, por idade

VARIÁVEL	\bar{m}	m	M	s	s_m	C.V.
Idade = 5 anos						
DAPP	15,2	8,0	22,6	3,41	0,68	22,50
ATOT	21,6	14,7	25,2	2,31	0,46	10,69
ACOM	17,3	8,0	21,4	3,20	0,64	18,50
GDAP	0,423	0,350	0,515	0,0351	0,007	8,30
GBAG	0,402	0,238	0,476	0,0472	0,009	11,73
Idade = 6 anos						
DAPP	17,4	8,9	26,7	4,50	0,90	25,85
ATOT	23,8	16,2	29,0	3,87	0,77	16,29
ACOM	20,7	9,8	25,9	4,79	0,96	23,10
GDAP	0,482	0,408	0,605	0,0491	0,009	10,20
GBAG	0,452	0,365	0,547	0,0426	0,008	9,42

(continua)

Tabela 3. Continuação

VARIÁVEL	\bar{m}	m	M	s	s_m	C.V.
Idade = 7 anos						
DAPP	17,9	8,6	26,7	4,35	0,87	24,23
ATOT	25,1	13,2	32,0	4,13	0,83	16,46
ACOM	21,2	8,8	27,0	4,07	0,81	19,15
GDAP	0,468	0,396	0,590	0,0472	0,009	10,10
GBAG	0,441	0,370	0,510	0,0397	0,008	8,98
Idade = 8 anos						
DAPP	20,0	9,2	31,8	5,54	1,11	27,76
ATOT	25,9	15,5	31,5	4,32	0,86	16,69
ACOM	22,2	10,2	23,2	4,82	0,94	21,71
GDAP	0,487	0,420	0,559	0,0376	0,008	7,72
GBAG	0,457	0,395	0,515	0,0376	0,008	8,23
Idade = 9 anos						
DAPP	24,4	11,8	33,1	5,32	1,06	24,84
ATOT	27,4	19,0	33,5	4,02	0,80	14,71
ACOM	23,7	14,3	29,5	4,22	0,84	17,79
GDAP	0,500	0,410	0,608	0,0556	0,011	11,10
GBAG	0,473	0,413	0,572	0,0472	0,009	10,00
Idade = 10 anos						
DAPP	20,3	11,8	32,8	5,21	1,04	25,69
ATOT	28,1	20,2	34,0	3,71	0,74	13,21
ACOM	24,1	15,1	29,4	4,15	0,83	17,20
GDAP	0,515	0,397	0,649	0,0589	0,012	11,42
GBAG	0,480	0,400	0,591	0,0487	0,010	10,13

DAPP = diâmetro à altura do peito, determinado no campo (cm)

ATOT = altura total (m)

ACOM = altura comercial (m)

GDAP = densidade básica do disco amostrado no DAP (g/cm³)₃

GBAG = densidade básica da bagueta amostrada no DAP (g/cm³)

m = valor médio

M = valor mínimo

s = valor máximo

s = desvio padrão da média

s_m = erro padrão da média

C.V. = coeficiente de variação

3.2. Densidades básicas médias das árvores, em função das densidades básicas dos discos tomados no DAP

Tabela 4. Para o fuste total

IDADE	F	C.V.	r	a	b
5	84,23**	3,81	0,8863**	0,061	0,8840
6	78,84**	4,41	0,8798**	0,108	0,8136
7	75,63**	4,26	0,8758**	0,123	0,7832
8	97,00**	3,26	0,8991**	0,077	0,8774
9	213,94**	3,26	0,9502**	0,063	0,9104
10	155,48**	3,54	0,9333**	0,112	0,8115
GERAL	1.016,70**	3,85	0,9343**	0,066	0,8972

F = valor do teste F da análise de variância da regressão

C.V. = coeficiente de variação (%)

r = coeficiente de correlação

a e b = parâmetros da equação de regressão linear onde a variável dependente é a densidade média da árvore e a variável independente a densidade básica do disco tomado no DAP

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 5. Para o fuste comercial

IDADE	F	C.V.	r	a	b
5	85,60**	3,83	0,8878**	0,056	0,8964
6	79,51**	4,40	0,8807**	0,108	0,8147
7	75,63**	4,28	0,8756**	0,122	0,7862
8	97,85**	3,25	0,8998**	0,076	0,8794
9	216,05**	3,25	0,9507**	0,063	0,9118
10	155,67**	3,54	0,9334**	0,111	0,8129
GERAL	1.022,93**	3,84	0,9347**	0,066	0,8985

3.4. Densidades médias das árvores em função das densidades básicas das baguetas tomadas no DAP

Tabela 6. Para o fuste total

IDADE	F	C.V.	r	a	b
5	11,29**	6,73	0,5738**	0,264	0,4249
6	88,70**	4,21	0,8911**	0,070	0,9495
7	29,15**	5,86	0,7477**	0,138	0,7974
8	72,27**	3,66	0,8710**	0,116	0,8509
9	157,07**	3,74	0,9340**	0,022	1,0528
10	115,22*	4,02	0,9130**	0,069	0,9602
GERAL	482,29**	5,23	0,8747**	0,075	0,9327

F = valor do teste F da análise de variância da regressão
 C.V. = coeficiente de variação (%)
 r = coeficiente de correlação
 a e b = parâmetros da equação de regressão linear onde a variável dependente é a densidade média da árvore e a variável independente é a densidade básica da bagueta tomada no DAP
 ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 7. Para o fuste comercial

IDADE	F	C.V.	r	a	b
5	11,24**	6,82	0,5730**	0,262	0,4296
6	89,44**	4,20	0,8918**	0,070	0,9506
7	29,24**	5,88	0,7481**	0,136	0,8000
8	71,81**	3,67	0,8703**	0,115	0,8515
9	157,92**	3,74	0,9343**	0,021	1,0542
10	114,52**	4,04	0,9125**	0,068	0,9613
GERAL	482,13**	5,24	0,8747**	0,075	0,9337

3.5. Valores médios e demais parâmetros estatísticos para densidades básicas, rendimento em celulose não-branqueada e teor de holocelulose, por idade e posição dentro da árvore

Tabela 8. Para a idade de 5 anos

VARIÁVEL	POSICÃO	\bar{m}	s	s_m	C.V.
d_b	0	0,462	0,0461	0,0092	9,98
	1	0,423	0,0351	0,0070	8,30
	2	0,423	0,0440	0,0088	10,40
	3	0,430	0,0353	0,0071	8,21
	4	0,437	0,0298	0,0060	6,82
5	0,427	0,0230	0,0046	5,39	
R	0	48,5	1,74	0,35	3,59
	1	51,2	1,90	0,38	3,71
	2	52,3	1,64	0,33	3,14
	3	52,6	1,34	0,27	2,55
	4	51,7	1,22	0,24	2,36
5	49,5	1,49	0,30	3,01	
H	0	75,8	1,61	0,32	2,12
	1	77,2	1,16	0,23	1,50
	2	78,2	1,40	0,28	1,79
	3	79,2	1,23	0,25	1,55
	4	79,6	1,48	0,30	1,86
5	79,3	1,40	0,28	1,76	

d_b = densidade básica do disco (g/cm^3)
 R = rendimento em celulose não-branqueada (%)
 H = teor de holocelulose (%)
 \bar{m} = valor médio
 s = desvio padrão
 s_m = erro padrão da média
 C.V. = coeficiente de variação (%)

Tabela 9. Para a idade de 6 anos

VARIÁVEL	POSICÃO	\bar{m}	s	s_m	C.V.
d_b	0	0,488	0,0433	0,0087	8,87
	1	0,482	0,0491	0,0098	10,20
	2	0,496	0,0516	0,0103	10,41
	3	0,516	0,0549	0,0112	10,66
	4	0,509	0,0465	0,0093	9,14
5	0,494	0,0459	0,0092	9,29	

(continua)

Tabela 9. Continuação

VARIÁVEL	POSICÃO	\bar{m}	s	s_m	C.V.
R	0	51,0	2,59	0,52	5,08
	1	53,8	2,84	0,58	5,28
	2	54,2	2,43	0,48	4,48
	3	54,0	2,79	0,55	5,11
	4	51,9	2,25	0,45	4,34
5	49,7	1,56	0,31	3,14	
H	0	77,7	2,08	0,42	2,68
	1	79,3	1,83	0,36	2,30
	2	80,4	1,53	0,30	1,90
	3	80,6	1,27	0,25	1,58
	4	80,7	1,49	0,30	1,84
5	79,9	1,77	0,35	2,21	

d_b = densidade básica do disco (g/cm^3)
 R = rendimento em celulose não-branqueada (%)
 H = teor de holocelulose (%)
 \bar{m} = valor médio
 s = desvio padrão
 s_m = erro padrão da média
 C.V. = coeficiente de variação (%)

Tabela 10. Para a idade de 7 anos

VARIÁVEL	POSICÃO	\bar{m}	s	s_m	C.V.
d_b	0	0,512	0,0449	0,0090	8,76
	1	0,468	0,0473	0,0095	10,10
	2	0,468	0,0572	0,0114	12,22
	3	0,499	0,0528	0,0106	10,58
	4	0,496	0,0436	0,0087	8,80
5	0,488	0,0362	0,0072	7,42	
R	0	49,4	3,13	0,63	6,34
	1	52,5	1,93	0,38	3,68
	2	53,3	2,14	0,43	4,02
	3	52,9	1,51	0,30	2,85
	4	51,4	1,25	0,25	2,43
5	48,9	1,48	0,30	3,03	

(continua)

Tabela 10. Continuação

VARIÁVEL	POSICÃO	\bar{m}	s	s_m	C.V.
H	0	75,8	1,72	0,34	2,28
	1	78,8	1,44	0,29	1,82
	2	79,8	1,05	0,21	1,32
	3	79,9	1,49	0,30	1,86
	4	80,1	1,47	0,30	1,84
5	79,4	3,67	0,73	4,62	

d_b = densidade básica do disco (g/cm^3)
 R = rendimento em celulose não-branqueada (%)
 H = teor de holocelulose (%)
 \bar{m} = valor médio
 s = desvio padrão
 s_m = erro padrão da média
 C.V. = coeficiente de variação (%)

Tabela 11. Para a idade de 8 anos

VARIÁVEL	POSICÃO	\bar{m}	s	s_m	C.V.
d_b	0	0,513	0,0348	0,0070	6,77
	1	0,487	0,0376	0,0075	7,72
	2	0,492	0,0417	0,0083	8,47
	3	0,512	0,0416	0,0083	8,11
	4	0,512	0,0450	0,0090	8,80
5	0,496	0,0377	0,0075	7,59	
R	0	48,9	1,94	0,39	3,97
	1	50,9	2,46	0,49	4,84
	2	53,3	2,46	0,49	4,62
	3	52,7	1,83	0,37	3,47
	4	52,0	1,62	0,32	3,12
5	48,7	1,74	0,35	3,57	
H	0	72,8	2,97	0,59	4,08
	1	74,7	4,50	0,90	6,02
	2	75,6	4,66	0,93	6,16
	3	76,5	5,06	1,01	6,61
	4	77,6	3,93	0,79	5,06
5	77,0	5,02	1,00	6,52	

d_b = densidade básica do disco (g/cm^3)
 R = rendimento em celulose não-branqueada (%)
 H = teor de holocelulose (%)
 \bar{m} = valor médio
 s = desvio padrão
 s_m = erro padrão da média
 C.V. = coeficiente de variação (%)

Tabela 12. Para a idade de 9 anos

VARIÁVEL	POSIÇÃO	\bar{m}	s	s_m	C.V.
d_b	0	0,520	0,0503	0,0101	9,67
	1	0,501	0,0556	0,0111	11,10
	2	0,514	0,0583	0,0117	11,35
	3	0,524	0,0627	0,0125	11,97
	4	0,529	0,0570	0,0114	10,77
	5	0,517	0,0463	0,0093	8,97
R	0	48,5	1,65	0,33	3,41
	1	51,8	2,46	0,49	4,75
	2	54,3	3,83	0,77	7,06
	3	54,5	3,24	0,65	5,95
	4	52,0	1,86	0,37	3,58
	5	49,7	1,78	0,36	3,59
H	0	73,7	2,93	0,59	3,98
	1	76,1	2,07	0,41	2,72
	2	77,8	2,13	0,44	2,74
	3	78,3	1,80	0,36	2,30
	4	78,5	1,73	0,34	2,20
	5	78,5	1,76	0,35	2,24

 d_b = densidade básica do disco (g/cm^3) R = rendimento em celulose não-branqueada (%) H = teor de holocelulose (%) \bar{m} = valor médio

s = desvio padrão

 s_m = erro padrão da média

C.V. = coeficiente de variação (%)

Tabela 13. Para a idade de 10 anos

VARIÁVEL	POSIÇÃO	\bar{m}	s	s_m	C.V.
d_b	0	0,533	0,0517	0,0103	9,70
	1	0,516	0,0589	0,0118	11,42
	2	0,525	0,0556	0,0111	10,60
	3	0,535	0,0549	0,0110	10,25
	4	0,540	0,0544	0,0109	10,08
	5	0,509	0,0465	0,0093	9,14

(continua)

Tabela 13. Continuação

VARIÁVEL	POSIÇÃO	\bar{m}	s	s_m	C.V.
R	0	45,6	2,10	0,42	4,60
	1	49,1	2,29	0,46	4,66
	2	50,7	2,53	0,51	4,99
	3	50,8	1,78	0,36	3,50
	4	50,2	1,61	0,32	3,21
	5	48,4	1,37	0,27	2,83
H	0	72,1	2,26	0,45	3,13
	1	75,7	2,52	0,50	3,33
	2	76,6	2,41	0,48	3,15
	3	77,7	1,68	0,34	2,16
	4	78,1	1,87	0,37	2,39
	5	79,1	1,83	0,36	2,31

 d_b = densidade básica do disco (g/cm^3) R = rendimento em celulose não-branqueada (%) H = teor de holocelulose (%) \bar{m} = valor médio

s = desvio padrão

 s_m = erro padrão da média

C.V. = coeficiente de variação (%)

3.6. Análises de variância

Tabela 14. Análises de variância entre posições dos discos amostrados para densidades básicas, teor de holocelulose e rendimento em celulose não-branqueada

VARIÁVEL	F	C.V.	d.m. s (5%)	d.m. s (1%)
Idade = 5 anos				
d_b	4,11**	8,40	0,030	0,035
H^D	28,65**	17,70	1,1	1,3
R	26,88**	3,08	1,3	1,5
Idade = 6 anos				
d_b	1,74 ^{n.s.}	9,75	0,040	0,046
H^D	11,30**	2,10	1,4	1,6
R	1,93 ^{n.s.}	12,70	5,5	6,3

(continua)

Tabela 14. Continuação

VARIÁVEL	F	C.V.	d.m. s (5%)	d.m. s (1%)
Idade = 7 anos				
d_b	3,47**	9,72	0,039	0,045
H^D	16,22**	2,53	1,6	1,9
R	37,94**	3,40	1,4	1,7
Idade = 8 anos				
d_b	2,15 ^{n.s.}	7,94	0,033	0,038
H^D	3,94**	5,79	3,6	4,2
R	22,59**	3,99	1,7	1,9
Idade = 9 anos				
d_b	0,78 ^{n.s.}	10,68	0,045	0,052
H^D	20,71**	2,72	1,7	2,0
R	21,35**	5,02	2,1	2,5
Idade = 10 anos				
d_b	1,20 ^{n.s.}	10,22	0,044	0,051
H^D	29,99**	2,96	1,9	2,2
R	24,05**	4,05	1,6	1,9

 d_b = densidade básica do disco (g/cm^3)

F = valor do teste F da análise de variância

C.V. = coeficiente de variação (%)

d.m. s (5%) = diferença mínima significativa ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey)

d.m. s (1%) = diferença mínima significativa ao nível de 1% de probabilidade (teste de Tukey)

n.s. = não-significativo

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

3.7. Correlações testadas entre densidades básicas, rendimento em celulose e teor de holocelulose

Tabela 15. Rendimento em celulose não-branqueada e densidade básica média da árvore (fuste comercial)

IDADE	F	C.V.	r
5	0,12 ^{n.s.}	48,72	0,0708 ^{n.s.}
6	2,57 ^{n.s.}	55,49	0,3171 ^{n.s.}
7	3,40 ^{n.s.}	52,58	0,3590 ^{n.s.}
8	1,59 ^{n.s.}	62,18	0,2538 ^{n.s.}
9	0,34 ^{n.s.}	56,72	0,1208 ^{n.s.}
10	7,55*	50,58	0,4971**
GERAL	38,70**	59,84	0,4553**

F = valor do teste F da análise de variância da regressão

C.V. = coeficiente de variação (%)

r = coeficiente de correlação

n.s. = não-significativo

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 16. Teor de holocelulose e densidade básica média da árvore (fuste comercial)

IDADE	F	C.V.	r
5	0,11 ^{n.s.}	48,05	0,0693 ^{n.s.}
6	2,37 ^{n.s.}	57,00	0,3059 ^{n.s.}
7	3,30 ^{n.s.}	52,18	0,3539 ^{n.s.}
8	1,57 ^{n.s.}	63,15	0,2530 ^{n.s.}
9	0,36 ^{n.s.}	57,79	0,1247 ^{n.s.}
10	7,47**	50,43	0,4952**
GERAL	38,58**	60,07	0,4548**

F = valor do teste F da análise de variância da regressão

C.V. = coeficiente de variação (%)

r = coeficiente de correlação

n.s. = não-significativo

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 17. Rendimento em celulose não-branqueada e teor de holocelulose

IDADE	F	C.V.	r	a	b
5	26943,30**	1,43	0,9996**	-0,48	0,6675
6	6920,25**	3,37	0,9983**	1,70	0,6454
7	19218,41**	1,95	0,9994**	-0,64	0,6666
8	12195,72**	2,79	0,9990**	1,44	0,6713
9	4012,41**	4,32	0,9971**	2,37	0,6613
10	5527,96**	3,75	0,9979**	-0,22	0,6523
GERAL	39281,03**	4,12	0,9982**	0,42	0,6623

F = valor do teste F da análise de variância da regressão
 C.V. = coeficiente de variação (%)
 r = coeficiente de correlação
 a e b = parâmetros da equação de regressão linear onde a variável dependente é o rendimento em celulose e variável independente é o teor de holocelulose
 ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 18. Rendimento em celulose não-branqueada no DAP e densidade básica no DAP

IDADE	F	C.V.	r
5	0,05 ^{n.s.}	3,79	0,0456 ^{n.s.}
6	5,06*	4,78	0,4248*
7	1,62 ^{n.s.}	3,62	0,2563 ^{n.s.}
8	0,79 ^{n.s.}	4,87	0,1821 ^{n.s.}
9	0,45 ^{n.s.}	4,81	0,1317 ^{n.s.}
10	1,92 ^{n.s.}	4,58	0,2777 ^{n.s.}
GERAL	0,33 ^{n.s.}	5,26	0,0473 ^{n.s.}

F = valor do teste F da análise de variância da regressão
 C.V. = coeficiente de variação (%)
 r = coeficiente de correlação
 n.s. = não-significativo
 * = significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 19. Teor de holocelulose no DAP e densidade básica no DAP

IDADE	F	C.V.	r
5	0,04 ^{n.s.}	1,54	0,0399 ^{n.s.}
6	0,45 ^{n.s.}	2,33	0,1379 ^{n.s.}
7	2,11 ^{n.s.}	1,78	0,2934 ^{n.s.}
8	2,11 ^{n.s.}	5,89	0,2896 ^{n.s.}
9	1,42 ^{n.s.}	2,70	0,2410 ^{n.s.}
10	0,45 ^{n.s.}	3,36	0,1385 ^{n.s.}
GERAL	2,05 ^{n.s.}	3,83	0,1170 ^{n.s.}

F = valor do teste F da análise de variância da regressão
 C.V. = coeficiente de variação (%)
 r = coeficiente de correlação
 n.s. = não-significativo

Tabela 20. Rendimento em celulose não-branqueada na árvore e rendimento em celulose no DAP

IDADE	F	C.V.	r
5	0,57 ^{n.s.}	48,24	0,1561 ^{n.s.}
6	1,54 ^{n.s.}	56,65	0,2502 ^{n.s.}
7	0,21 ^{n.s.}	56,08	0,0960 ^{n.s.}
8	0,22 ^{n.s.}	63,91	0,1084 ^{n.s.}
9	0,20 ^{n.s.}	56,89	0,0934 ^{n.s.}
10	9,19**	49,28	0,5343**
GERAL	0,01 ^{n.s.}	67,21	0,0071 ^{n.s.}

F = valor do teste F da análise de variância da regressão
 C.V. = coeficiente de variação (%)
 r = coeficiente de correlação
 n.s. = não-significativo
 ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 21. Teor de holocelulose na árvore e teor de holocelulose no DAP

IDADE	F	C.V.	r
5	1,05 ^{n.s.}	47,10	0,2093 ^{n.s.}
6	0,89 ^{n.s.}	58,74	0,1926 ^{n.s.}
7	6,69*	49,10	0,4748*
8	0,14 ^{n.s.}	65,07	0,0785 ^{n.s.}
9	9,99**	48,63	0,5503**
10	0,42 ^{n.s.}	57,53	0,1334 ^{n.s.}
GERAL	0,17 ^{n.s.}	67,41	0,0343 ^{n.s.}

F = valor do teste F da análise de variância da regressão
 C.V. = coeficiente de variação (%)
 r = coeficiente de correlação
 n.s. = não-significativo
 * = significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 22. Quantidade (kg) de celulose branqueada por árvore em função do DAP (cm), altura total (m) e densidade básica da bagueta (g/cm³) amostrada no DAP

IDADE	F	C.V.	r	a	b
5	102,48**	20,91	0,9037**	-14,27	0,3448
6	232,61**	17,55	0,9539**	-25,14	0,4528
7	282,43**	15,46	0,9616**	-22,24	0,4113
8	268,58**	18,06	0,9597**	-40,06	0,4934
9	201,82**	18,28	0,9474**	-45,92	0,5040
10	457,65**	12,75	0,9758**	-34,19	0,4455
GERAL	1886,34**	18,13	0,9629**	-29,23	0,4478

F = valor do teste F da análise de variância da regressão
 C.V. = coeficiente de variação (%)
 r = coeficiente de correlação
 a e b = parâmetros da equação de regressão, sendo a variável independente DAP x altura x densidade básica da bagueta e a variável dependente a quantidade de celulose branqueada por árvore
 ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A tabela 3 apresenta os valores médios, máximos e mínimos, desvios padrões, erros padrões da média e coeficiente de variação dos DAP, alturas, densidades básicas dos discos e baguetas, por idade.

Como era de se esperar, há uma tendência de aumento de todos estes parâmetros com a idade. Como a amostragem esteve limitada a 25 árvores ocorreram alguns desvios, devido, provavelmente à influência genética ou ambiental do material manipulado. Os coeficientes de variação podem ser considerados satisfatórios, com exceção, dos encontrados para DAP. Isto se justifica pelo método de amostragem empregado, que procurou abarcar, ao máximo, a amplitude de variação diamétrica.

Outro fato que reforça observações anteriormente obtidas, é de que, a densidade básica da bagueta é menor que a densidade básica do disco pelo fato da primeira não representar a amostra de maneira proporcional.

A densidade básica média da árvore (peso a.s. total da árvore/volume total) está altamente correlacionada com as densidades básicas determinadas na região do DAP, tanto através do disco como da bagueta, conforme mostrado nas tabelas 4 a 7.

No caso de se considerar os fustes comerciais, as equações de regressão que permitem se estimar as densidades das árvores, são:

a) Para a idade de 5 anos:

$$GA = 0,056 + 0,8964 GDAP \quad (r = 0,8878)**$$

$$GA = 0,262 + 0,4296 GBAG \quad (r = 0,5730)**$$

b) Para a idade de 6 anos:

$$GA = 0,108 + 0,8147 GDAP \quad (r = 8807)**$$

$$GA = 0,070 + 0,9506 GBAG \quad (r = 8918)**$$

c) Para a idade de 7 anos:

$$GA = 0,122 + 0,7862 GDAP \quad (r = 8756)**$$

$$GA = 0,136 + 0,8000 GBAG \quad (r = 0,7481)**$$

d) Para a idade de 8 anos:

$$GA = 0,076 + 0,8794 GDAP \quad (r = 0,8794)**$$

$$GA = 0,115 + 0,8515 GBAG \quad (r = 0,8703)**$$

e) Para a idade de 9 anos:

$$GA = 0,063 + 0,9118 GDAP \quad (r = 9507)**$$

$$GA = 0,021 + 1,0542 GBAG \quad (r = 0,9343)**$$

f) Para a idade de 10 anos:

$$GA = 0,111 + 0,8129 GDAP \quad (r = 0,9334^{**})$$

$$GA = 0,068 + 0,9613 GBAG \quad (r = 0,9126^{**})$$

g) Para a espécie, independente da idade:

$$GA = 0,066 + 0,8985 GDAP \quad (r = 0,9347^{**})$$

$$GA = 0,075 + 0,9337 GBAG \quad (r = 0,8747^{**})$$

onde

GA = densidade básica média da árvore (g/cm^3)
 GDAP = densidade básica do disco amostrado no DAP (g/cm^3)₃
 GBAG = densidade básica da bagueta amostrada no DAP (g/cm^3)

A evolução da densidade básica média, tanto da bagueta como da árvore, pode ser visualizada no gráfico 1. Sem justificativa aparente, a idade 6, provavelmente devido à influência genética ou ambiental, se apresenta totalmente deslocada na tendência mostrada pela espécie, através das idades restantes.

Densidade básica (g/cm^3)

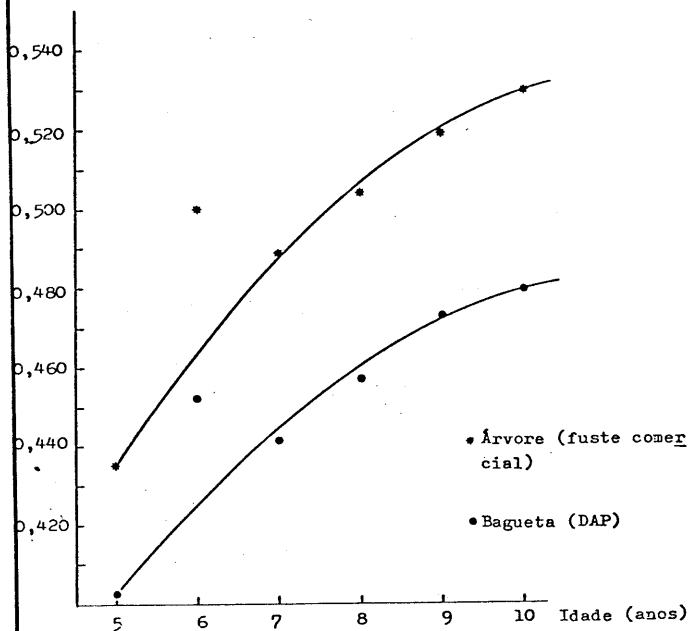


Gráfico 1. Densidades básicas médias das árvores e baguetas em função da idade

As tabelas 8 a 13 apresentam os valores médios, desvios padrões, erros padrões da média, e coeficientes de variação das densidades básicas, rendimentos em celulose não-branqueada e teores de holocelulose, por idade, para os discos amostrados.

De uma maneira geral, os coeficientes de variação, entre árvores e dentro das mesmas posições, se mostraram bastante baixos.

Os gráficos 2 a 4 mostram as variações longitudinais dos valores médios dos parâmetros para as idades ensaiadas.

Densidade básica (g/cm^3)

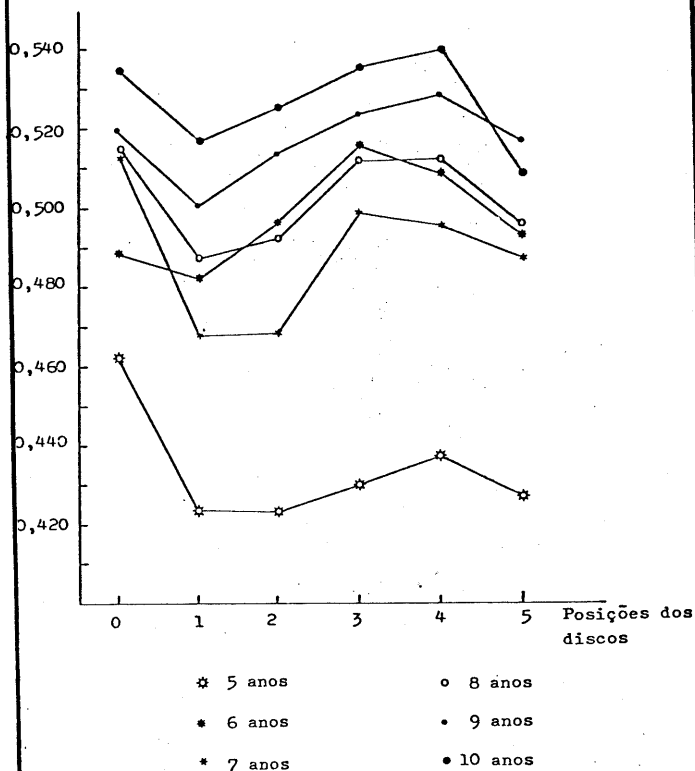


Gráfico 2. Variações longitudinais das médias das densidades básicas dos discos

Rendimento (%)

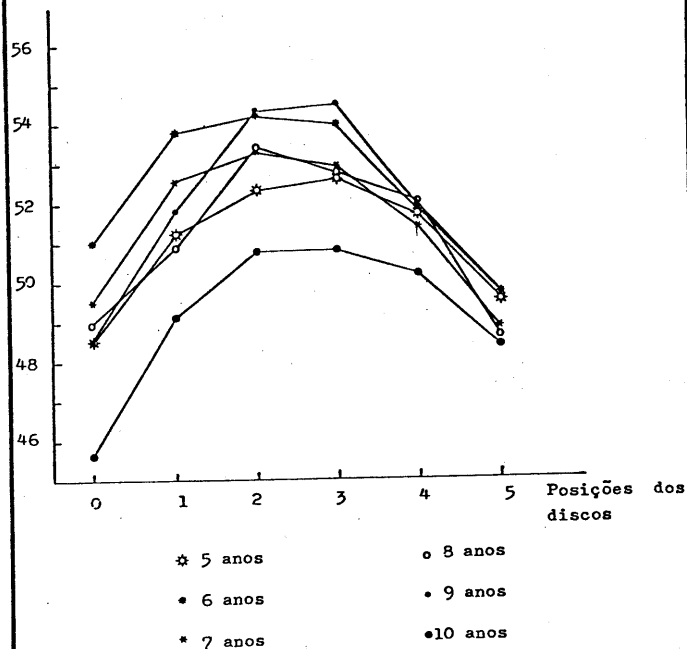


Gráfico 3. Variações longitudinais das médias dos rendimentos em celulose não-branqueada dos discos

Holocelulose (%)

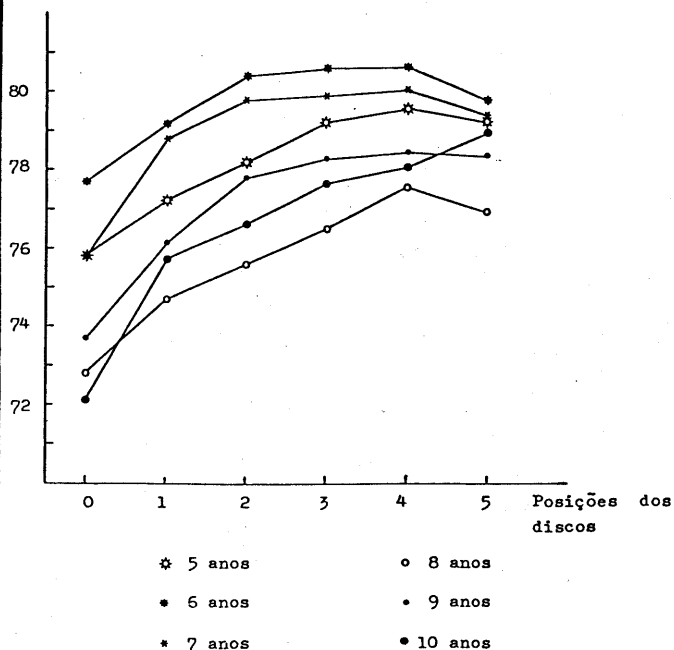


Gráfico 4. Variações longitudinais das médias dos teores de holocelulose dos discos

Pelo gráfico 2 observa-se que a tendência geral é da densidade básica ser elevada na base da árvore, caindo a seguir até a altura do DAP ou 25% da altura comercial, se elevar até 50 a 75% da mesma, e finalmente, de crescer em direção ao topo.

Do ponto de vista estatístico, todavia, as variações apresentadas não se mostraram significativas, através do teste F, para as idades de 5 e 7 anos, como é mostrado na tabela 14.

Com exceção da idade 6, a exemplo do apresentado no gráfico 1, as densidades básicas médias nos pontos amostrados confirmam a tendência da densidade aumentar com a idade do povoamento.

Quanto ao rendimento em celulose não-branqueada, o modelo de variação se aproxima de um polinômio do 2º grau, indistintamente para todas as idades, como pode ser observado no gráfico 2.

Dentro de cada idade, tanto a base como o topo, são as regiões da árvore que conduzem a um menor rendimento em celulose. De um modo geral, a maximização do rendimento é conseguida quando se utiliza a madeira com preenchida entre o DAP e 50% da altura comercial para as idades mais jovens e, entre 25% e 75% da altura comercial para as árvores mais velhas (8 a 10 anos).

Pela análise de variância, mostrada na tabela 14, observa-se que houve diferença significativa para rendimentos em celulose não-branqueada, com exceção da idade 6.

Finalmente, o gráfico 4 mostra que, a exemplo do que ocorreu para rendimento, o teor de holocelulose na base da árvore é sensivelmente menor. O modelo de variação longitudinal se mostra crescente até cerca de 75% da altura comercial, a partir do qual há um pequeno decréscimo. A análise de variância, da tabela 14, ressalta o fato de haver diferenças estatisticamente significativas entre as diferentes posições, quanto ao teor de holocelulose.

A tabela 15 e 16 mostram que, para as idades de 5 a 9 anos, não há correlação entre rendimento em celulose não-branqueada ou teor de holocelulose com a densidade básica média da árvore. Em outras palavras, a árvore de maior densidade, não conduz, necessariamente, a maiores quantidades de celulose ou holocelulose. Como destacado anteriormente, as bases das árvores apresentam altas densidades e relativamente baixo rendimento em celulose e teor de holocelulose (gráficos 2, 3 e 4).

Mesmo quando se considera um ponto definido como referência, por exemplo, a região do DAP, não é encontrada nenhuma correlação entre estes parâmetros, como é mostrado na tabela 18 e 19.

Por outro lado, há uma correlação elevada entre rendimento em celulose não-branqueada e teor de holocelulose para todas as idades estudadas (tabela 17).

Ao contrário do que ocorre para densidade, em que há correlação entre a densidade determinada no DAP e densidade média da árvore, não foi

encontrado tal fato para rendimento e teor de holocelulose (tabela 20 e 21). Isto posto, não é possível se estimar o rendimento ou teor de holocelulose, a ser obtido de uma árvore, a partir de dados colhidos, exclusivamente, no DAP.

Devido este fato, foram testados diversos modelos que permitissem calcular a quantidade de celulose a ser obtida em função das observações que normalmente são obtidas em inventários e estudos tecnológicos.

O melhor modelo encontrado foi:

$$Q = a + b \cdot (\text{DAP}) \cdot (H) \cdot (\text{GBAG})$$

onde

Q = quantidade de celulose branqueada por árvore (kg)

DAP = diâmetro à altura do peito (cm)

H = altura total da árvore (m)

GBAG = densidade básica da bagueta amostrada no DAP (g/cm^3)

a e b = parâmetros estimados pelo método dos quadrados mínimos

Os valores de F e coeficientes de variação das análises de variância das regressões, para as idades de 5 a 10 anos, bem como, coeficientes de correlação e parâmetros das equações são mostrados na tabela 22.

Estas equações, associadas a dados de inventário e determinação da densidade básica da bagueta amostrada no DAP, permitem, em última análise, se estimar a quantidade de celulose sulfato branqueada a ser obtida por hectare, a uma dada idade.

Para tanto, dever-se-á, para cada árvore da parcela experimental, anotar seu DAP, sua altura total (H) e densidade da bagueta amostrada no DAP (GBAG). Daí:

$$Q_1 = a + b \cdot \text{DAP}_1 \cdot H_1 \cdot \text{GBAG}_1$$

$$Q_n = a + b \cdot \text{DAP}_n \cdot H_n \cdot \text{GBAG}_n$$

$$\bar{Q} = n a + b \cdot [(\text{DAP}_1 \cdot H_1 \cdot \text{GBAG}_1) + \dots + (\text{DAP}_n \cdot H_n \cdot \text{GBAG}_n)]$$

E finalmente,

$$\text{Quantidade de celulose/ha} = \bar{Q} \cdot \frac{10.000}{\text{Área da parcela}}$$

5. CONCLUSÕES

Da discussão dos resultados podem ser tiradas as seguintes conclusões:

5.1. As densidades básicas das baguetas se mostraram menores que as densidades básicas dos discos.

5.2. As densidades básicas médias das árvores se mostraram altamente correlacionadas com as densidades básicas determinadas na região do DAP, tanto através dos discos como das baguetas.

5.3. As densidades básicas médias das árvores se mostram crescentes com a idade do povoamento.

5.4. Dentro da árvore, a densidade básica se mostra mais elevada na base e entre 50 a 75% do fuste comercial.

5.5. Para todas as idades, as bases e os topos são as regiões das árvores que apresentam um menor rendimento em celulose.

5.6. O teor de holocelulose na base é sensivelmente menor, crescendo até cerca de 75% da altura comercial.

5.7. Não foi encontrada correlação entre rendimento em celulose ou teor de holocelulose com a densidade média da árvore. Tal fato não ocorre, inclusive, quando se trabalha com um ponto definido, por exemplo, o DAP.

5.8. O rendimento em celulose se apresenta altamente correlacionado com o teor de holocelulose.

5.9. Não foi observada correlação entre rendimento em celulose obtida da região do DAP e rendimento em celulose médio da árvore. Da mesma forma, não foi encontrada esta correlação para teor de holocelulose.

5.10. A partir do conhecimento do diâmetro à altura do peito, altura total e densidade básica da bagueta amostrada no DAP é possível, para cada idade, se calcular a quantidade de celulose sulfato branqueada a ser obtida por árvore. Estes dados, associados ao tamanho das parcelas utilizadas no inventário, permitem se estimar a quantidade de celulose a ser obtida por hectare.

6. BIBLIOGRAFIA

ABCP - Normas de ensaio da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel. São Paulo, Brasil.

BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J.O. - Variações das características da madeira de *Eucalyptus grandis* e suas correlações com a produção de celulose sulfato. CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 10, São Paulo. Trabalhos técnicos. 1977. p. 41-6.

FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M. & BARRICHELO, L.E.G. - Métodos para determinação da densidade básica de cavaços para coníferas e folhosas. IPEF, Piracicaba, (2/3): 65-74, 1971.

MOORE, W.E. & JOHNSON, D.B. - Procedures for the chemical analysis of wood and wood products. Madison, FPL, 1967. 1 v.

SPURR, S.H. - Forest inventory. New York, Ronald Press. 1952. 476 p.