

## UTILIZAÇÃO DE VARIÁVEIS DUMMY EM EQUAÇÕES DE VOLUME PARA *Acacia mearnsii* De Wild.

USE OF DUMMY VARIABLES IN VOLUME EQUATIONS FOR *Acacia mearnsii* De Wild.

Paulo Renato Schneider<sup>1</sup> Helio Tonini<sup>2</sup>

### RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de selecionar uma equação de volume, com o uso de variáveis dummy para povoamentos de *Acacia mearnsii* De Wild, na região da Depressão Central no Rio Grande do Sul. No estudo, foram amostradas 750 árvores, distribuídas proporcionalmente em três locais, em idades variando de 3,5 a 7,5 anos. Os parâmetros estatísticos utilizados indicaram o modelo de Stoate como o de melhor precisão. O ajuste dessa equação com a utilização de variáveis dummy se mostrou eficiente, pois permitiu identificar diferenças de crescimento das árvores entre locais, o que indicou a necessidade de ajustar equações de volume em separado para cada local minimizando erros de estimativa de volume.

**Palavras-chave:** biometria florestal, análise volumétrica.

### ABSTRACT

This work was accomplished with the objective of selecting a volume equation with the use of dummy variables for *Acacia mearnsii* De Wild, in the area of Central Depression of Rio Grande do Sul. In the study there were sampled 750 trees distributed in three places, in ages varying from 3,5 to 7,5 years. The statistical parameters indicated the Stoate Model as the one with the best precision. The fit of this equation with the use of dummy variables was shown to be efficient because it allowed to identify tree growth differences among places, which suggest that the fit of volume equations should be separate to each place, as a way of minimizing errors of volume estimation.

**Key words:** forest biometric, volumetrical analysis.

### INTRODUÇÃO

A *Acacia mearnsii* De Wild, vulgarmente conhecida por Acácia-negra, desde a sua introdução no Rio Grande do Sul, em 1918, por Alexandre Bleckmann, passou a receber grande atenção por parte dos acacicultores, considerando que os primeiros plantios comerciais foram realizados, em 1928 por Julio Lohmann, no município de Estrela.

A acacicultura tornou-se uma sólida atividade econômica que tem trazido consideráveis benefícios para mais de quarenta municípios e milhares de famílias, tirando o Brasil da condição de grande importador de extratos vegetais curtientes, para condição de auto-suficiência a partir de 1954. Além da casca, utilizada na indústria do tanino, a madeira que, originalmente, era utilizada somente para lenha, transformou-se em matéria-prima para a fabricação de celulose, e papel e madeira aglomerada, suprimindo as grandes indústrias do setor hoje existentes no País.

Segundo Schonau (1969), a *Acacia mearnsii* é natural da Austrália e caracteriza-se por ser uma árvore de folhagem verde-escura, atingindo alturas 10 a 30 metros, crescendo bem em qualquer tipo de solo suficientemente profundo. A casca segundo Sherry (1971) apresenta um conteúdo de tanino maior que 30%, sendo que Camillo (1997) encontrou uma concentração média de taninos de 15,5% em relação ao peso de casca verde das árvores. O valor mínimo encontrado foi de 9,4% e o máximo de 18,7%, considerando uma variação de idade de 3 a 8 anos dos povoamentos.

No Brasil, existe um grande número de estudos analisando diferentes equações volumétricas, sobretudo para os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Podem-se citar os trabalhos de Paula Neto (1977), Silva *et*

1. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). [paulors@smail.ufsm.br](mailto:paulors@smail.ufsm.br)
2. Engenheiro Florestal, Dr., Pesquisador do CPAF-EMBRAPA/Roraima, Br 174, Km 8, Distrito Industrial, CEP 69301-970, Boa Vista (RR). [helio@cpafrr.embrapa.br](mailto:helio@cpafrr.embrapa.br)

Recebido para publicação em 28/04/2003 e aceito em 28/09/2003.

*al.*(1978), Paula neto *et al.*(1983), Schneider (1984), Campos *et al.*(1985), Schneider *et al.*(1988) e Silva *et al.*(1994).

Schneider e Hosokawa (1978) determinaram equações gerais para volume total com casca e volume comercial sem-casca para *Acacia mearnsii* para o Rio Grande do Sul, recomendando a equação logarítmica de Spurr como a mais indicada para a finalidade.

Um das principais questões envolvendo equações de volume, diz respeito à necessidade ou não do ajuste em separado para diferentes espécies ou para uma mesma espécie em diferentes regiões ou fazendas. Nesse aspecto, o uso de variáveis dummy em regressão pode ser de grande utilidade por permitir expressar regressões individuais ajustadas em uma única função de regressão linear múltipla (Draper e Smith, 1966; Cunia, 1973).

Portanto, este trabalho foi realizado com o objetivo de selecionar uma equação de volume total com casca com o uso de variáveis dummy para povoamentos de Acácia-negra, na região da Depressão Central no Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODO

### Localização e características dos povoamentos

Os dados para o presente estudo foram coletados nos povoamentos de propriedade da empresa Tanac SA, com sede no município de Montenegro, no estado do Rio Grande do Sul.

Foram selecionadas três locais/fazendas que atendessem às condições desejadas de idade e crescimento: Fazenda do Treze, com uma área de 987,3 ha, situada no município de General Câmara; Fazenda do Posto, com uma área de 1.189,1 ha, situada no município de General Câmara, e Fazenda Dona Bernarda, com uma área de 1.529,4 ha, situada no município de Triunfo.

Esses dois municípios se localizam ao leste da Depressão Central, nas proximidades das coordenadas geográficas de 30<sup>o</sup> de latitude sul e 52<sup>o</sup> de longitude oeste.

Os povoamentos, onde foram efetuadas a coleta dos dados, tinham idades que variaram de 3,5 a 7,5 anos e foram plantados manualmente em curvas de nível no espaçamento de 3 x 1,33 m, totalizando 2.500 árvores por hectare.

### Condições ecológicas da região

O clima na região da Depressão Central, segundo Köppen é do tipo Cfa, subtropical húmido, caracterizado pela não-ocorrência de déficit hídrico, com chuvas uniformemente distribuídas durante todo o ano. A precipitação média anual é de 1.537 mm, com geadas freqüentes nos meses mais frios podendo atingir 11 ocorrências anuais. A temperatura média anual é de 19,7<sup>o</sup>C (Rio Grande do Sul, 1975).

A Estrutura geológica dessa região é permo-triássica, com o arenito triássico ocupando a maior parte. Dessa forma, os solos predominantes são arenosos e saibrosos com pequeno teor de partes integrantes finas de sedimentos paleozóicos (Brasil, 1971).

### Processo de amostragem e localização das amostras nos talhões

Nos mapas das fazendas, selecionaram-se os talhões para a coleta de informações, levando-se em consideração o local, a idade e o número de árvores amostras a serem levantadas, conforme a Tabela 1.

O processo de amostragem empregado para a coleta de informações foi inteiramente aleatório, sendo as árvores amostras coletadas ao acaso dentro das classes de diâmetro e idade. Uma vez localizados os talhões nos mapas e no campo, procedeu-se à confecção de um eixo de coordenadas em papel milimetrado com o objetivo de localizar as amostras onde seriam abatidas as árvores para a coleta dos dados.

A escolha de uma amostra foi feita em dupla aleatorização, sendo que primeiro sorteava-se um ponto correspondente à abscissa e, após, procedia-se ao sorteio para a ordenada, de forma que o encontro dos pontos sorteados correspondesse ao centro da amostra.

O número de unidades amostrais foi definido em função do coeficiente de variação para a variável diâmetro à altura do peito (DAP), sendo tomado o povoamento com maior coeficiente de variação, no caso

de 7,5 anos, como base para determinar o número de amostras por talhão. Para os povoamentos de 7,5 anos, tomaram-se 15 unidades amostrais e, nas demais idades, tomaram-se 12 unidades amostrais, totalizando 150 unidades amostrais.

TABELA 1: Distribuição das árvores amostras por idade e fazenda.

TABLE 1: Tree sample distribution by age and farm place.

Fazenda	Idade	N de unidades amostrais	N de árvores amostras
Treze	4,5	12	60
	5,5	12	60
	6,5	12	60
	7,5	15	75
Posto	3,5	12	60
	4,5	12	60
	5,5	12	60
	6,5	12	60
Dona Bernarda	4,5	12	60
	5,5	12	60
	6,5	12	60
	7,5	15	75
Total	-	150	750

Adotou-se como critério a derrubada de cinco árvores localizadas dentro de cada unidade amostral. Essas árvores foram derrubadas, num total de 750, segundo sua classe de diâmetro e altura, sendo o intervalo de classe de diâmetro fixado em 1 cm e o de altura em 1 m, conforme pode ser observado na Tabela 2.

TABELA 2: Distribuição das árvores de Acácia-negra em classes de diâmetro e altura.

TABLE 2: Distribution of trees of black wattle in diameter and height classes.

Dap (cm)	Altura (m)										Total
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
7	3	7	1			1					12
8	3	11	17	5							36
9	3	16	32	17	4		1				73
10	4	8	38	26	34	4	1	1			116
11	1	2	16	21	47	17	12	1			117
12	1		5	13	54	16	17	5	1		112
13			1	9	22	21	27	8	1		89
14			1	3	9	21	25	14	3		76
15			1	4	4	5	16	11	5		46
16					2	5	13	9	5	1	35
17						3		7	5		15
18						4	2	2	4	1	13
19						1	1	1	4		7
20									2		3
Total	15	44	112	98	176	98	115	60	30	2	750

### Coleta dos dados

Os dados coletados nas árvores amostra foram a circunferência com casca e altura total. Para medir a circunferência, foi utilizada a fita métrica, e as medições de altura total foram feitas com trena.

As medidas de circunferência foram tomadas nas seguintes secções: 0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1,30; 2,00; 4,00; ..... até a altura total. A determinação do volume das árvores foi feita utilizando-se a fórmula de Smalian

### Seleção da equação de volume

Para estimar o volume individual de árvores de Acácia-negra nas três fazendas amostradas, foram selecionadas e testadas nove equações de volume que estão entre as mais utilizadas pelos pesquisadores florestais. As equações testadas são apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3: Equações testadas para estimar o volume total com casca para Acácia-negra.

TABLE 3: Fitted equations to estimate the total volume with bark for black wattle.

N	Equações	Autor
1	$V = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh + b_4d^2h + b_5h$	Meyer
2	$V = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh^2 + b_4d^2h$	Meyer (modificada)
3	$V = b_0 + b_1d^2 + b_2d^2h + b_3h$	Stoate
4	$V = b_0 + b_1d$	Berkhout
5	$V = b_0 + b_1d^2h$	Spurr
6	$V = b_0 + b_1d + b_2d^2$	Hohenald-Krenn
7	$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log^2 d + b_3 \log h + b_4 \log^2 h$	Prodan
8	$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h$	Schumacher-Hall
9	$\log V = b_0 + b_1 \log d^2h$	Spurr

Em que: V = volume (m<sup>3</sup>); d = diâmetro à altura do peito; h = altura total (m).

A escolha da melhor equação foi feita com a utilização dos parâmetros estatísticos do coeficiente de determinação ajustado, erro-padrão de estimativa em porcentagem, índice de furnival e análise de distribuição dos resíduos.

Em adição a essa análise convencional, os desvios e a precisão das equações foram avaliados pelo cálculo do resíduo médio (MRES), resíduo médio absoluto (AMRES), raiz quadrada do erro médio (RMSE), raiz quadrada do erro médio em porcentagem (RMSE%) e resíduo médio absoluto em porcentagem (AMRES%), conforme metodologia empregada por Palahí *et al.* (2002).

O resíduo médio foi calculado pela seguinte expressão:

$$MRES = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n}$$

O resíduo médio em porcentagem foi calculado por :

$$MRES\% = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)/n}{\sum(\hat{y}_i/n)} \times 100$$

A raiz quadrada do resíduo médio por:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum(Y_i - \hat{y}_i)^2}}{n-1}$$

A raiz quadrada do desvio médio em porcentagem foi calculada por:

$$RMSE\% = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2/n-1}}{\sum \hat{y}_i/n} \times 100$$

O resíduo médio absoluto por:

$$AMRES = \frac{\sum |y_i - \hat{y}_i|}{n}$$

E o resíduo médio absoluto em porcentagem por:

$$AMRES\% = \frac{\sum |y_i - \hat{y}_i|}{\sum y_i / n}$$

Sendo:  $y_i$  = valores observados;  $\hat{y}_i$  = valores estimados;  $n$  = número de observações.

A seleção da melhor equação de volume foi feita pela adoção de um ranking, conforme metodologia adotada por Thiersch (1997). Nesse método, quantificaram-se o número de vezes em que cada equação assumiu a primeira colocação com o maior valor de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e os menores valores para erro-padrão de estimativa em porcentagem (Syx%), índice de furnival (IF%), resíduo médio (MRES), resíduo médio absoluto (AMRES), raiz quadrada do erro médio (RMSE), raiz quadrada do erro médio em porcentagem (RMSE%) e resíduo médio absoluto em porcentagem (AMRES%). A primeira colocação recebeu peso zero, a segunda recebeu peso 1 e as demais receberam pesos na seqüência 2, 3, 4.....n.

Multiplicando-se o número de vezes quantificado para cada colocação pelo seu respectivo peso, obtém-se o valor ponderado. A equação selecionada foi a que apresentou o menor valor ponderado.

$$V_p = \sum_{i=1}^n N_{ri} x V_{ci}$$

Sendo:  $V_{ci}$  = valor ou peso da iésima colocação;  $N_{ri}$  = número de registros que obtiveram a iésima colocação;  $P_{ci}$  = peso da iésima colocação.

### Regressão com variável dummy

Após a seleção da melhor equação para estimar o volume total com casca para os dados agrupados, foram criadas variáveis dummy que assumiram valores de 0 e 1 conforme a fazenda em que se localizavam as árvores amostras, da seguinte forma:

$D_i=1$ , se a árvore estiver presente no local/fazenda  $i$ ;

$D_i=0$ , se a árvore estiver ausente nesse local/fazenda  $i$ .

Com isso, foi possível expressar as regressões individuais ajustadas para os três (n) locais/fazendas que têm  $R^n$  funções lineares múltiplas, conforme Schneider (1997):

$$R^1 : \hat{Y}_1 = b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \dots + b_{1m}x_m$$

$$R^2 : \hat{Y}_2 = b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \dots + b_{2m}x_m$$

$$R^3 : \hat{Y}_3 = b_{31}x_1 + b_{32}x_2 + \dots + b_{3m}x_m$$

Assim, todas as funções de regressão individuais foram expressas em função de uma regressão linear múltipla, chamada de modelo máximo, representada por:

$$R : \hat{Y} = b_{11}x_{11} + b_{12}x_{12} + \dots + b_{1m}x_{1m} + b_{21}x_{21} + b_{22}x_{22} + \dots + b_{2m}x_{2m} + \dots + b_{s1}x_{s1} + b_{s2}x_{s2} + \dots + b_{sm}x_{sm}$$

Sendo:  $X_{11}=D_1X_1$ ,  $X_{12}=D_1X_2, \dots$ ,  $X_{1m}=D_1X_m$ ;

$X_{21}=D_2X_1$ ,  $X_{22}=D_2X_2, \dots$ ,  $X_{2m}=D_2X_m$ ;

$X_{31}=D_3X_1$ ,  $X_{32}=D_3X_2, \dots$ ,  $X_{3m}=D_3X_m$

Após a determinação do modelo máximo com as variáveis dummy, foi realizado o teste de condicionante de regressões parciais considerando cada local/fazenda. Para verificar a homogeneidade de variância, utilizou-se o teste de Bartlett, para a normalidade, o teste de Kolmogorov-Smirnov, e para a independência dos resíduos, o teste de Durbin-Watson.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Seleção da equação de volume

Os coeficientes e os parâmetros estatísticos utilizados na escolha da melhor equação de volume são apresentados nas Tabelas 4 e 5 respectivamente. Pode-se observar nestas tabelas que, no geral, todas as equações apresentaram bom ajuste com elevados valores para o coeficiente de determinação ajustado e baixos valores para os desvios.

TABELA 4: Coeficientes e parâmetros estatísticos das equações testadas para estimar o volume total com casca.

TABLE 4: Coefficients and statistical parameters of the fitted equations to predict the total volume with bark.

N	Coeficientes						Estatísticas		
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	Syx%	IF%
1	0,137513	-0,02902	0,001481	0,001434	-3,7x10 <sup>-5</sup>	-0,0055	0,964	8,92	
2	0,053724	-0,01285	0,001221	2,3x10 <sup>-5</sup>	-1,9x10 <sup>-5</sup>		0,965	8,96	
3	-0,01435	0,000193	2,8x10 <sup>-5</sup>	0,001577			0,966	8,99	
4	-0,14494	0,021075					0,922	12,98	
5	0,012202	3,9x10 <sup>-5</sup>					0,963	9,06	
6	0,009264	-0,00333	0,000927				0,943	11,18	
7	-5,05407	-0,45972	1,016108	4,700425	-1,56984		0,945		9,68
8	-4,02116	1,757949	0,950292				0,944		4,26
9	-3,98648	0,893977					0,946		4,27

Em que: b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub>, b<sub>5</sub> = coeficientes; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro-padrão de estimativa em porcentagem; IF% = Índice de Furnival em porcentagem.

TABELA 5: Valores do resíduo médio (MRES), Resíduo médio em porcentagem (MRES%), Raiz quadrada do resíduo médio (RMSE), raiz quadrada do resíduo médio em porcentagem (RMSE%), resíduo médio absoluto (AMRES) e resíduo médio absoluto em porcentagem (AMRES%) para cada equação ajustada.

TABLE 5: Values for mean residual (MRES), mean residual in percentage(MRES%), square root of the mean error (RMSE), root square of mean error in percentge (RMSE%), absolute mean residual (AMRES) and absolute mean residual in percentage (AMRES%) for each fitted equation.

N Eq.	MRES	MRES%	RMSE	RMSE%	AMRES	AMRES%
1	0,0010	0,8806	0,0475	1420,95	0,0087	796,44
2	0,0005	0,4514	0,0550	1872,02	0,0084	1536,14
3	0,0003	0,2113	0,0648	2567,71	0,0083	3269,85
4	7,9*10 <sup>-6</sup>	0,0064	0,0750	3390,73	0,0117	106469,64
5	0,0001	0,1224	0,0829	4101,56	0,0083	5731,22
6	4,83*10 <sup>-5</sup>	0,0383	0,0909	4875,20	0,0102	18183,55
7	0,0004	0,3474	0,0985	5676,76	0,0084	1995,74
8	0,0007	0,5249	0,1060	6520,85	0,0088	1527,43
9	0,0007	0,5145	0,1121	7222,42	0,0087	1771,57

Na Tabela 6, são apresentados os escores para todas as estatísticas analisadas bem como o valor ponderado V<sub>p</sub>. Observa-se que a equação de número três (Stoate) foi a que apresentou o menor valor ponderado, sendo selecionada para estimar o volume total com casca.

TABELA 6: Escores para as estatísticas analisadas em cada modelo.

TABLE 6: Scores for the statistics analyzed in each model.

N	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	Syx%	MRES	MRES%	RMSE	RMSE%	AMRES	AMRES%	V <sub>p</sub>
1	2	2	8	8	0	0	6	0	26
2	1	3	5	5	1	1	3	2	21
3	0	4	3	3	2	2	0	5	19
4	8	8	0	0	3	3	8	8	38
5	3	5	2	2	4	4	1	6	27
6	7	7	1	1	5	5	7	7	40
7	5	6	4	4	6	6	2	4	37
8	6	0	7	7	7	7	5	1	40
9	4	1	6	6	8	8	4	3	40

Em que: R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = Erro-padrão de estimativa em porcentagem; MRES = resíduo médio; MRES% = Resíduo médio em porcentagem; RMSE = Raiz quadrada do resíduo médio; RMSE% = raiz quadrada do resíduo médio em porcentagem; AMRES = resíduo médio absoluto; AMRES% = resíduo médio absoluto em porcentagem (AMRES%).

Na Figura 1, pode-se observar a distribuição dos resíduos para as equações que apresentaram menores valores de  $V_p$ , mostrando que estas apresentaram alguma tendenciosidade, indicando informalmente a necessidade do ajuste em separado para cada local ou fazenda.

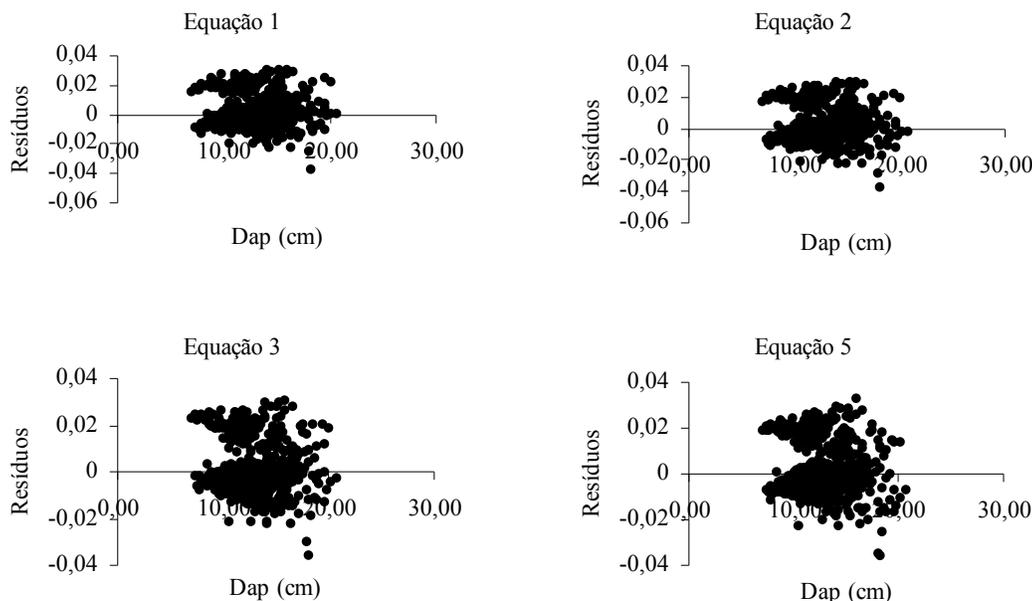


FIGURA 1: Distribuição dos resíduos para quatro equações de volume ajustadas.

FIGURE 1: Residual distribution for four volume equations fitted.

### Regressão com variável dummy

Após a inclusão de variáveis dummy, a equação de Stoate foi reajustada, sendo os resultados da análise de variância apresentados nas Tabelas 7 e 8.

TABELA 7: Ajuste para a equação de Stoate com variáveis dummy para volume total com casca.

TABLE 7: Fit for the Stoate equation with dummy variables for total volume with bark.

Parâmetros						Estatísticas			
$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$R^2$	Syx%	f	Prob>f
0,00293	0,00012	0,00003	0,00099	-0,0126	-0,0131	0,97	7,4	5914	0,0001

Em que:  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  = coeficientes;  $R^2$  = coeficiente de determinação; Syx% = erro-padrão de estimativa em porcentagem, f = valor e f calculado; Prob>f = nível de significância para o valor de f.

TABELA 8: Análise de variância para as variáveis independentes utilizadas na equação de Stoate.

TABLE 8: Variance analysis for the independent variables used in the Stoate equation.

FV	GL	SQ	QM	f	Prob>f
$d^2$	1	2,15061	2,15061	28594,17	0,0001
$d^2h$	1	0,04500	0,04500	598,36	0,0001
h	1	0,00109	0,00109	14,50	0,0002
D1	1	0,00667	0,00667	88,80	0,0001
D2	1	0,02064	0,02064	274,51	0,0001

Em que: d = diâmetro a altura do peito; h = altura total, D1 = dummy 1; D2 = Dummy 2; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; f = valor de f calculado; Prob>f = nível de significância para o valor e f.

Na Tabela 7, observa-se que a equação de Stoate com variáveis dummy apresentou bom ajuste, mostrando-se altamente significativa. O sinal negativo para os coeficientes  $b_4$  e  $b_5$  (associados às variáveis dummy 1 e 2) indicam que, para as Fazendas do Posto e Treze, o volume será menor em relação à fazenda

Dona Bernarda, (variável dummy 3) que, por apresentar um coeficiente associado igual a zero, foi ignorada no modelo máximo. Os volumes estimados para este local foram obtidos pela equação original, atribuindo-se o valor zero para as variáveis dummy 1 e 2.

A análise de variância, apresentada na Tabela 8, indicou que todas as variáveis independentes no modelo gigante foram significativas com altos valores de  $f$  calculado para D1 e D2, indicando existir diferenças no volume das árvores entre locais ou fazendas.

Com o objetivo de verificar as diferenças volumétricas existentes entre fazendas (detectadas na análise de variância), os dados ajustados foram plotados em função do DAP (diâmetro a altura do peito), ajustando-se à equação de relação hipsométrica selecionada por Schneider *et al.* (1988) na mesma região, para estimar as alturas. Os valores de volume total com casca, estimados para as três fazendas pelo modelo máximo (1), podem ser observados na Figura 2.

$$(1) \quad V = 0,00293 + 0,00012d^2 + 0,00003d^2h + 0,0009h - 0,0126D_1 - 0,0131D_2$$

Em que:  $V$  = volume total com casca ( $m^3$ );  $d$  = diâmetro à altura do peito (cm);  $h$  = altura total (m);  $D_1$  e  $D_2$  = variáveis dummy.

Observa-se nesta figura que, apesar de  $D_1$  e  $D_2$  mostrarem-se significativas (Tabela 8), existe uma sobreposição das curvas de volume total com casca entre as fazendas Bernarda e do Posto, indicando que os dados, nessas fazendas, poderiam ser agrupados originando uma equação comum. Já na fazenda do Treze percebe-se um maior crescimento.

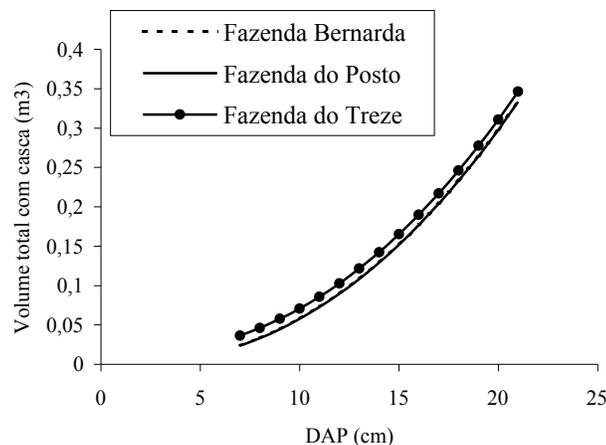


FIGURA 2: Valores ajustados pela equação de Stoate com variáveis dummy.

FIGURE 2: Fitted values of the Stoate equation with dummy variables fitted values.

## CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

Os parâmetros estatísticos indicaram a equação de Stoate como a mais precisa para estimar o volume total com casca para Acácia-negra na região deste estudo.

A equação de volume com variáveis dummy, mostrou-se eficiente, permitindo ajustar simultaneamente as equações, levando em consideração as diferenças existentes entre locais/fazendas.

Com o uso das variáveis dummy foi possível verificar a existência de diferença no crescimento em volume para a Acácia-negra em função do local.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Zoneamento econômico florestal do Estado do Rio Grande do Sul**. Curitiba: IBDF, 1971, 125 p.

- CAMILLO, S.B.A. **Influência dos fatores do sítio, espaçamento e idade na concentração de produção de taninos em povoamentos de *Acacia mearnsii* De Wild.** 1997. 48p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.
- CAMPOS, J.C.C.; TREVIZOL JUNIOR, T.L.; PAULA NETO, F. Ainda sobre a seleção de equações de volume. **Revista Árvore**, v. 9, n. 2, p.115-126, 1985.
- CUNIA, T. **Dummy variables and some of their uses in regression analysis**. Nancy: IUFRO, 1973. 146 p.
- DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley e Sons, 1966. 709 p.
- PALAHÍ, M.; MIINA, J.; TOMÉ, M. *et al.* Stand-level yield model for Scots Pine (*Pinus sylvestris*) in north east Spain. **Investigación Agrária: sistemas y recursos forestales**. v.11, n.2, p.409-424, 2002.
- PAULA NETO, F. Tabelas volumétricas com e sem casca para *Eucalyptus saligna*. **Revista Árvore**, v. 1, n. 1, p.3-53, 1977.
- PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L.; QUINTAES, P.C.G. *et al.* Análise de equações volumétricas para *Eucalyptus spp*, segundo o método de regeneração na região de José de Melo-MG. **Revista Árvore**, v. 7, n.1, p.56-70, 1983.
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura. **Distrito Florestal**. Porto Alegre, 1975. 210 p.
- SCHNEIDER, P.R.; HOSOKAWA, R. Estudo de equações volumétricas para tabela de volume com e sem casca de acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3., 1978, Manaus. **Anais...** Manaus, 1978. p. 90-95.
- SCHNEIDER, P.R. **Betriebswirtschaftliche und ertragskundliche Grundlagen der Forsteinrichtung in Sübrasilien am Beispiel von *Pinus elliottii***. 1984.190p. Tese (Doutorado) – Albert Ludwigs Universität, Freiburg, 1984.
- SCHNEIDER, P.R.; FLEIG, F.D.; MENEZES, L. F. Influência da idade na relação hipsométrica da acácia-negra, *Acacia mearnsii* de Wild. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 6.,1988, Nova Prata. **Anais...** Santa Maria: Palotti, 1988.p.905-917.
- SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria:UFSM, CEPEF, 1997, 217p.
- SCHONAU, A.P.G. A site evaluation study in Black Wattle (*Acacia mearnsii* de Wild.). **Ann. Univ. Von Stellenbosch**, v. 44, n. 2, 1969, 214 p.
- SHERRY, S.P. **The Black Wattle (*Acacia mearnsii*)**. Pieter moritzburg: University of Natal Press, 1971, 402 p.
- SILVA, J.A.A.; PAULA NETO, F.; BRANDI, R.M. *et al.* Análise de modelos volumétricos para a construção de tabelas de volume comercial de *Eucalyptus spp*, segundo a espécie, a região e os métodos de regeneração. **Revista Árvore**, v. 2, n. 1, p. 86-99, 1978.
- SILVA J.A.A.; MACHADO, S.A.; BORDERS, B.E. Aumento da precisão de modelos volumétricos através do uso da transformação de Box e cox. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 13-16, 1994.
- THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis***. 1997. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.