

Ajuste dos modelos de Kozak e do sistema Burkhart e Cao para plantações de *Pinus oocarpa*

Adjustment to the Models of Kozak and the Burkhart e Cao System for the *Pinus oocarpa* Plantation

Mário Umberto Menon ¹

Resumo

Este trabalho teve por objetivo ajustar os modelos de Kozak e de Burkhart e Cao para expressar matematicamente a forma do tronco (taper) para plantações de *Pinus oocarpa*. Os dados foram coletados em plantios pertencentes à empresa Duraflora S.A., situada na região sudoeste do Estado de São Paulo, sendo tomados o diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (h) de mil e cem árvores submetidas a cubagem rigorosa e distribuídas em onze tratamentos. A seleção dos modelos foi baseada no coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa em porcentagem e da análise gráfica dos resíduos. A escolha destes modelos foi devido ao fato de o modelo de Cao é o que melhor pode estimar o volume, e o modelo de Kozak, o que melhor pode estimar os diâmetros e alturas para os plantios de *Pinus oocarpa*, pertencentes à empresa Duraflora S.A., na região Sudoeste do Estado de São Paulo.

Palavras-chave: modelagem; funções de afilamento; análise de regressão.

Abstract

This work intends to adjust the models of the Kozak and Burkhart and Cao to express mathematically the natural taper for the *Pinus oocarpa* plantations. The data were collected in stands belonging to a company called Duraflora S.A., located in the Southwestern area of the state of São Paulo. The diameter to the breast height (Dbh) and total height (h) of one thousand and one hundred trees were submitted to rigorous cubing and distributed in eleven treatments. The selection of the models was based

¹ Professor do Departamento de Ciências do Campus de Irati da UNICENTRO. 84500-000 – Irati/PR. e-mail: menon@irati.unicentro.br.

on the adjusted determination coefficient, on the estimate standard error in percentage and on the graphic analysis of the waste. These choices are due to the fact that the model of the Cao is the one which can better estimate the volume while the model of the Kozak can better estimate the diameters and heights, for the *Pinus oocarpa* stands, belonging to Duraflora S.A Company.

Key words: modeling; taper functions; regression analysis.

Introdução

Na natureza, e em especial na floresta, depara-se com diversos problemas que podem ser resolvidos por meio de modelos matemáticos ou com o auxílio da estatística pela análise de regressão, a partir da qual é possível determinar estimativas com boa precisão e eficiência, com o objetivo de reduzir os custos de coleta de dados, valendo-se da teoria de amostragem.

O estudo detalhado de uma população florestal exige a observação e análise de uma série de variáveis, sendo que algumas delas são fáceis de mensurar e outras de difícil obtenção. Entretanto, se forem correlatas, pode-se determinar, indiretamente, as difíceis a partir das variáveis de fácil medição (FINGER, 1992).

Para Schneider (1998) existem muitos problemas florestais, que geralmente são solucionados com o objetivo de reduzir tempo e custo na coleta de dados, utilizando-se de um instrumento estatístico chamado regressão capaz de permitir estimativas com boa precisão e eficiência.

Hoffmann e Vieira (1983), enfocando a utilização da análise de regressão, falam da importância em se conhecer os efeitos que algumas variáveis exercem, ou parecem exercer, sobre outras. O que pode ser útil para estimar o valor de uma das variáveis quando se conhecem os valores das outras.

A Análise de Regressão tem sido utilizada com ênfase na solução de grande parte dos problemas florestais, especialmente quando se pretende obter estimativas de parâmetros da floresta com o mínimo de custo e tempo, utilizando-se de relações matemáticas que possibilitam obter essas estimativas de forma indireta através de equações de regressão (SCHNEIDER, 1998).

Segundo Arce (2002), a estimativa do crescimento é uma etapa essencial no ordenamento florestal. Qualquer planejamento implica a predição do crescimento e da produção. Nesse sentido, verifica-se a importância da utilização dos recursos da Estatística.

Para Rodovanski (2003) todo o horizonte de planejamento precisa das estimativas de produção, necessitando-se da determinação de funções que melhor se ajustem aos dados, ou seja, que os valores estimados se pareçam o máximo

possível com os dados observados, utilizando as observações dos primeiros anos de crescimento, altura e diâmetro, e a partir dessas observações estimar altura e diâmetro em qualquer idade da árvore.

Conforme Schneider (1998), o procedimento estatístico de regressão é simples e de fácil aprendizado. Tem por objetivo obter informações a respeito da população por meio das amostras retiradas dela. Em outras palavras, estatísticas são calculadas a partir de amostras a fim de estimar os parâmetros da população.

Estes parâmetros aplicados pelos métodos de regressão visam: a) determinar uma função matemática, que descreva a relação entre variáveis dependentes e independentes; b) testar hipóteses sobre a relação entre a variável dependente e uma ou mais variáveis independentes (KOEHLER, 1999). Ou seja, a escolha das variáveis para a regressão deve ser feita através da correlação existente entre as mesmas (SCHNEIDER, 1998).

Scolforo e Figueiredo (1998) definem como forma da árvore o afilamento natural que ocorre da base para o topo, na maioria das espécies florestais. Também denominada de conicidade, adelgaçamento e afilamento ou “taper”, podendo ser expressa de forma Absoluta ou Relativa.

Os fatores que afetam a forma da árvore são: espécie, idade, desbaste, posição sociológica da árvore, espaçamento, podas, herdabilidade e qualidade de sítio.

Assim como o fator de forma expressa o afilamento do tronco, o quociente de forma é uma razão entre diâmetros, utilizado para estimar volumes, sendo uma medida menos precisa que o fator de forma, porém muito mais fácil de ser obtida, sem a necessidade do abate da árvore.

Portanto, o fator de forma é uma razão entre volumes, sendo utilizado para corrigir o volume do cilindro para o volume da árvore; já as funções de afilamento são modelos matemáticos que descrevem o perfil do tronco (SCOLFORO e FIGUEIREDO, 1998).

Material e Métodos

Caracterização e Localização da Área de Estudo

Os dados para desenvolver este estudo foram obtidos em plantios de *Pinus oocarpa*, pertencentes à empresa Duraflora S.A., situada na região sudoeste do Estado de São Paulo, no município de Agudos.

Conforme Golfari et al (1978), esta região apresenta como características básicas a periodicidade de chuvas e invernos secos com deficiência hídrica, a precipitação anual entre 1100 e 1400 mm, com pouca frequência de geadas. A temperatura média está entre 16 e 19°C. O clima é Submontano ou Subtropical Moderado Úmido, e o tipo de vegetação é floresta Ombrófila Pluvial e Campos Submontanos, com uma altitude de aproximadamente 900 metros.

Coleta de Dados

Foram obtidos os diâmetros, ao longo do fuste das árvores abatidas para amostra, com intervalos de 2,00 m, até o diâmetro mínimo de 3 cm, bem como os diâmetros à altura do peito, e as respectivas alturas de mil e cem árvores em várias classes de idade e sujeitas a diferentes números de desbastes, distribuídos em onze tratamentos. Os onze tratamentos executados na área com suas respectivas idades e número de desbastes podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1. Especificação dos tratamentos de acordo com as respectivas idades e número de desbastes, amostrados na área em estudo

Tratamento	Idade (anos)	n ° de desbastes	n ° de árvores
A	8	1	100
B	7	0	100
C	5	0	100
D	12	3	100
E	15	4	100
F	10	2	100
G	19	5	100
H	22	6	100
I	25	6	100
J	6	0	100
L	11	2	100

Obs. Neste trabalho foram utilizadas as cem árvores pertencentes ao tratamento A.

Modelos

A tabela 2 mostra os modelos matemáticos selecionados na literatura, que foram testados no tratamento A, constante da tabela 1, para a obtenção dos coeficientes e parâmetros estatísticos.

Tabela 2. Modelos matemáticos utilizados

Autor	Modelo
Kozak (1969)	$\left(\frac{d_i}{DAP}\right)^2 = b_0 + b_1\left(\frac{h_i}{h}\right) + b_2\left(\frac{h_i}{h}\right)^2$
Burkhart (1977)	$\frac{V_c}{V} = 1 - b_3 \frac{d_i^{3.1}}{(DAP)^2}$
Cao (1980)	$\frac{V_c}{V} = 1 - b_0 \frac{(h - h_c)^{1.1}}{h^{1.2}}$

Resultados e Discussão

Após o trabalho estatístico, encontraram-se os coeficientes para cada equação, com seus respectivos valores de R^2 ou IA quando necessário, e o respectivo Syx%, que podem ser observados na tabela 3.

Tabela 3. Especificação dos coeficientes e estatísticas para cada modelo

Modelo	Coeficientes			Altura		Diâmetro		Volume	
	b_0	b_1	b_2	R^2 ou IA	Syx%	R^2 ou IA	Syx%	R^2 ou IA	Syx%
Kozak	1,74	-4,41	3,12	0,86	25,87	0,84	18,13	0,84	36,89
Burkhart	-0,40	-0,06	-0,14	0,84*	27,76*	0,78*	21,57*	0,79	61,83
Cao	0,21	1,72	1,37					0,99	6,09

* Sistema Burkhart/Cao

De modo geral, os modelos testados apresentaram excelente desempenho com relação aos valores de R^2 ou IA, variando de 0,78 a 0,99 (Tabela 3).

Quanto ao Syx%, nem todos os resultados se mostraram aceitáveis para os ajustes, variando entre 6,09% (modelo de Cao) e 61,83% (modelo de Burkhart), para o volume; entre 18,13% (modelo de Kozak) e 21,57% (sistema Burkhart/Cao), para o diâmetro, e entre 25,87% (modelo de Kozak) e 27,76% (sistema Burkhart/Cao), para a altura (Tabela 3).

A análise de resíduos, embora visual, é mais um indicativo, além dos parâmetros estatísticos, para validar a utilização de um modelo, indicando se a estimativa realmente é boa ao longo da linha de regressão, mostrando sua tendenciosidade ou não e se a equação utilizada é realmente apropriada.

Dentre os modelos testados, o modelo de Cao, conforme se pode observar na figura 1, apesar de apresentar na análise gráfica dos resíduos, alguns poucos dados “out-liers”, foi o que proporcionou o maior R^2 ou IA, bem como o menor Syx%, portanto, com boa precisão para estimar o volume (Tabela 3). O volume estimado por Burkhart e Cao, tanto na Análise de Regressão como na Análise de Resíduos, não apresentaram bons resultados. Igual comportamento pode ser observado para as estimativas de altura e diâmetros (Figuras 1, 2 e 3).

Figura 1. Análise de resíduos para a variável volume, para os Modelos de Kozak, Burkhart e CAO

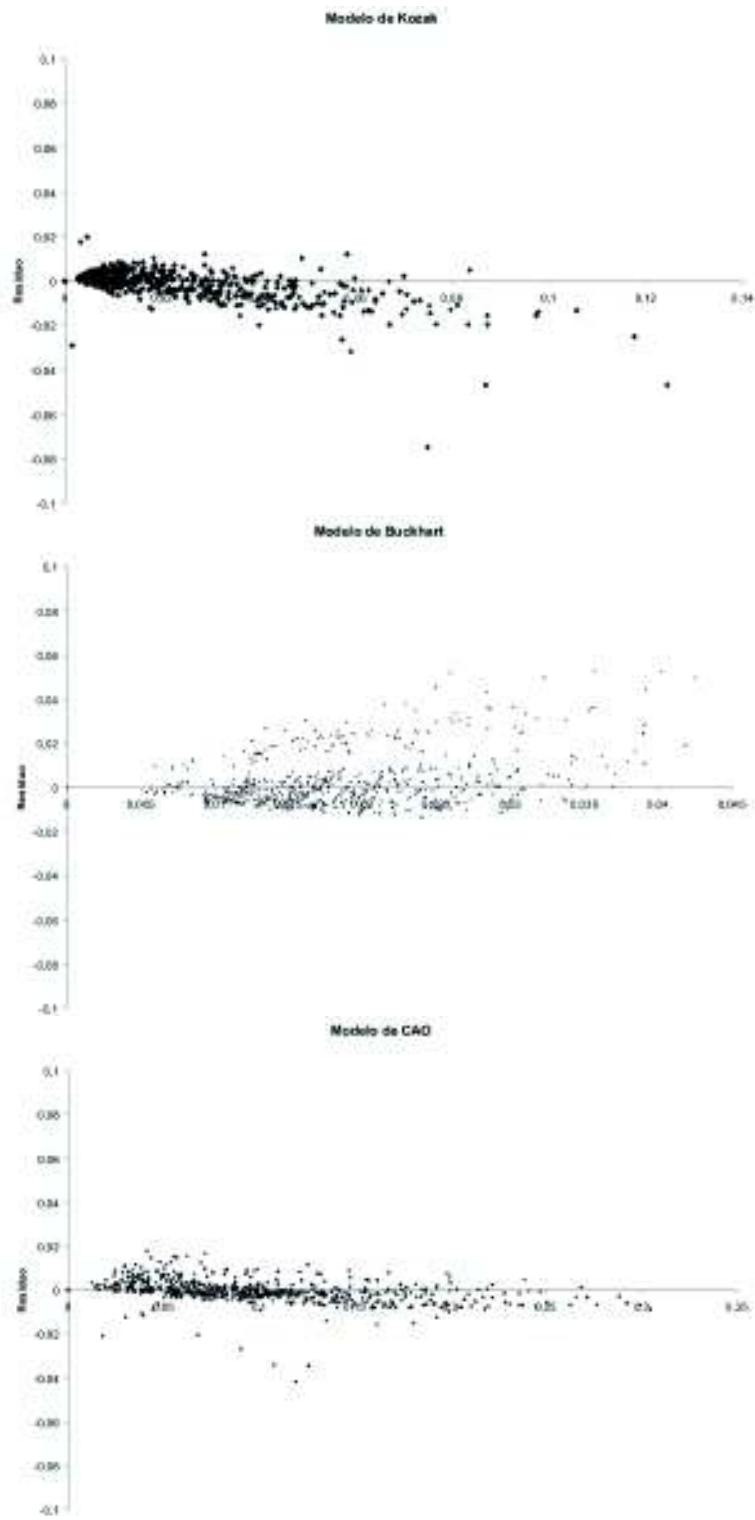


Figura 2. Análise de resíduos para a variável diâmetro, para os Modelos de Kozak e o sistema Burkhart/CAO

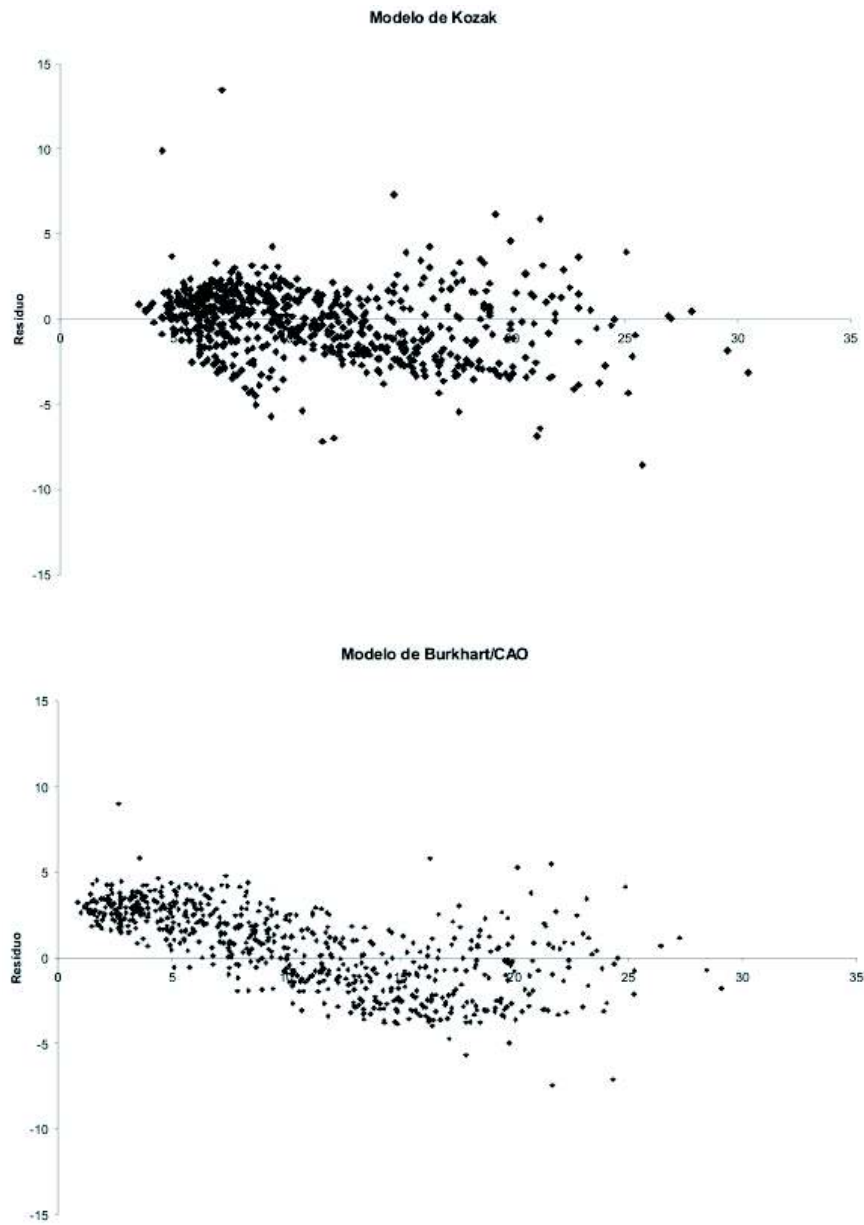
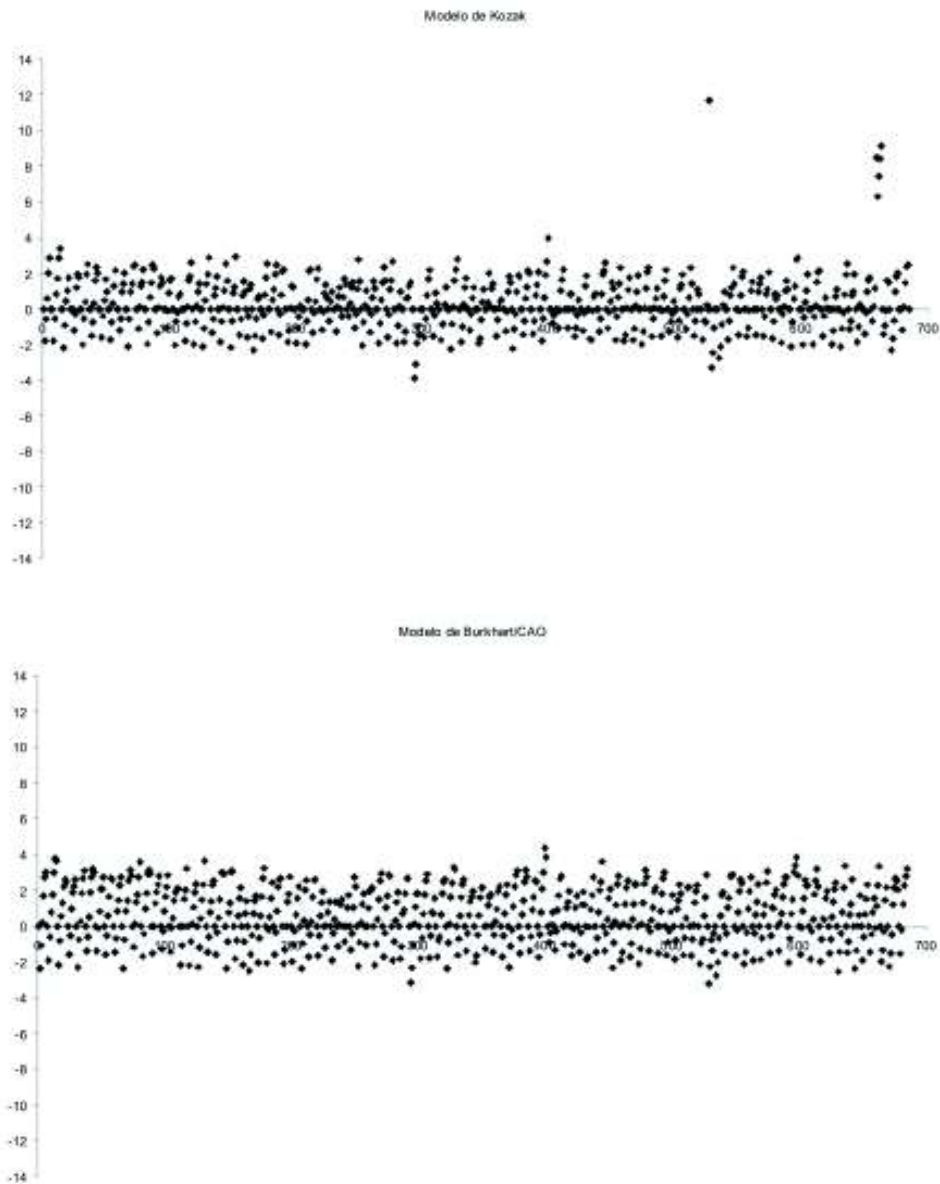


Figura 3. Análise de resíduos para a variável altura, para os Modelos de Kozak, e o sistema Burkhart/CAO



Conclusões

Após análise estatística, pode-se concluir, com base nos dados utilizados, que para os plantios de *Pinus oocarpa*, pertencentes à empresa Duraflora S.A., situada na região sudoeste do Estado de São Paulo, no município de Agudos. O modelo de Cao, dentre os testados, é o que melhor pode estimar o volume. O modelo de Kozak é o que melhor pode estimar os diâmetros e alturas.

Referências

ARCE, J. E. Manejo Florestal. *APOSTILA de Manejo Florestal do curso de Ciências Florestais*. Curitiba: UFPR, 2002.

FINGER, C. A. G. *Fundamentos de Biometria Florestal*. UFSM, [s.n.]. 1992.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. *Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil*. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978.

HOFFMANN & VIEIRA, *Análise de Regressão: uma introdução à econometria*. São Paulo: Hucitec, 1983.

KOEHLER, H.S. *Estatística Experimental*. (Apostila), Setor de Ciências Agrárias. UFPR, 1999.

RODOVANSKI, E. *Modelos estatísticos para previsão de crescimento de plantações florestais*. Curitiba, 2003. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná.

SCHNEIDER, P. R. *Análise de Regressão aplicada a Engenharia Florestal*. 2 ed. Santa Maria: UFSM, 1998.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO F. A. *Biometria Florestal: medição e volumetria de árvores*. Lavras: UFLA, 1998.