

**INCREMENTO EM ÁREA BASAL DE ÁRVORES DE UMA FLORESTA ESTACIONAL
DECIDUAL, EM TRÊS FASES SUCESSIONAIS, NO MUNICÍPIO DE SANTA TEREZA, RS¹**
BASAL AREA INCREMENT OF A SEASONAL DECIDUOUS FOREST IN THREE SUCCESSIONAL
PHASES, IN SANTA TEREZA, RS

Sandro Vaccaro² César Augusto Guimarães Finger³ Paulo Renato Schneider⁴ Solon Jonas Longhi⁵

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo modelar funções de incremento em área basal para árvores de três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual, as quais se denominaram capoeirão, floresta secundária e floresta madura. A área, localizada no município de Santa Tereza, RS, foi amostrada em dois períodos 1996 e 2000, considerando os indivíduos arbóreos com diâmetro à altura do peito maior ou igual a 3,2 cm (10 cm de circunferência). Observou-se que, para as árvores da Floresta Estacional Decidual da região do estudo, o incremento periódico anual em área basal pode ser estimado por equações próprias desenvolvidas para cada estágio sucessional ou por meio de uma equação geral, independente do estágio sucessional, sem perda de precisão das estimativas.

Palavras-chave: incremento periódico anual, área basal, amostragem, dendrometria.

ABSTRACT

This work aimed to modeling the basal area increment for trees of three successional phases of a Seasonal Deciduous Forest, which were named dense brushwood, secondary forest and mature forest. The area, located in Santa Tereza, State of Rio Grande do Sul, was sampled during the period from 1996 to 2000, considering the arboreal individuals with diameter at breast height larger or equal to 3,2 cm (10 cm of circumference). It was observed that for the trees of the Seasonal Deciduous Forest in the studied area, the annual periodic increment in basal area can be estimated by specific equations developed for each successional phase, or by a general equation, independent on the successional phase, without loss of estimating precision.

Key words: annual periodic increment, basal area, sampling, dendrometry.

INTRODUÇÃO

O uso múltiplo das florestas, com a obtenção simultânea de matéria-prima, proteção, equilíbrio ecológico e benefícios recreativos, é alcançado com o manejo sustentado e apresenta-se como uma tendência mundial para o aproveitamento e conservação das florestas mistas inequiduais.

No estado do Rio Grande do Sul, as florestas nativas, atualmente, não têm cumprido seu papel na produção de madeira, pois se apresentam como verdadeiros mosaicos em diversos estágios sucessionais sem o manejo silvicultural, e consideradas, muitas vezes, como estorvo ao aumento da receita da propriedade rural. Tem-se, assim, a necessidade iminente de uma mudança filosófica nas esferas técnica, científica, política e social para atribuir um papel mais nobre às florestas nativas remanescentes. Essa realidade sugere o manejo em regime sustentado sob a ótica do uso múltiplo como medida indispensável para a recuperação das florestas, melhorando a composição de espécies e o padrão genético, aumentando a produtividade e, sobretudo, agregando interesse econômico a elas.

1. Parte da tese de doutorado do primeiro autor apresentada no Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria.
2. Engenheiro Florestal, Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). vaccarsan@terra.com.br
3. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). finger@smail.ufsm.br
4. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). paulors@smail.ufsm.br
5. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). longhiso@ccr.ufsm.br

Recebido para publicação em 23/06/2003 e aceito em 6/11/2003.

Na elaboração de planos de manejo em regime sustentado é de fundamental importância o conhecimento do incremento das árvores a serem manejadas, a fim de estabelecer o ciclo de corte e o volume a ser cortado periodicamente. No Rio Grande do Sul, existe uma carência de informações quanto ao crescimento de árvores nativas o que impede a elaboração desses planos. A falta de informações é ampliada com a complexidade da composição das florestas nativas; o grande número de espécies com diferentes características silviculturais, ecológicas e tecnológicas; o desconhecimento de como as plantas crescem, seja em áreas intactas, áreas exploradas ou, áreas sujeitas a regime de manejo (Scolforo *et al.*, 1996).

Ahrens (1997) relata não existir registros documentados sobre o crescimento de florestas naturais no Brasil, e que a escassez de dados numéricos confiáveis para as diferentes tipologias florestais tem permitido que se produzam apenas opiniões descompromissadas e palpites bem intencionados.

Assim, este estudo tem por objetivo modelar, por meio de cálculos de regressão, funções de incremento em área basal para árvores de três estágios sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual, situada em Santa Tereza (RS), visando a fornecer subsídios para o manejo sustentável dos fragmentos remanescentes dessas florestas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As florestas são sistemas biológicos dinâmicos que estão em constante troca. É necessário projetar essas trocas para obter informações relevantes a cerca de decisões a serem tomadas. Os inventários florestais fornecem informações relacionadas a determinado instante de tempo, relatadas de forma estatística. Os modelos de crescimento e produção são capazes de descrever a dinâmica da floresta (recrutamento, crescimento e mortalidade) ao longo do tempo. Por consequência, os modelos são usados amplamente no manejo florestal em consequência da habilidade em atualizar inventários, prever a produção futura e explorar alternativas de manejo e opções silviculturais, fornecendo informações para a tomada de decisões (Burkhart, 1990; Vanclay, 1994; Peng, 2000).

A modelagem do crescimento e da produção florestal é iniciada por volta de 1850, quando profissionais da Europa Central usavam métodos gráficos para interpretar o crescimento e a produção das florestas. Tabelas de produção, baseadas em observações ao longo de uma rotação completa, foram construídas para as principais espécies européias (Voukila, 1965). Em contraste, construíram-se, nos Estados Unidos, entre as décadas de 1920 e 1940, tabelas de produção baseadas em supostas curvas guias (Spurr, 1952; Monserud, 1984). As tabelas de produção persistiram com o *status* da modelagem do crescimento e produção até por volta de 1950. O salto para as expressões matemáticas e destas aos simuladores computadorizados é mais recente.

Muito progresso na modelagem do crescimento e produção de florestas inequiduais tem ocorrido desde os primeiros modelos matemáticos desenvolvidos na década de 60. Desde então, o nível geral de sofisticação desses modelos tem crescido em razão de vários fatores, incluindo técnicas estatísticas refinadas, expansão da base de dados e uso dos recursos computacionais. A metodologia da modelagem para as florestas inequiduais e mistas tem incorporado uma variedade de técnicas como: regressão linear, sistema de equações, projeção de tabelas do povoamento, cadeias de Markov, modelos de matriz e técnicas de rede neural artificial.

Segundo Peng (2000), os modelos de crescimento podem estar constituídas de uma única equação ou uma série de submodelos inter-relacionados que, juntos, compreendem um sistema de simulação.

No Brasil, alguns estudos utilizando modelos de prognose de crescimento e produção de florestas nativas foram realizados. Nesse contexto, Silva (1989), na Floresta Nacional de Tapajós, utilizou o simulador de crescimento Standpro, baseado no tempo de passagem e no coeficiente de "De Licourt" para estudar o movimento de árvores por meio de classes diamétricas. O objetivo foi simular o efeito de tratamentos silviculturais nos parâmetros de crescimento, mortalidade, ingresso e movimento das árvores.

Scolforo *et al.* (1996) aplicaram a teoria de projeção de tabelas do povoamento em uma floresta semidecídua montana na região sul de Minas Gerais, a fim de estudar o crescimento e a produção; a dinâmica e a idade de grupos ecológicos, bem como elaborar um modelo para prognose da estrutura da

floresta.

MATERIAL E MÉTODO

Caracterização da área de estudo

O presente estudo abordou três estágios sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual que foram denominados “capoeirão, floresta secundária e floresta madura”, situados no município de Santa Tereza, região nordeste do estado do Rio Grande do Sul.

O capoeirão, com 30 anos de idade, está localizado nas coordenadas 29°09'28"S e 51°42'05"W, em altitude média de 215 m, em exposição norte, com 5° de inclinação média.

A floresta secundária possui 50 anos, com uma aproximação de ± 2 anos, e está localizada nas coordenadas 29°09'29"S e 51°41'49"W, em altitude média de 180 m, em exposição oeste, com 16° de inclinação média.

A floresta madura, com cerca de 75 anos está situada nas coordenadas 29°11'00"S e 51°43'40"W, em altitude média de 280 m, em exposição oeste, com 4° de inclinação média.

A região de estudo está sob influência do clima **Cfa**, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por clima temperado, chuvas bem distribuídas ao longo do ano, temperaturas do mês mais frio entre -3° e 18°C, e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. Tomando-se as isotermas e as isoietas apresentadas por Moreno (1961), a temperatura média anual gira em torno de 18°C e a precipitação média anual de 1.800 mm.

Os solos são derivados de Rochas Efusivas Básicas da Formação Serra Geral, apresentando basalto como substrato. Nas áreas de estudo, apresentam-se:

No capoeirão: Neossolo, eutrófico, *A* moderado, textura média, relevo ondulado, fase floresta subtropical subcaducifólia;

Na floresta secundária: Cambissolo Ta, eutrófico, *A* chernozêmico, textura média, relevo forte ondulado, fase floresta subtropical subcaducifólia;

Na floresta madura: Chernossolo, *A* chernozêmico, textura argilosa, relevo ondulado, fase floresta subtropical subcaducifólia.

Em relação à fertilidade, segundo Vaccaro, (1997), as condições do horizonte *A*, onde são encontradas a grande massa de raízes eficientes na absorção ativa de nutrientes, são semelhantes nas três áreas: os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , S^+ e Saturação de Bases são superiores aos limites mínimos exigidos para um bom desenvolvimento de plantas. O fósforo disponível pode ser considerado baixo nas florestas madura e secundária, e muito baixo no capoeirão. O pH (água) apresenta-se entre 6,0 e 6,4. Com respeito às limitações físicas, no solo do capoeirão, poderá existir uma certa restrição ao desenvolvimento radicular.

Coleta de dados

Foi realizado um inventário florestal contínuo sobre as mesmas unidades amostrais utilizadas por Vaccaro (1997). Essas unidades amostrais, em número de dez para cada estágio sucessionais, distribuídas sistematicamente, apresentavam formato retangular, com 10 m de largura por 20 m de comprimento, totalizando 200 m² de superfície por unidade amostral.

No primeiro levantamento, transcrito em 1996, foram medidas todas as árvores que apresentaram circunferência à altura do peito (CAP) maior ou igual a 10 cm sendo registradas as seguintes informações:

a) Nome vulgar: a identificação das espécies foi feita no local. Em caso de dúvidas, foi coletado material botânico para posterior identificação.

b) Circunferência à altura do peito (cap): foi medida com fita métrica metálica com precisão de milímetros.

c) Altura total (h): medida com vara graduada de 10 m de comprimento ou, quando a altura da árvore ultrapassava o tamanho da vara, com hipsômetro de Blume-Leiss. A precisão de medição foi de 0,5 m.

d) Altura comercial (h_c): considerada a distância entre o nível do solo e a porção, onde iniciava a ramificação do fuste, foi medida com vara graduada de 10 m de comprimento ou com hipsômetro de Blume-Leiss, na mesma precisão que a altura total.

e) Posição sociológica (PS): caracterização da posição vertical da árvore com relação às suas vizinhas, sendo classificada como pertencente ao estrato: (1) superior, (2) médio e (3) inferior.

f) Sanidade (SAN): classificada de acordo com quatro situações: (1) saudável, (2) baixa intensidade de dano, (3) média intensidade de dano e (4) alta intensidade de dano. Alta intensidade indicava poucos sinais de vitalidade. Baixa intensidade mostrava que menos de 30% da árvore se encontrava comprometida, e média intensidade o comprometimento era de aproximadamente 50%.

g) Qualidade do fuste (QUA): classificado como: (1) reto, (2) levemente tortuoso e (3) tortuoso. A classe "reto" abrangia os fustes que apresentavam uma alta qualidade entre 80 e 100% de seu comprimento; a classe "levemente tortuoso" entre 50 e 80% e a classe "tortuoso" menos que 50%. Considerou-se alta qualidade a porção contínua de fuste reto, cilíndrico e livre de nós, galhos e defeitos aparentes.

h) Coordenada da árvore: localização da árvore dentro da unidade amostral, obtida com base na leitura de duas trenas, uma paralela ao maior comprimento da parcela e outra perpendicular. Todas as árvores amostradas foram etiquetadas com uma plaqueta de alumínio, contendo a numeração de identificação. As plaquetas foram amarradas com fio de nylon na posição do tronco onde se media a circunferência à altura do peito.

i) Grupo ecológico de sucessão (GES): as espécies amostradas foram classificadas em (1) sub-bosque, (2) secundárias tardias, (3) secundárias iniciais e (4) pioneiras. A classificação das espécies foi feita mediante observações de campo apoiadas por revisão bibliográfica. As obras consultadas foram: Rambo (1956), Klein (1972), Reitz *et al.* (1988), Tabarelli (1992) e Flora Ilustrada Catarinense (19--).

j) Liberação da copa (LIB): variável que informou o grau de exposição da copa à luz solar e foi codificada como sendo: (1) mais de 75% da copa exposta à luz, (2) entre 50 e 75%, (3) entre 25 e 50% e (4) menos que 25% da copa exposta à luz.

k) Vitalidade para o crescimento futuro (VIT): variável subjetiva e complexa que envolveu aspectos da sanidade da árvore, liberação da copa, idade fisiológica, posição sociológica e competição. Os códigos utilizados foram: (1) crescimento futuro promissor, baixa competição, elevada vitalidade intrínseca, sem danos; (2) tendência de crescimento futuro médio e (3) crescimento futuro insignificante, baixa vitalidade de crescimento, elevada competição, doente, senil, suprimida.

l) Altura do fuste (h_f): distância entre o colo da árvore e a posição média onde inicia a copa fotossinteticamente ativa. A diferença entre altura total e início da copa viva forneceu o comprimento da copa ($ccopa$), e a percentagem de copa ($\%copa$), dada pela razão entre o comprimento da copa e a altura total.

No levantamento de 1996, foram amostradas 842 árvores vivas no capoeirão, 786 na floresta secundária e 410 na floresta madura. Pelo fato da floresta madura possuir aproximadamente a metade do número de árvores amostradas nos outros dois estágios sucessionais e apresentar uma distribuição de frequência por classe diamétrica desbalanceada, com interrupções de frequência nas classes superiores, em 1999, foram mensuradas, na floresta madura, dez unidades amostrais adicionais. As unidades adicionais elevaram o número de árvores mensuradas, tornando-o semelhante nos três estágios sucessionais e com distribuição de frequência mais próxima da forma de uma série geométrica decrescente.

No ano de 2000, as unidades amostrais foram remeidas tomando-se a CAP, as alturas comercial e total e demais variáveis consideradas de todas as árvores vivas, incluindo os ingressos.

Os incrementos das árvores amostradas foram obtidos com base na diferença de duas medições de CAP.

Em decorrência da diferença de tempo transcorrido entre medições sucessivas; em 1996 foram necessários sete meses entre a instalação da primeira unidade amostral e o final das medições, enquanto no ano de 2000, foram despendidos apenas dois meses bem como em consequência da adição de dez unidades amostrais na floresta madura que contavam com intervalo de medição de um ano, o incremento periódico

anual de cada árvore foi expresso por:

$$IPA = (IP / m) \times 12$$

Em que: IPA = incremento periódico anual; IP = incremento periódico; m = intervalo entre medições, expresso em meses.

Modelagem do crescimento

Na modelagem do incremento em área basal das árvores amostradas foi empregada regressão linear, ajustando-se modelos de crescimento para cada estágio sucessional e para a floresta como um todo.

As variáveis consideradas na modelagem do incremento periódico anual em área basal foram:

$IPAg$ = incremento periódico anual em área basal, expresso em m^2 ; $cap96$ = circunferência à altura do peito, expressa em cm, medida em 1996; $g96$ = área basal da árvore, em m^2 , em 1996; $ccopa$ = comprimento longitudinal da copa, em metro; $\%copa$ = percentagem de copa; GES = classe de grupo ecológico de sucessão; h/d = relação entre altura total e DAP; LIB = classe de liberação da copa; PS = classe de posição sociológica; SAN = classe de sanidade; VIT = classe de vitalidade;

QUA = classe de qualidade em relação à forma do fuste.

A modelagem do IPA_g de cada estágio sucessional e da floresta como um todo seguiu o seguinte procedimento:

- Divisão da amostra por meio de sorteio em duas subamostras: uma contendo 70% das unidades amostrais com a intenção da modelagem do incremento, e outra com 30% das unidades amostrais, para a validação dos modelos.
- Análise de correlação de Pearson das variáveis obtidas na subamostra da modelagem, visando avaliar o padrão de inter-relações entre variáveis.
- Transformação das variáveis independentes contínuas X_i , como: $cap96$, $g96$, $ccopa$, $\%copa$ e h/d para as formas X_i^2 , $1/X_i$, $1/X_i^2$, $\ln(X_i)$ e $\ln(X_i^2)$.
- Transformação da variável dependente para a forma logarítmica natural, visando a diminuir a heterogeneidade da variância.
- Modelagem pelo pacote estatístico SPSS, versão 7.5 para Windows, pelo procedimento *Forward* que parte da variável independente mais correlacionada com a variável dependente, para, em seguida, incluir mais uma variável para aumentar a correlação parcial, e, posteriormente, testá-la pelo teste F.
- Seleção dos melhores modelos para cada estágio sucessional e para a floresta como um todo, tendo-se como critério de escolha o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e o erro padrão em percentagem ($S_{yx}\%$).
- Diagnóstico de multicolinearidade pela análise do grau de tolerância, do fator de inflação da variância e da estrutura da matriz de colinearidade.
- Ajuste dos melhores modelos descartando-se as variáveis independentes com menores correlações parciais e causadoras de multicolinearidade.

Validação dos modelos selecionados

A validação dos modelos definidos, para os três estágios sucessionais e para a floresta como um todo, foi realizada sobre a subamostra contendo 30% das parcelas, usando-se os seguintes testes:

a) Qui-quadrado (χ^2): $\chi^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E}$

b) Desvio médio relativo (D%): $D\% = \frac{\sum \left(\frac{O-E}{O} \right)}{N} * 100$

c) Desvio absoluto médio relativo ($D_{abs}\%$): $D_{abs}\% = \frac{\sum \left| \frac{O-E}{O} \right|}{N} * 100$

Em que: Σ = somatória; O = valor de incremento em área basal observado; E = valor de incremento em área basal estimado pelo modelo; e N = número total de observações.

Tanto na modelagem como na validação, utilizaram-se somente as árvores vivas medidas em 1996 e que continuavam vivas na remedição do ano 2000 o que resultou em um número menor de árvores em relação ao amostrado na primeira ocasião. Assim o número de árvores considerado na modelagem e na validação foi, respectivamente, 507 e 234 no capoeirão; 426 e 203 na floresta secundária e, 550 e 208 na floresta madura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de correlação

A correlação entre variáveis, determinada para o capoeirão, floresta secundária e floresta madura, foi sumarizada nas Tabelas 1, 2 e 3 respectivamente. Verificou-se que as melhores correlações da variável resposta *IPAg* foram obtidas com as variáveis *cap96* e *g96* nos três estágios sucessionais analisados. O *IPAg* apresentou correlações simples não-significativas a 99,9% de confiabilidade (valores menores que o valor tabelar de 0,3211) com as variáveis *%copa*, *GES*, *SAN* e *QUA*, indicando não serem variáveis importantes para prognosticar o crescimento em área basal. As demais variáveis obtiveram correlações simples significativas com a variável resposta.

TABELA 1: Correlação das variáveis mensuradas e calculadas para o capoeirão.

TABLE 1: Measured variables correlation of the measured and calculated variables for Dense Brushwood.

	cap96	g96	ccopa	%copa	GES	h/d	LIB	PS	SAN	VIT	QUA	IPAg
cap96	1,000	,956	,637	,238	-,102	-,692	-,630	-,664	-,217	-,435	-,080	,611
g96	,956	1,000	,597	,225	-,081	-,595	-,535	-,550	-,185	-,362	-,086	,624
ccopa	,637	,597	1,000	,798	-,203	-,307	-,563	-,477	-,256	-,581	-,188	,621
%copa	,238	,225	,798	1,000	-,262	-,178	-,259	-,170	-,128	-,396	-,154	,322
GES	-,102	-,081	-,203	-,262	1,000	,201	,074	,069	,178	,173	,219	-,094
h/d	-,692	-,595	-,307	-,178	,201	1,000	,373	,443	,029	,278	,071	-,408
LIB	-,630	-,535	-,563	-,259	,074	,373	1,000	,621	,261	,633	,103	-,491
PS	-,664	-,550	-,477	-,170	,069	,443	,621	1,000	,226	,433	,028	-,387
SAN	-,217	-,185	-,256	-,128	,178	,029	,261	,226	1,000	,353	,211	-,173
VIT	-,435	-,362	-,581	-,396	,173	,278	,633	,433	,353	1,000	,182	-,511
QUA	-,080	-,086	-,188	-,154	,219	,071	,103	,028	,211	,182	1,000	-,125
IPAg	,611	,624	,621	,321	-,094	-,408	-,491	-,387	-,173	-,511	-,125	1,000

TABELA 2: Correlação das variáveis mensuradas e calculadas para a floresta secundária.

TABLE 2: Measured variables correlation of the measured and calculated variables for Secondary Forest.

	cap96	g96	Ccopa	%copa	GES	h/d	LIB	PS	SAN	VIT	QUA	IPAg
cap96	1,000	,938	,532	,021	,129	-,659	-,715	-,768	-,108	-,594	-,035	,773
g96	,938	1,000	,444	,040	,105	-,555	-,613	-,619	-,091	-,505	-,056	,798
ccopa	,532	,444	1,000	,714	-,090	-,126	-,515	-,488	-,238	-,524	-,140	,377
%copa	,021	,040	,714	1,000	-,333	,101	-,107	,031	-,258	-,224	-,255	,053
GES	,129	,105	-,090	-,333	1,000	-,021	-,052	-,160	,069	-,051	,300	,067
h/d	-,659	-,555	-,125	,101	-,021	1,000	,396	,438	-,021	,394	,028	-,471
LIB	-,715	-,613	-,515	-,107	-,052	,396	1,000	,718	,136	,667	,038	-,615
PS	-,768	-,619	-,488	,031	-,160	,438	,718	1,000	,117	,538	,013	-,535
SAN	-,108	-,091	-,238	-,258	,069	-,021	,136	,117	1,000	,185	,023	-,072
VIT	-,594	-,505	-,524	-,224	-,051	,394	,667	,538	,185	1,000	,114	-,568
QUA	-,035	-,056	-,140	-,255	,300	,028	,038	,013	,023	,114	1,000	-,078
IPAg	,773	,798	,377	,053	,067	-,471	-,615	-,535	-,072	-,568	-,078	1,000

TABELA 3: Correlação das variáveis mensuradas e calculadas para a floresta madura.

TABLE 3: Measured variables correlation of the measured and calculated variables for Mature Forest.

	cap96	g96	ccopa	%copa	GES	h/d	LIB	PS	SAN	VIT	QUA	IPAg
cap96	1,000	,929	,713	,035	,484	-,682	-,782	-,801	,010	-,415	-,242	,703
g96	,929	1,000	,570	,048	,367	-,532	-,605	-,607	,019	-,261	-,225	,625
ccopa	,713	,570	1,000	,504	,393	-,474	-,681	-,701	-,074	-,504	-,213	,560
%copa	,035	,048	,504	1,000	-,125	-,112	,04	,039	-,007	-,063	-,002	,036
GES	,484	,367	,393	-,125	1,000	-,298	-,486	-,551	,010	-,290	-,100	,320
h/d	-,682	-,532	-,474	-,112	-,298	1,000	,563	,561	-,184	,332	,028	-,466
LIB	-,782	-,605	-,681	,004	-,486	,563	1,000	,870	,075	,596	,248	-,595
PS	-,801	-,607	-,701	,039	-,551	,561	,870	1,000	,058	,557	,232	-,587
SAN	,010	,019	-,074	-,007	,010	-,184	,075	,058	1,000	,211	,272	-,037
VIT	-,415	-,261	-,504	-,063	-,290	,332	,596	,557	,211	1,000	,316	-,465
QUA	-,242	-,225	-,213	-,002	-,100	,028	,248	,232	,272	,316	1,000	-,200
IPAg	,703	,625	,560	,036	,320	-,466	-,595	-,587	-,037	-,465	-,200	1,000

Analisando-se a correlação para a floresta como um todo, descrita na Tabela 4, verificou-se que a melhor correlação com a variável resposta foi a variável *cap96*. As variáveis *%copa*, *GES*, *SAN* e *ES* obtiveram correlações simples não-significativas a 99,9% de probabilidade. Convém ressaltar a fraca correlação existente entre *IPAg* e *GES*, indicando que, na Floresta Estacional Decidual da área de estudo, o padrão de crescimento das árvores, em termos de área basal, independe diretamente do estágio sucessional em que se encontram.

TABELA 4: Correlação das variáveis mensuradas e calculadas para a floresta como um todo (dados dos três estágios sucessionais em conjunto).

TABLE 4: Measured variables correlation of the measured and calculated variables for the forest a whole (data from three successional phases).

	cap96	g96	ccopa	%copa	GES	h/d	LIB	PS	SAN	VIT	SUB	IPAg
cap96	1,00	,905	,663	,125	,056	-,615	-,599	-,724	-,038	-,338	,198	,710
g96	,905	1,00	,508	,116	,035	-,430	-,408	-,499	,002	-,175	,179	,618
ccopa	,663	,508	1,00	,648	-,101	-,365	-,523	-,587	-,145	-,437	,250	,532
%copa	,125	,116	,648	1,00	-,404	-,164	-,048	-,022	-,081	-,131	,373	,125
GES	,056	,035	-,101	-,404	1,00	,124	-,227	-,143	,048	-,159	-,688	,035
h/d	-,615	-,430	-,365	-,164	,124	1,00	,394	,470	-,080	,271	-,240	-,432
LIB	-,599	-,408	-,523	-,048	-,227	,394	1,00	,710	,154	,638	,157	-,495
PS	-,724	-,499	-,587	-,022	-,143	,470	,710	1,00	,122	,473	-,062	-,521
SAN	-,038	,002	-,145	-,081	,048	-,080	,154	,122	1,00	,255	,020	-,059
VIT	-,338	-,175	-,437	-,131	-,159	,271	,638	,473	,255	1,00	,179	-,405
SUB	,198	,179	,250	,373	-,688	-,240	,157	-,062	,020	,179	1,00	,123
IPAg	,710	,618	,532	,125	,035	-,432	-,495	-,521	-,059	-,405	,123	1,00

A ausência de correlação significativa entre grupo ecológico de sucessão e *IPAg* contradiz as observações de Silva *et al.* (1995), Carvalho (1997) e Silva (1997) em que o incremento das espécies intolerantes à sombra é superior às tolerantes que, por sua vez, crescem mais rápido que as espécies de sub-bosque.

Modelagem do incremento por meio de regressão

A modelagem de regressão, pelo procedimento de seleção *forward*, foi feita separadamente para cada estágio sucessional e para a floresta como um todo (dados agrupados).

A análise gráfica dos valores observados da variável dependente (*IPAg*) *versus* variável independente (p. e. *cap96*) indicou existir heterogeneidade de variância, contrapondo uma das

condicionantes da regressão. Dessa forma, transformou-se a variável dependente para a forma logarítmica natural, diminuindo sensivelmente a heterogeneidade da variância.

O procedimento de seleção *forward* com nível de tolerância padrão de 0,05, para a entrada de uma nova variável na regressão, produziu modelos com um grande número de variáveis independentes o que levou à existência de multicolinearidade.

A multicolinearidade resultou do alto grau de correlação múltipla entre várias variáveis independentes, de modo que certo número dessas variáveis mediu um mesmo fenômeno ou variável determinística. A determinação da natureza e grau de multicolinearidade entre as variáveis independentes foi realizada com a análise do grau de tolerância, do fator de inflação da variância (VIF) e da estrutura da matriz de colinearidade.

As variáveis com menores correlações parciais e causadoras de multicolinearidade foram retiradas do rol de variáveis, ajustando-se novos modelos para cada estágio sucessional. As novas equações foram limitadas a quatro coeficientes nos três estágios sucessionais e para a floresta como um todo, isto é, sem a estratificação em estágios sucessionais, foram considerados cinco coeficientes.

Modelo de IPAg selecionado para o capoeirão

O melhor modelo de regressão para descrever o *IPAg*, no capoeirão, apresentou um $R^2_{aj} = 0,937$ e $S_{yx} = -8,18\%$. O cálculo do valor “d” de Durbin-Watson foi de 1,695, induzindo a aceitar a hipótese da nulidade para 99% de confiabilidade ($1,46 < d < 4 - 1,63$) de que não existia correlação em série e, portanto, os resíduos foram considerados independentes. As estatísticas da modelagem encontram-se descritas na Tabela 5 para cada um dos passos da regressão.

TABELA 5: Estatísticas da modelagem do *IPAg* do capoeirão pelo procedimento *forward*.

TABLE 5: Dense Brushwood *IPAg* modelling statistics by the forward procedure.

Passo/ Modelo	Variável Independente	Estatística dos Parâmetros					R^2_{aj}	$S_{yx}\%$
		B_j	Valor B_j	$S_{yx} \cdot B_j$	$t \cdot B_j$	Sig.		
1		B_0	-0,604	0,031	-19,651	0,000	0,876	-11,49
	<i>1/cap96</i>	B_1	-29,546	0,494	-59,816	0,000		
2		B_0	-0,189	0,035	-5,429	0,000	0,921	-9,20
	<i>1/cap96</i>	B_1	-26,154	0,444	-58,965	0,000		
	<i>VIT</i>	B_2	-0,253	0,015	-16,863	0,000		
3		B_0	-0,183	0,032	-5,686	0,000	0,932	-8,52
	<i>1/cap96</i>	B_1	-23,956	0,475	-50,450	0,000		
	<i>VIT</i>	B_2	-0,179	0,016	-11,150	0,000		
	<i>LIB</i>	B_3	-0,107	0,012	-9,220	0,000		
4		B_0	-0,518	0,060	-8,657	0,000	0,937	-8,18
	<i>1/cap96</i>	B_1	-21,767	0,566	-38,467	0,000		
	<i>VIT</i>	B_2	-0,185	0,015	-11,944	0,000		
	<i>LIB</i>	B_3	-0,107	0,011	-9,652	0,000		
	<i>1/(h/d)</i>	B_4	0,253	0,039	6,539	0,000		

Em que: B_j = coeficientes; S_{yx} = erro-padrão da estimativa do parâmetro; $t = t$ de Student e Sig. = significância a 95% de confiabilidade; R^2_{aj} = coeficiente de determinação do modelo; $S_{yx}\%$ = erro-padrão em percentagem do modelo.

Assim, o modelo selecionado foi expresso por:

$$\ln(IPAg) = \sqrt{cap_{96}} * \left(-0,518 - \frac{21,767}{cap_{96}} - 0,185 * VIT - 0,107 * LIB + \frac{0,253}{h/d} \right)$$

Modelo de IPAg selecionado para a floresta secundária

O melhor modelo de regressão para descrever o *IPAg* na floresta secundária obteve o seguinte ajuste estatístico: $R^2_{aj} = 0,918$ e $S_{yx} = -8,37\%$. O cálculo do valor “d” de Durbin-Watson foi de 1,838, indicando, com 99% de confiabilidade ($1,46 < d < 4 - 1,63$), que os resíduos não se encontravam

correlacionados em série. As estatísticas da modelagem foram descritas na Tabela 6 para cada um dos passos de regressão analisados.

TABELA 6: Estatísticas da modelagem do *IPAg* da floresta secundária pelo procedimento *forward*.

TABLE 6: Secondary Forest *IPAg* modelling statistics by the forward procedure.

Passo/ Modelo	Variável Independente	Estatística dos Parâmetros					R^2_{aj}	$S_{yx}\%$
		B_j	Valor B_j	$S_{yx} \cdot B_j$	$t \cdot B_j$	Sig.		
1	1/cap96	B_0	-1,533	0,040	-38,310	0,000	0,855	-11,11
		B_1	-33,942	0,678	-50,052	0,000		
2	1/cap96 VIT	B_0	-0,741	0,064	-11,583	0,000	0,902	-9,11
		B_1	-29,380	0,640	-45,932	0,000		
		B_2	-0,398	0,028	-14,420	0,000		
3	1/cap96 VIT 1/(h/d)	B_0	-1,205	0,096	-12,557	0,000	0,911	-8,72
		B_1	-27,200	0,704	-38,639	0,000		
		B_2	-0,371	0,027	-13,831	0,000		
		B_3	-0,311	0,050	6,282	0,000		
4	1/cap96 VIT 1/(h/d) LIB	B_0	-1,093	0,094	-11,646	0,000	0,918	-8,37
		B_1	-25,570	0,726	-35,228	0,000		
		B_2	-0,275	0,030	-9,117	0,000		
		B_3	0,297	0,048	6,237	0,000		
		B_4	-0,133	0,022	-6,125	0,000		

Em que: B_j = coeficientes; S_{yx} = erro-padrão da estimativa do parâmetro; $t = t$ de Student e Sig. = significância a 95% de confiabilidade; R^2_{aj} = coeficiente de determinação do modelo; $S_{yx}\%$ = erro-padrão em percentagem do modelo.

O modelo selecionado para a floresta secundária foi, então, expresso por:

$$\ln(IPAg) = \ln(cap_{96}) * \left(-1,093 - \frac{25,570}{cap_{96}} - 0,275 * VIT + \frac{0,297}{h/d} - 0,133 * LIB \right)$$

Modelo de *IPAg* selecionado para a floresta madura

O melhor modelo de regressão para descrever o *IPAg* na floresta madura apresentou $R^2_{aj} = 0,957$ e $S_{yx} = -8,81\%$. O valor “d” de Durbin-Watson foi de 1,917, indicando, com 99% de confiabilidade ($1,46 < d < 4 - 1,63$), não existir correlação em série, sendo os resíduos considerados independentes. As estatísticas da modelagem foram descritas na Tabela 7 para cada um dos passos de regressão analisados.

TABELA 7: Estatísticas da modelagem do *IPAg* da floresta madura pelo procedimento *forward*.

TABLE 7: Mature Forest *IPAg* modelling statistics by the forward procedure.

Passo/ Modelo	Variável Independente	Estatística dos Parâmetros					R^2_{aj}	$S_{yx}\%$
		B_j	Valor B_j	$S_{yx} \cdot B_j$	$t \cdot B_j$	Sig.		
1	1/cap96	B_0	-0,500	0,019	-26,052	0,000	0,940	-10,38
		B_1	-30,169	0,325	-92,903	0,000		
2	1/cap96 LIB	B_0	-0,246	0,028	-8,772	0,000	0,952	-9,33
		B_1	-26,718	0,419	-63,730	0,000		
		B_2	-0,131	0,011	-11,467	0,000		
3	1/cap96 LIB ln(h/d)	B_0	-0,365	0,035	-10,519	0,000	0,954	-9,08
		B_1	-25,435	0,469	-54,232	0,000		
		B_2	-0,117	0,011	-10,314	0,000		
		B_3	-0,160	0,029	-5,556	0,000		
4	1/cap96 LIB ln(h/d)	B_0	-0,210	0,042	-4,962	0,000		
		B_1	-24,804	0,467	-53,136	0,000		
		B_2	-0,0877	0,012	-7,262	0,000		
		B_3	-0,191	0,028	-6,739	0,000		

VIT B_4 -0,107 0,018 -5,987 0,000 0,957 -8,81

Em que: B_j = coeficientes; S_{yx} = erro-padrão da estimativa do parâmetro; $t = t$ de Student e Sig. = significância a 95% de confiabilidade; R^2_{aj} = coeficiente de determinação do modelo; $S_{yx}\%$ = erro-padrão em percentagem do modelo.

O modelo selecionado para a floresta madura foi expresso por:

$$\ln(IPAg) = \sqrt{cap_{96}} * \left(-0,21 - \frac{24,804}{cap_{96}} - 0,0877 * LIB - 0,191 \ln(h/d) - 0,107 * VIT \right)$$

Modelo de IPAg selecionado para a floresta como um todo

O melhor modelo de regressão para descrever o *IPAg* da floresta como um todo apresentou $R^2_{aj} = 0,924$ e $S_{yx} = -8,33\%$. O valor “d” de Durbin-Watson foi de 1,795, inferindo-se que não existia correlação de resíduos em série para 99% de confiabilidade ($1,44 < d < 4 - 1,65$). As estatísticas da modelagem foram descritas na Tabela 8 para cada um dos passos de regressão analisados, e a distribuição dos resíduos do modelo selecionado.

TABELA 8: Estatísticas da modelagem do *IPAg* da floresta como um todo (dados dos três estágios sucessionais em conjunto) pelo procedimento *forward*.

TABLE 8: Whole forest *IPAg* modelling statistics (three successional phases data) by the forward procedure.

Passo/ Modelo	Variável Independente	Estatística dos Parâmetros					R^2_{aj}	$S_{yx}\%$
		B_j	Valor B_j	$S_{yx} \cdot B_j$	$t \cdot B_j$	Sig.		
1		B_0	-1,382	0,022	-63,671	0,000	0,862	-11,23
	$1/cap_{96}$	B_1	-34,716	0,361	-96,187	0,000		
2		B_0	-0,776	0,035	-22,328	0,000	0,893	-9,88
	$1/cap_{96}$	B_1	-31,348	0,356	-88,066	0,000		
	<i>VIT</i>	B_2	-0,308	0,015	-20,883	0,000		
3		B_0	-,0927	0,034	-27,218	0,000	0,907	-9,23
	$1/cap_{96}$	B_1	-27,216	0,436	-62,492	0,000		
	<i>VIT</i>	B_2	-0,321	0,014	-23,274	0,000		
	$\ln(h/d)$	B_3	-0,427	0,029	-14,695	0,000		
4		B_0	-1,299	0,041	-32,042	0,000	0,919	-8,62
	$1/cap_{96}$	B_1	-24,508	0,446	-54,954	0,000		
	<i>VIT</i>	B_2	-0,270	0,013	-20,241	0,000		
	$\ln(h/d)$	B_3	-0,462	0,027	-16,981	0,000		
	$\ln(ccopa)$	B_4	0,186	0,013	14,787	0,000		
5		B_0	-1,229	0,040	-30,943	0,000	0,924	-8,33
	$1/cap_{96}$	B_1	-23,118	0,451	-51,203	0,000		
	<i>VIT</i>	B_2	-0,196	0,015	-13,342	0,000		
	$\ln(h/d)$	B_3	-0,441	0,026	-16,697	0,000		
	$\ln(ccopa)$	B_4	0,173	0,012	14,184	0,000		
	<i>LIB</i>	B_5	-0,104	0,010	-10,310	0,000		

Em que: B_j = coeficientes; S_{yx} = erro-padrão da estimativa do parâmetro; $t = t$ de Student e Sig. = significância a 95% de confiabilidade; R^2_{aj} = coeficiente de determinação do modelo; $S_{yx}\%$ = erro-padrão em percentagem do modelo.

Dessa forma, o modelo selecionado para descrever o incremento periódico anual em área basal da floresta como um todo foi expresso por:

$$\ln(IPAg) = \ln(cap_{96}) * \left(-1,229 - \frac{23,118}{cap_{96}} - 0,196 * VIT - 0,441 * \ln(h/d) + 0,173 * \ln(ccopa) - 0,104 * LIB \right)$$

Validação dos modelos selecionados

A validação dos modelos selecionados foi realizada com um conjunto de dados independentes daqueles utilizados na construção dos modelos, ou seja, sobre a subamostra contendo 30% das unidades

amostrais. Empregaram-se os testes qui-quadrado (χ^2), desvio médio relativo ($D\%$) e desvio absoluto médio relativo ($D_{abs}\%$).

Os resultados dos testes de validação encontrados na Tabela 9 mostraram que os valores de χ^2 foram todos não-significativos, indicando não haver diferença estatística com 99% de confiabilidade na distribuição dos valores observados na subamostra de validação e valores estimados pelos modelos ajustados.

TABELA 9: Testes de validação dos modelos de *IPAg* selecionados para cada estágio sucessional e para a floresta como um todo.

TABLE 9: *IPAg* models validation tests selected to each successional phases and to the forest a whole.

Estágio Sucessional/Teste	Subamostra para Modelagem	Subamostra para Validação
Capoeirão:		
χ^2		26,28 ^{ns}
D%	- 0,77	0,82
$D_{abs}\%$	7,22	7,09
Floresta secundária:		
χ^2		16,34 ^{ns}
D%	- 0,86	- 2,25
$D_{abs}\%$	7,10	7,64
Floresta madura:		
χ^2		17,20 ^{ns}
D%	- 1,33	- 2,38
$D_{abs}\%$	7,90	8,19
Floresta como um todo:		
χ^2		48,92 ^{ns}
D%	- 0,78	- 1,01
$D_{abs}\%$	7,23	7,34

Em que: ns = não-significativo a 99% de confiabilidade.

Observando-se o valor de $D\%$ do capoeirão, verificou-se que o modelo ajustado subestimava, em média, -0,77%, com relação aos valores observados utilizados para o ajuste. Já na subamostra de validação, o modelo superestimava, em média, 0,82%. Os demais modelos subestimavam tanto na subamostra utilizada para a modelagem como na subamostra de validação, em média, uma percentagem inferior a 2,4%.

Os desvios absolutos médios dos modelos selecionados apresentaram precisões similares tanto na subamostra para modelagem como na subamostra para validação, com valores entre 7,1 e 8,2%.

Portanto, baseado nos testes supracitados, verificou-se que os modelos selecionados podem ser utilizados, na prática, por causa da alta precisão na subamostra de validação para a estimativa do $\ln(IPAg)$.

CONCLUSÕES

Com base nas estatísticas de ajuste e precisão e nos testes de validação, pôde-se concluir que o incremento periódico anual, em área basal das árvores da Floresta Estacional Decidual da região de Santa Tereza, pode ser estimado com equações logarítmicas tendo como variáveis independentes a *cap*, a vitalidade, a liberação da copa e da relação *h/d* para árvores dos estágios sucessionais capoeirão, floresta secundária e floresta madura.

A modelagem para estimar o *IPAg* em qualquer estágio sucessional permitiu obter uma equação de alta precisão ($R^2 = 0,924$) e ajuste ($Syx \% = -8,33$), sendo incluído no modelo como variável independente ainda o comprimento da copa.

Não houve perda de precisão quando se estimou o incremento em área basal com uma equação geral em relação ao emprego de uma específica para cada estágio sucessional.

Os testes de qui-quadrado, desvio médio relativo e desvio absoluto médio relativo apresentaram precisão semelhante nas subamostras de dados utilizados para modelagem e de validação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRENS, S. O manejo de recursos florestais no Brasil: conceitos, realidades e perspectivas. In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL, 1., 1997, Curitiba. **Tópicos em manejo florestal sustentável**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p. 5-16. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 34).
- BURKHART, H. E. Status and future of growth and yield models. In: Prdc. a Symp. on State-of the Art Methodology of Forest Inventory. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rep. PNW GTR-263, 1990. p. 409-414.
- CARVALHO, J. O. P. de. Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal. In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL, 1., 1997, Curitiba. **Tópicos em manejo florestal sustentável**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p. 43-55. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 34).
- FLORA ILUSTRADA CATARINENSE. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1965-2002.
- KLEIN, R. M. Árvores nativas da floresta subtropical do Alto Uruguai. **Sellowia**, Itajaí, v. 24, n. 24, p. 9-62, dez. 1972.
- MONSERUD, R. A. Height growth and site index curves for inland Douglas-fir based on stem analysis data and forest habitat type. **For. Sci.**, v. 30, p. 943-965, 1984.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 73 p.
- PENG, C. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. **For. Ecol. Manage.**, v. 132, p. 259-279, 2000.
- RAMBO, B. Der Regenwald am oberen Uruguay. **Sellowia**, v. 7/8, n. 7, p. 183-233, 1956.
- REITZ, R., KLEIN, R. M., REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CORAG, 1988. 525 p.
- SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M. de *et al.* Modelo de produção para floresta nativa como base para manejo sustentado. **Cerne**, v. 2, n. 1, p. 112-137, 1996.
- SILVA, J. N. M. Manejo de florestas de terra-firme da amazônia brasileira. In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL, 1., 1997, Curitiba. **Tópicos em manejo florestal sustentável**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p. 59-96. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 34).
- SILVA, J. N. M. **The behaviour of the tropical rain forest of the Brazilian Amazon after logging**. 1989. 302p. Tese (Doutorado) – University of Oxford, Oxford, 1989.
- SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. de; LOPES, J. do C. A.; ALMEIDA, B. F. de; COSTA, D. H. M.; OLIVEIRA, L. C. de; VANCLAY, J. K.; SKOVSGAARD, J. P. Growth and yield of a tropical rain forest in the Brazilian Amazon 13 years after logging. **For. Ecol. Manage.**, v. 71, n. 3, p. 267-274, 1995.
- SPURR, S. H. **Forest Inventory**. New York: Ronald, 1952. 476 p.
- TABARELLI, M. Flora arbórea da floresta estacional baixo-montana no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 260-268, 1992. (Edição Especial).
- VACCARO, S. **Caracterização fitossociológica de três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual, no município de Santa Tereza – RS**. 1997. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.
- VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Copenhagen: CAB Intern., 1994. 312 p.
- VOUKILA, Y. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. **Comm. Inst. For. Fenn.**, v. 60, p. 1-86, 1965.