

Crescimento em volume de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* em áreas arenizadas e degradadas no Oeste do Rio Grande do SulVolume growth of *Pinus elliottii* and *Pinus taeda* in degraded sandfied areas in Western Rio Grande do Sul StatePaulo Renato Schneider¹, Luiz Ernesto Grillo Elesbão¹,
Paulo Sérgio Pigato Schneider² e Régis Villanova Longhi³**Resumo**

A introdução de espécies florestais de rápido crescimento em áreas com solos arenizados e degradados pode ser uma alternativa tanto para a prevenção como para a minimização desse problema. O trabalho foi realizado com o objetivo de estudar o desempenho do *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L. em áreas arenizadas e degradadas por ação antrópica, no oeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Em povoados de ambas as espécies, árvores médias foram amostradas, abatidas e seccionadas pelo método de Smalian, para a obtenção de discos de madeira para a análise dendrocronológica do volume por idade. O crescimento em volume médio apresentou tendência diferente de desenvolvimento no tempo, quando comparado entre as espécies. O uso de variável *dummy* no modelo de Backman modificado permitiu definir uma equação única para estimar o volume médio em função da idade para ambas as espécies e níveis de degradação do solo, porém com estimativas diferentes em nível de crescimento representado pelo intercepto e inclinação das curvas, com excelente ajuste para um coeficiente de determinação de 0,98 e baixo erro padrão da estimativa de 0,3828 m³.

Palavras-chave: Dendrocronologia, arenização, degradação do solo, equações de volume.

Abstract

The introduction of fast-growing tree species in areas with sandification degraded soils can be an alternative to minimize this problem. This research was conducted to study the performance of *Pinus elliottii* Engelm. and *Pinus taeda* L. in areas degraded by sandification due to antropic action in western Rio Grande do Sul state, Brazil. In stands of both species, average trees were sampled, felled and sectioned by the Smalian method for obtaining discs for dendrochronological analysis which allowed the estimation of mean volume by age. The mean volume growth for each species showed different development trends in time. The use of *dummy* variables in the Bachman modified model enabled a single equation to estimate the average volume as a function of age for both species and degradation soil level; but with different level of estimated growth represented by the intercept and slope of the curves. The model presented an excellent fitting with a coefficient of determination of 0.98 and low standard error of estimate of 0.3828 m³.

Keywords: dendrochronology; sandification; soil degradation; volume equations.

INTRODUÇÃO

As terras arenosas, pobres e impróprias para o cultivo agrícola anual da parte oeste do estado do Rio Grande do Sul (RS) encontram-se degradadas pela ação antrópica. A formação dos areais no estado do RS, interpretada a partir de

estudos geomorfológicos, está associada à dinâmica dos fatores hídricos e eólicos, que, associados à topografia favorável, permitem a formação de ravinas e voçorocas que, na continuidade do processo, desenvolvem uma erosão lateral e progressiva, conseqüentemente alargando suas bordas. Por outro lado, em decorrência do processo

¹Engenheiro Florestal, Professor Doutor. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria Departamento de Ciências Florestais. Campus Universitário, 97095-660, Santa Maria, RS. E-mail: paulors@smail.ufsm.br; elesbao@via-rs.net.

²Engenheiro Florestal, Pós-Doutorando em Engenharia Florestal. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciências Florestais. Campus Universitário, 97095-660, Santa Maria, RS. E-mail: paulosergiopigatoschneider@gmail.com

³Engenheiro Florestal, Doutorando em Engenharia Florestal. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciências Florestais. Campus Universitário, 97095-660, Santa Maria, RS. E-mail: regislonghi@yahoo.com.br

de transporte de sedimentos pela água, durante episódios de chuvas torrenciais, formam-se depósitos arenosos em forma de leques. Com o tempo, esses leques vão se agrupando e, em conjunto, dão origem a um areal, em que o vento, atuando sobre esses areais, em todas as direções, possibilita a ampliação desse processo de arenização (SUERTEGARAY, 2011).

A *United Nations Convention to Combat Desertification* (UNCCD, 1994) definiu desertificação como a degradação do solo em regiões áridas, semiáridas e de áreas secas a subúmidas, resultante de vários fatores, incluindo a variação climática e atividades humanas, tendo por consequência a redução ou perdas biológicas ou de produtividade econômica. Considerando-se estes aspectos, percebe-se que o Rio Grande do Sul não apresenta áreas tipificadas como de desertificação, pois sua localização geográfica situa-se em região de clima subtropical, com precipitação média anual em torno de 1.400 mm. Por consequência, o estado está fora da zona onde o clima, juntamente com a ação do homem, tem sido o motivo principal da degradação do solo, o que não leva à classificação destas áreas arenizadas como de desertos típicos.

A Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação, realizada em 1977, em Nairóbi, Quênia, teve um papel fundamental em todo o processo de luta contra a desertificação no mundo, pois resultou: na consolidação mundial do tema, levando muitos países a começarem a dar maior importância a seus problemas ambientais em geral; na introdução das regiões com climas áridos e semiáridos no cenário das discussões, mostrando que os recorrentes problemas de pobreza e ambiental necessitavam de um enfrentamento direto pela comunidade internacional e; na criação do Plano de Ação Mundial contra a desertificação. O termo desertificação foi conceituado como sendo a diminuição ou a destruição do potencial biológico do solo, que pode desembocar, em definitivo, na condição do tipo desértico. Nessa conferência, além do plano de ação, foi elaborado um mapa mundial com a localização dos desertos e das áreas de risco à desertificação, classificadas em muito alta, alta e moderada, sendo que, no Brasil, somente o nordeste é incluído (ONU, 2005).

Para Suertegaray (1995), a gênese dos areais está vinculada a três processos naturais: a deflação, o escoamento superficial e o escoamento concentrado sob a forma de ravinas e voçorocas. Nos meses de verão, predomina a deflação, em

que as chuvas ocasionais e de curta duração, associadas às altas temperaturas e à evaporação, provocam, em alguns locais, o ressecamento do solo, favorecendo a movimentação de suas partículas pela ação dos ventos. O choque entre partículas maiores e menores ocasiona seu fracionamento em unidades cada vez menores, até o tamanho de um grão de areia.

Devido à fragilidade do solo, ao uso de técnicas inadequadas para o local e à necessidade da manutenção da produção econômica da região, a introdução de espécies florestais exóticas, mesmo se contrapondo à característica original da vegetação, é uma alternativa tanto para a prevenção como para a minimização do problema de arenização do solo. Além disso, a escolha da espécie a ser utilizada na recuperação de áreas degradadas é fundamental para a obtenção do sucesso, uma vez que tais espécies devem possuir facilidade de estabelecimento e rápido crescimento em ambientes desfavoráveis.

Nesse sentido, as espécies de *Pinus* sp. demonstram uma capacidade extraordinária de gerenciamento dos recursos nutricionais em sítios de baixa fertilidade, sem manifestar sintomas visuais de deficiência (REISSMANN; WISNEWSKI, 2005). A rapidez de crescimento e ausência de sintomas de deficiência, especialmente durante as primeiras rotações, reforça a tese de que as espécies do gênero *Pinus*, em geral, dispensariam grandes cuidados com a adubação ou, até mesmo, que esta fosse totalmente dispensável.

Em geral, o crescimento das árvores aumenta com a precipitação (MURPHY; LUGO, 1986) e diminui com a seca (NATH et al., 2006; COSTA et al., 2010). Independentemente da precipitação, a fertilidade do solo também pode afetar a taxa de crescimento das árvores (LU et al., 2002; MALHI et al., 2004), com melhor crescimento em solos mais ricos em nutrientes (RUSSO et al., 2005). A disponibilidade de água da área depende da posição topográfica em que se encontra, pois este influencia diretamente o desenvolvimento das plantas do local, bem como a formação do solo (HANNAH et al., 1982).

A produtividade de *Pinus taeda* está positivamente associada aos solos de maior fertilidade, com maiores teores de nitrogênio e fósforo (REISSMANN; WISNIEWSKI, 2005). Enquanto isso, nos sítios de maior produtividade, as árvores tendem a ser mais uniformes na sua forma e tamanho, tendendo a diferenciar-se com a idade (BINKLEY et al., 2010). Para o gênero *Pinus*, a adaptação às condições edafoclimáticas explica o rápido cresci-

mento e produtividade, podendo atingir cerca de 25 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ e ultrapassar, em alguns sítios, 45 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (KRONKA et al., 2005).

O cultivo de espécies florestais de crescimento rápido é lucrativo e, muitas vezes, mais vantajoso do que os cultivos agrícolas, particularmente em solos mais pobres. Sob essa ótica, espécies como o *Pinus* e o *Eucaliptus* têm demonstrado facilidade de adaptação aos solos da região, já degradados ou em vias de degradação (SOUTO, 1984).

Diante do exposto, o objetivo geral do presente trabalho foi estudar a performance de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* em áreas de solos arenizados e degradados na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, com foco específico no crescimento em volume de árvores médias da população.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em áreas arenizadas de sete fazendas (locais distintos), denominadas: Palma, Tigre, Passo Novo e São João, no município de Alegrete e; Manjolo, Zezé e Rincão, no município de São Francisco de Assis. Essas fazendas situam-se na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, sob a latitude de 29°47'01,63" e longitude de 55°47'27,54".

O clima da área de São Francisco de Assis e Alegrete, de acordo com a classificação de Köppen, recebe a denominação de Cfa1g, subtropical mesotérmico úmido, sendo caracterizado por meses de frio, com geadas de maio a agosto, e calor intenso, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, sendo que a temperatura média nos meses mais quentes é superior a 20 °C. As precipitações são bem distribuídas durante todo o ano, e sua gênese está associada aos sistemas de frentes frias que dominam periodicamente o clima do Estado e seus índices variam entre 1.250 e 1.500 mm.ano⁻¹. Devido à regularidade das frentes frias, os ventos predominantes são dos quadrantes sul (Minuano) e sudoeste (Pampeano) (NIMER, 1990).

Segundo a EMATER/UFRGS (2001), a região dos areais apresenta uma pedologia bastante variada, ocorrendo oito unidades diferentes de solos, os quais têm origem arenítica, principalmente os Alissolos, Cambissolos, Neossolos e Argissolos. Esses solos de origem arenítica são bastante frágeis, extremamente susceptíveis a erosão, principalmente em áreas mais declivosas de solos rasos, associados às rochas aflorantes. Nestas áreas, constata-se um grande potencial para a atividade

florestal, principalmente nos municípios de São Francisco de Assis e Alegrete e municípios limítrofes, pois nas áreas impróprias para a agricultura é possível implantar florestas que protegem os solos frágeis, bem como adotar práticas de exploração racional (RIBASKI et al., 2005).

Nas áreas do estudo, a ocorrência dos areais tem como substrato o arenito da Formação Botucatu de formação mesozóica, onde assentam-se depósitos arenosos não consolidados, originários de deposição fluvial e eólica durante o Pleistoceno e Holoceno, os quais, sob uso e remoção atual, originam os areais. A análise da formação dos areais, interpretada por estudos geomorfológicos, associada à dinâmica hídrica e eólica, indica que os areais resultam, inicialmente, de processos hídricos.

A amostragem dos dados dendrométricos foi realizada em áreas reflorestadas com *Pinus elliottii* e *P. taeda* em sete fazendas, com características distintas em termos de níveis de degradação. Esses povoamentos florestais foram implantados em diferentes épocas, com espaçamento inicial variando de 3x2 m a 3x3 m, com o objetivo inicial de amenização do processo de degradação e recuperação de solos arenizados. Estas áreas foram estratificadas por espécie e níveis de degradação do solo com as seguintes classes: Alto – áreas arenizadas sem presença de vegetação; Médio – áreas arenizadas com presença de tuchos de vegetação; Baixo - áreas arenizadas com presença de vegetação esparsa, baseado na classificação mencionada pela *United Nations Convention to Combat Desertification* – UNCCD (1994).

Nestes povoamentos foram instaladas unidades amostrais permanentes de 20x20 m, sendo mensurados os diâmetros e as alturas de todas as árvores, bem como calculada a altura dominante para cada parcela. Também foi efetuada a caracterização da posição sociológica, segundo a classificação de Kraft (ASSMANN, 1970). No momento da coleta dos dados os povoamentos apresentavam idade entre 24 a 29 anos, sem intervenção de desbaste.

Para o estudo do crescimento em volume do *Pinus elliottii* e *P. taeda* nas unidades amostrais foram selecionadas árvores em seu estrato médio, representado pela árvore de diâmetro médio, as quais passaram por análise de tronco completa. Essas árvores amostradas pertenciam à classe sociológica intermediária, que representa a maior proporção de densidade do povoamento, e apresentavam suas copas medianamente desenvolvidas. Na área de estudo, foram derruba-

das 32 árvores médias distribuídas por espécie e níveis de degradação do solo, sendo respeitado o princípio da aleatoriedade. O nível de degradação alto foi amostrado, mas desconsiderado da análise estatística devido à baixa densidade de ocorrência de reflorestamentos nestas áreas.

Na coleta de dados foram utilizadas as normas para coleta de informações dendrométricas descritas por Schneider et al. (1988). As árvores amostradas foram seccionadas em toras no comprimento fixo e, de cada, foram extraídos discos na altura de 0,1 m, 1,3 m, 3,3 m e 5,3 m, e depois, de 2 em 2 metros, até o ápice da árvore. Estes discos possuíam cerca de 5 cm de espessura e foram secos em estufa e, posteriormente, preparados pelo lixamento, até a visualização integral de todos os anéis de crescimento. Em cada disco, foram tomadas medidas em quatro raios, sendo o primeiro num ângulo de 45° a partir do maior raio da fatia, e os demais, a 90° um do outro. Os anéis de crescimento foram identificados com auxílio de lupa, e suas espessuras, medidas com auxílio do Lintab II acoplada a um computador.

A identificação dos anéis de crescimento foi realizada de acordo com a orientação de Schweingruber (1996), que descreveu os problemas na identificação de anéis de crescimento anual em *Pinus*. Esse autor afirma que podem existir anéis muito tênues próximos à medula, de difícil identificação visual, e falsos anéis, causados por estresse, relacionando os fatores que influem na sua formação e algumas técnicas utilizadas para identificar anéis verdadeiros.

Para o estudo da evolução do crescimento do volume em função da idade, foram ajustados e testados os modelos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos de crescimento testados para as variáveis estudadas.

Table 1. Growth models tested for the studied variables.

Equação	Modelo	Autor
1	$\ln y = b_0 + b_1(1/x)$	Schumacher
2	$\ln y = b_0 + b_1 \ln x + b_2 \ln^2 x$	Backman
3	$\ln y = b_1 \ln x + b_2 \ln^2 x$	Backman modificada
4	$\ln y = x^2/(b_0 + b_1 x + b_2 x^2)$	Prodan
5	$y = b_0(1 - e^{(-b_1 x)})$	Richards

y = variável dependente volume; x = idade em anos; b_0 , b_1 , b_2 = parâmetros; e ln = logaritmo neperiano.

Fonte: Prodan et al. (1997); Schneider (1984); Loetsch et al. (1973); Richards (1959).

O método de análise de covariância foi utilizado para avaliar as diferenças de nível de cres-

cimento representado pelo intercepto e inclinação das curvas de crescimento em volume entre as árvores médias de *Pinus elliottii* e *P. taeda*. A hipótese de igualdade foi verificada através do teste F, para 1% de erro.

A análise de covariância utiliza, conjuntamente, os conceitos de análise de variância e regressão e relaciona duas ou mais variáveis medidas, chamadas de variáveis independentes, sobre as quais não se exerceu um controle exato (STEEL; TORRIE, 1960).

Para a realização dessa análise tomou-se por base o modelo de crescimento de Backman modificado, sendo introduzida variável *dummy*, indicadas por: *Pinus elliottii* (na presença) igual a 0 e pelo *Pinus taeda* (na ausência) igual a 1 e pelos níveis de degradação do solo média (na presença) igual a 0 e baixa (na ausência) igual a 1. O nível alto de degradação do solo não foi considerado devido a pouca expressividade dos reflorestamentos com estas espécies nesta condição de solo.

As regressões, análise de variância e covariância do crescimento foram realizadas pelos procedimentos *Nonlinear Model* - NLIN e *General Linear Model* - GLM, para análise de regressões e análise de variância, com o auxílio do pacote *Statistical Analysis System* (SAS, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento do volume em função da idade com dados agrupados de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*

As análises dos dados agrupados de *Pinus elliottii* e *P. taeda* de crescimento em volume por idade permitiram o ajuste dos modelos e a determinação da precisão estatística de cada equação testada. Foram determinados, para cada equação ajustada, os coeficientes e os parâmetros estatísticos, para posterior comparação da precisão e ajuste (Tabela 2).

Analisando os valores dessa tabela, nota-se que, em geral, as equações apresentaram valores de coeficiente de determinação ajustado entre 0,66 e 0,96 e coeficientes de variação entre -25,73 e 70,55%, variando com o modelo testado. Os valores de coeficiente de determinação discrepantes indicam que algumas equações têm maior capacidade de explicar a variação total do que outras, porém seu uso isolado pode gerar erros, já que a inclusão de uma única variável pode aumentar seu valor, favorecendo sua escolha.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos das equações ajustadas para estimar o crescimento em volume em função da idade de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

Table 2. Statistical parameters of the fitted equations to estimate volume growth as a function of age for *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

Eq.	Coeficientes			R ² Aj.	S _{yx}	CV%	F	Valor Escores
	b ₀	b ₁	b ₂					
1	-1,1576	-26,0294	-	0,66 (4)	0,5818 (3)	-20,85 (3)	418,96** (3)	(13)
2	-6,7270	0,68224	0,2342	0,72 (3)	0,5309 (1)	-19,03 (1)	273,01** (5)	(10)
3	-	-4,30408	1,1346	0,96 (1)	0,5611 (2)	-20,11 (2)	2828,29** (1)	(06)
4	-150,89	26,1802	-1,3317	0,92 (2)	4,5313 (5)	-25,73 (4)	1352,49** (2)	(13)
5	7,5011	0,00047	-	0,72 (3)	0,0611 (4)	70,55 (5)	296,91** (4)	(16)

R²Aj.= coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa; ** = significativo a 99,9% de probabilidade; CV%= coeficiente de variação em %; F= valor de F da análise de variância; e b₀, b₁, b₂ = coeficientes.

Ao analisar as equações através dos parâmetros estatísticos, destaca-se a equação de número 3, definida pelo modelo de Backman modificado, que apresentou o maior coeficiente de determinação ajustado, de 0,96, e coeficiente de variação de -20,11%. Para corroborar a escolha deste modelo, foi determinado o Valor dos Escores estatísticos de todas as equações ajustadas, confirmando a equação selecionada, por apresentar o menor valor, igual a 6 pontos, conforme mostrado na Tabela 2.

A equação de Backman modificada, com dados agrupados de ambas as espécies, apresentou também uma boa distribuição dos valores residuais por idade, mas com uma leve tendência de superestimar os volumes nas idades mais jovens. Essa equação, resultante do ajuste do volume (v) em metros cúbicos em função da idade (I) em anos, passou a ser expressa por:

$$\ln v = -4,30408 \cdot \ln I + 1,1346 \cdot \ln^2 I$$

Considerando-se a idade de rotação em 28 anos, o volume médio para essas espécies foi de 0,1748 m³, com um incremento médio anual de 0,0062 m³, o que pode ser considerado um valor razoável, compatível com as características físicas e químicas desses solos arenizados e degradados da fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul.

Análise de covariância do volume em função da idade para as espécies e níveis de degradação do solo

A análise de covariância foi formulada com base no modelo de Backman modificado, que relaciona o volume como uma função da idade, selecionado entre os modelos testados. Na Tabela 3, são apresentados os resultados estatísticos da análise de covariância para o crescimento em volume em função da idade para as espécies de *Pinus elliottii* e *P. taeda* em relação aos níveis de degradação do solo, categorizados em média e baixa degradação.

Observa-se que as espécies de *Pinus elliottii* e *P. taeda* apresentaram comportamento diferente para o crescimento em volume, com um valor de F igual a 72,54, significativo (Prob.<0,0001), indicando a existência de níveis diferenciados de crescimento em volume por idade. Da mesma forma, o nível de degradação do solo apresentou um valor de F igual a 123,91, significativo (Prob.<0,0001), indicando haver diferença na velocidade de crescimento em volume por idade das árvores, sendo influenciado direta e fortemente pelos níveis de degradação do solo.

Os resultados da análise de covariância do volume em função da idade, considerando as relações de espécie e o nível de degradação do solo, indicam claramente que a variável volume deve ser estimada por espécie, considerando a variação da capacidade produtiva do solo.

Tabela 3. Análise de covariância do crescimento em volume das espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* e nível de degradação do solo.

Table 3. Analysis of covariance for volume growth of *Pinus elliottii* and *Pinus taeda* and soil degradation level.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Espécie	1	30,1759	30,1759	72,54	<0,0001
Degradação	1	51,5453	51,5453	123,91	<0,0001
ln I	1	626,2880	626,2880	1505,53	<0,0001
ln ² I	1	15,3009	15,3009	36,78	<0,0001

FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F; Prob. > F = probabilidade de significância para o valor de F; ln = logaritmo natural; I = idade.

Consequentemente, deve-se tratar cada espécie isoladamente, sendo necessário considerar no modelo de crescimento em volume os níveis de degradação do solo.

Modelo de crescimento em volume em função da idade para as espécies e níveis de degradação do solo, com uso de variável *dummy*

Para estimar o volume em função da idade para as espécies de *Pinus elliottii* e *P. taeda* de forma individualizada, foi introduzida, no modelo de Backman modificado, uma variável *dummy da espécie* (*due*), que, na presença de *Pinus elliottii* é igual a 1 (*um*) e na ausência deste ou presença de *Pinus taeda* é igual a 0 (*zero*). Da mesma forma, definiu-se uma variável *dummy para o nível de degradação do solo* (*dud*), que, para um nível de degradação médio é igual a 0 e, baixo, igual a 1. A análise de variância, por soma de quadrados do Tipo I, encontra-se discriminada na Tabela 4.

Na Tabela 5, são apresentadas as estatísticas dos parâmetros do modelo de Backman modificado com inclusão da variável *dummy para as espécies* (*due*) de *Pinus elliottii* e *P. taeda* e variável *dummy para os níveis de degradação do solo* (*dud*). Observa-se que todos os parâmetros simples e com interação do modelo apresentaram um valor de F significativo, justi-

ficando a sua permanência no modelo original para estimativa do volume, simultaneamente, considerando estas duas espécies e o nível de degradação do solo.

Esse modelo de crescimento em volume (*v*), expresso pela equação de Backman modificada, é uma função da idade (*I*), com inclusão da variável *dummy* representando as espécies (*due*), que assume 0 (*zero*) na presença de *Pinus elliottii* e 1 (*um*) na presença de *Pinus taeda* e pelos níveis de degradação do solo (*dud*) definidos por média igual a 0 (*zero*) e baixa igual 1 (*um*). Tal modelo apresentou excelente ajuste, com coeficiente de determinação igual a 0,9829, baixo erro padrão da estimativa, igual a 0,3828, e significância alta, com valor de F igual a 1879,44. A equação definida apresentou uma boa distribuição dos valores residuais de diâmetro em relação à idade.

Assim, o modelo de volume geral em função da idade para as espécies de *Pinus elliottii* e *P. taeda* e níveis de degradação do solo médio e baixo ficou sendo representado por:

$$\ln v = -3,8388.\ln I + 0,9891.\ln^2 I - 1,0441.due + 0,2569 (\ln I.due) - 0,3396.dud + 0,2547.(\ln I.dud)$$

em que: *v* = volume médio em metros cúbicos;
I = idade em anos;
ln = logaritmo natural;

Tabela 4. Análise de variância do volume com inclusão de variável *dummy* para as espécies de *Pinus elliottii* e *P. taeda* e nível de degradação do solo.

Table 4. Analysis of variance of the volume with the inclusion of *dummy* variable for *Pinus elliottii* and *P. taeda* and soil degradation level.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
ln I	1	1327,3089	1327,3089	9054,66	<0,0001
ln ² I	1	309,4119	309,4119	2110,75	<0,0001
due (Espécie)	1	8,2833	8,2833	56,51	<0,0001
ln I*due	1	0,9297	0,9297	6,34	0,0126
dud (Degradação)	1	6,5023	6,5023	44,36	<0,0001
ln I*dud	1	0,5898	0,5898	4,02	0,0262

FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F; Prob. > F = probabilidade de significância para o valor de F; ln = logaritmo natural; I = idade; due = variável *dummy* para espécie; dud = variável *dummy* para nível de degradação do solo.

Tabela 5. Estatísticas dos parâmetros do modelo de crescimento em volume com inclusão da variável *dummy* para as espécies de *Pinus elliottii* e *P. taeda* e níveis de degradação do solo.

Table 5. Statistical parameters of volume growth model with inclusion of the *dummy* variable for *Pinus elliottii* and *P. taeda* and soil degradation level.

Parâmetro	Estimador	Erro padrão	Valor t	Prob. > t
ln I	-3,8588	0,1413	-27,31	<0,0001
ln ² I	0,9891	0,0465	21,26	<0,0001
due	-1,0441	0,3520	-2,97	0,0034
ln I*due	0,2569	0,1214	2,12	0,0357
dud	-0,3396	0,3661	-1,93	0,0554
ln I*dud	0,2547	0,1269	2,01	0,0392

t = valor de t; Prob. > t = probabilidade de significância para o valor de t; ln = logaritmo natural; I = idade.

due = dummy para as espécies: 0 (*Pinus elliottii*) e 1 (*Pinus taeda*);

dud = dummy para os níveis de degradação do solo: 0 (média degradação do solo) e 1 (baixa degradação do solo).

Os dados de crescimento em volume por idade, estimados para *Pinus elliottii* e *P. taeda*, estão representados na Figura 1. Observando as tendências do desenvolvimento do volume no tempo, percebe-se, claramente, que *Pinus elliottii* apresenta melhor desenvolvimento do que *Pinus taeda*, considerando os solos arenizados e os níveis de degradação, definidos por média e baixa degradação do solo. Isso era previsível, considerando a própria origem do *Pinus elliottii*, nativo nos Estados Unidos, em solos de planície com alta concentração de areia, como ocorre no presente estudo. Aliado a isso, deve-se considerar que ao *Pinus elliottii* é atribuída uma grande capacidade de deposição de serapilheira de decomposição um pouco mais acelerada do que a de *Pinus taeda*, o que favorece a ciclagem de nutrientes, beneficiando diretamente as plantas, especialmente em solos pobres.

Pode-se inferir, também, que os volumes por idade das árvores médias obtidos nestes solos degradados e arenizados, em termos quantitativos, são muito inferiores aos convencionalmente encontrados em outras regiões do Rio Grande do Sul, principalmente devido à disponibilidade de água desses solos, sendo o fator que mais determina o crescimento das árvores. Para Gonçalves et al. (1990), as propriedades físicas do solo têm se relacionado, com maior frequência, à capacidade produtiva dos sítios florestais do que as químicas, principalmente nos aspectos da capacidade de retenção e armazenamento de umidade do solo.

Da mesma forma, Garicoits (1990), analisando o crescimento de *Pinus* em solos derivados de três materiais de origem diferentes, verificou que as características dos materiais de origem afetaram as características físicas e químicas e, possivelmente, a disponibilidade de água dos solos, fazendo com que nos solos sobre arenito ocorram deficiências generalizadas de vários nutrientes, limitando o crescimento dos *Pinus* durante toda a rotação.

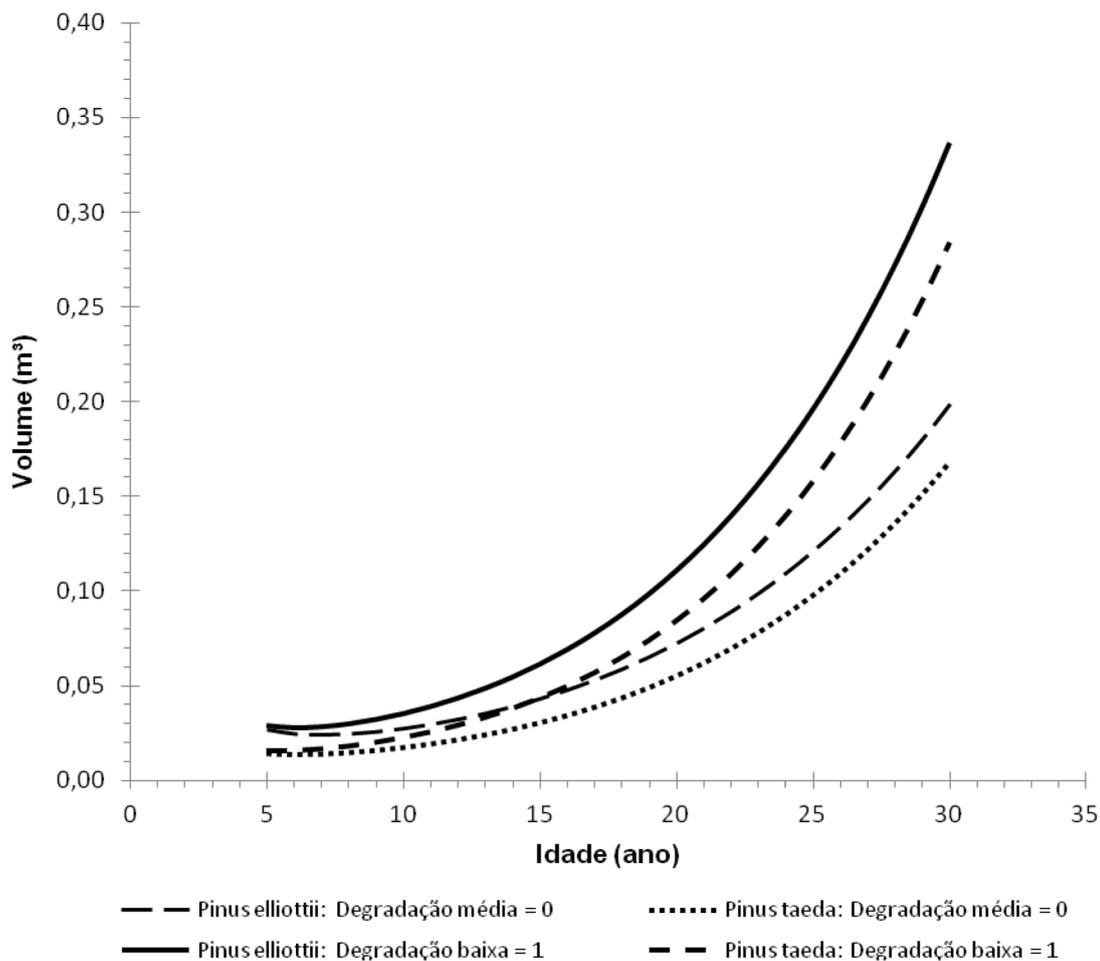


Figura 1. Comparação do crescimento em volume do *Pinus elliottii* versus *P. taeda* em níveis de degradação do solo (média=0; baixa=1) no oeste do estado do Rio Grande do Sul.

Figure 1. Comparison of volume growth of *Pinus elliottii* versus *P. taeda* in different levels of soil degradation (mean=0; low=1) in western Rio Grande do Sul state.

CONCLUSÕES

As equações de crescimento em volume em função da idade apresentaram excelente ajuste e elevada precisão estatística nas estimativas geradas. O crescimento em volume de *Pinus elliottii* e *P. taeda*, quando comparados, apresentou tendência diferente de desenvolvimento no tempo, tendo a primeira espécie apresentado melhor desempenho, com diferença de crescimento em volume por nível de degradação do solo. O uso de variável *dummy* no modelo de crescimento de Backman modificado permitiu definir uma equação única para estimar o volume médio em função da idade, para ambas as espécies e níveis de degradação do solo (média e baixa), simultaneamente, com identificação da tendência das curvas diferenciadas em nível de crescimento representado pelo intercepto e inclinação das curvas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; BAUERLE, W. L.; RYAN, M. G. Explaining growth of individual trees: light interception and efficiency of light use by *Eucalyptus* at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1704-1713, 2010.
- COSTA, A. C. L.; GALBRAITH, D.; ALMEIDA, S.; PORTELA, B. T. T.; COSTA, M.; SILVA JR., J. A.; BRAGA, A. P.; GONÇALVES, P. H. L.; OLIVEIRA, A. R.; FISHER, R.; PHILLIPS, O. L.; METCALFE, D. B.; LEVY, P.; MEIR, P. Effect of 7 yr of experimental drought on vegetation dynamics and biomass storage of an eastern Amazonian rainforest. **New Phytologist**, Cambridge, v. 187, n. 3, p. 579-591, 2010.
- EMATER/UFRGS. **Classificação dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2001. s.p.
- GARICOITS, L. S. L. **Estado Nutricional e Fatores do Solo Limitantes do Crescimento de *P. taeda* L. em Telêmaco Borba (PR)**. 1990. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.
- GONÇALVES, J. L. M.; DEMATTÊ, J. L. I.; COUTO, H. T. Z. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n. 43-44, p. 24-39, 1990.
- HANNAH, A. Y.; HARLAN, P. W.; LEWIS, D. T. Soil available water as influenced by landscape position and aspect. **Agronomy Journal**, Wisconsin, v. 74, n. 6, p. 999-1004, 1982.
- KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; MATSUKUMA, C. K.; KANASHIRO, M. M.; YWANE, M. S. S.; PAVÃO, M.; DURIGAN, G.; LIMA, L. M. P. R.; GUILLAUMON, J. R.; BAITELLO, J. B.; BORGIO, S. C.; MANETTI, L. A.; BARRADAS, A. M. E.; FUKUDA, J. C.; SHIDA, C. N.; MONTEIRO, C. H. B.; PONTINHA, A. A. S.; ANDRADE, G. G.; BARBOSA, O.; SOARES, A. P.; JOLY, C. A.; COUTO, H. T. Z. **Inventário florestal da vegetação natural do estado de São Paulo**. São Paulo: Imprensa Oficial, 2005. 200 p.
- LOETSCH, F.; ZORHER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Berlim: BLV, 1973. 2 v.
- LU, D., MORAN, E.; MAUSEL, P. Linking amazonian secondary succession forest growth to soil properties. **Land Degradation & Development**, v. 13, n. 4, p. 331-343, 2002.
- MALHI, Y.; BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; ALMEIDA, S.; ALVAREZ, E.; ARROYO, L.; CHAVE, J.; CZIMCZIK, C. I.; DI FIORE, A.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTOYA, L. M. M.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; NÚÑEZ VARGAS, P.; PATIÑO, S.; PITMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMÃO, R.; SILVA, J. N. M.; LEZAMA, A. T.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; TERBORGH, J.; VINCENTI, B.; LLOYD, J. The above-ground coarse wood productivity of 104 neotropical forest plots. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 563-591. 2004.
- MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of tropical dry forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 17, p. 67-88, 1986.
- NATH, D. C.; DATTARAJA, H. S.; SURESH, H. S.; JOSHI, N. V.; SUKUMAR, R. Patterns of tree growth in relation to environmental variability in the tropical dry deciduous forest at Mudumalai, southern India. **Journal of Biosciences**, Bangalore, v. 31, n. 5, p. 651-669, 2006.
- NIMER, E. Clima. In: **IBGE Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p. 51-187.
- ONU CONVENÇÃO DA ONU DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO. Nairóbi, Quênia, 17 a 28, outubro, 2005. n.p.

- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F. **Mensura Forestal**. San José: IICA/Investigación y educación en desarrollo sostenible, 1997. v.1, 586 p.
- REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 135-166, 2005.
- RIBASKI, J.; DEDECEK, R. A.; MATTEI, V. L.; FLORES, C. A.; VARGAS, A. F. C.; RIBASKI, S. A. **Sistemas silvipastoris: estratégias para o desenvolvimento rural sustentável para a metade sul do Estado do Rio Grande do Sul**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 2005. 8 p. (EMBRAPA-CNPQ. Comunicado Técnico, n.150).
- RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 10, n. 2, p. 290-301, 1959.
- RUSO, S. E.; DAVIES, S. J.; KING, D. A.; TAN, S. Soil-related performance variation and distributions of tree species in a Bornean rain forest. **Journal of Ecology**, London, v. 93, n. 5, p. 879-889, 2005.
- SAS Institute Inc. **Sas/Stat user's guide: statistics**, Version 9.1. 3. ed. Cary, 2004. 1037 p.
- SCHNEIDER, P. R. **Betriebswirtschaftliche und ertragskundliche Grundlagen der Forsteinrichtung in Sudbrasilien am Beispiel von Pinus elliottii**. 1984. 190 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade de Freiburg, Freiburg, 1984.
- SCHNEIDER, P. R.; BRENA, D. A.; FINGER, C. A. G. **Manual para coleta de informações dendrométricas**. Santa Maria: UFSM/CEPER/FATEC, 1988, 28 p.
- SCHWEINGRUBER, F. H. **Tree rings and environment dendroecology**. Viena: Haupt, 1996. 609 p.
- SOUTO, J. J. **Deserto, uma ameaça?** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1984. 169 p.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics**. New York: McGraw, 1960, 481 p.
- SUERTEGARAY, D. M. A. O Rio Grande do Sul descobre os seus “desertos”. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 11, p. 33-55, 1995.
- SUERTEGARAY, D. M. A. Erosão nos campos sulinos: arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 61-74, 2011.
- UNCCD - United Nations Convention to Combat Desertification **Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa Document A/AC. 241/27**, 12.09.94 with Annexes, United Nations: New York. 1994.

Recebido em 06/08/2013

Aceito para publicação em 10/03/2014

