

ANÁLISE DA MORTALIDADE DE *Acacia mearnsii* De Wild.ANALYSIS OF THE MORTALITY OF THE *Acacia mearnsii* De Wild.Paulo Renato Schneider¹ Fabiano de Oliveira Fortes² Luis Henrique da Silva Souza²
Alessandro Dal'Col Lúcio³ César Augusto Guimarães Finger⁴ Paulo Sérgio Pigatto Schneider⁵**RESUMO**

A mortalidade de povoamentos de *Acacia mearnsii* De Wild. foi estudada tomando por base parcelas permanentes estratificadas em diferentes espaçamentos e sítios. Os resultados permitiram concluir que a probabilidade de mortalidade (PM) pode ser estimada por meio de uma função probabilística em relação ao inverso do diâmetro à altura do peito (d) e da idade (t): $PM = \{1 + \text{EXP}(-9,5593 \cdot d^{-1} + 104,9543 \cdot t^{-1})\}^{-1}$. Mediante a correlação de Pearson, verificou-se uma alta associação entre a taxa de mortalidade com a idade, diâmetro médio, altura média, altura dominante, área basal, volume e espaço vital. Constatou-se que a mortalidade está diretamente relacionada com a idade, qualidade do sítio e espaço vital em determinada fase de crescimento das árvores no povoamento.

Palavras-chave: espaçamento; função de probabilidade; acácia-negra.

ABSTRACT

The mortality probability of the *Acacia mearnsii* De Wild. stands was studied in permanent sample stratified at different spacings and site. The results allowed to conclude that the mortality can be estimated with a probabilistic function in relation with the inverse of the diameter at breast height (d) and age (t): $PM = \{1 + \text{EXP}(-9,5593 \cdot d^{-1} + 104,9543 \cdot t^{-1})\}^{-1}$. By the Pearson correlation of the mortality rate it was verified a high association with age, average diameter, average height, dominant height, basal area, volume and vital spacing. It was verified that the mortality is directly related to age, site quality and vital spacing in some periods of growth of the trees in the stand.

Key words: spacing; probability function; black wattle.

INTRODUÇÃO

A *Acacia mearnsii* De Wild., vulgarmente conhecida por acácia-negra, é natural da Austrália e caracteriza-se por ser uma árvore de folhagem verde-escura. Atinge altura de 10 a 30 metros de altura e cresce bem em solos suficientemente profundos (Sherry, 1971).

No Rio Grande do Sul, sua introdução deve-se a Alexandre Bleckmann, em 1918, mas somente 10 anos após, Júlio C. Lohmann realizava os primeiros plantios com objetivos comerciais, no município de Estrela (Oliveira, 1960 e 1968).

Atualmente, a acacicultura é uma sólida atividade econômica que tem trazido consideráveis benefícios e prosperidade para a população de vários municípios. Atingiu uma área plantada de, aproximadamente, 100.000 ha, envolvendo cerca de 10 mil pequenos produtores rurais (Higa e Dedecek, 1999).

A mortalidade de árvores *Acacia mearnsii* em povoamentos comerciais é de difícil controle, pois pode ocorrer de forma regular e irregular. A mortalidade irregular provavelmente está ligada a fatores exógenos, como incêndio, pragas, vento e danos mecânicos causados pelo homem ou animais (Lee, 1971). A

1. 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). Pesquisador do CNPq. paulors@smail.ufsm.br
2. Engenheiro Florestal, Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS).
3. Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS).
4. 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). Pesquisador do CNPq. finger@ccr.ufsm.br
5. Engenheiro Florestal, Alameda Sibipiruna 420, CEP 97065-600, Santa Maria (RS). Bolsista do CNPq.

Recebido para publicação em 11/11/2003 e aceito em 19/04/2005.

mortalidade regular é definida como morte casual, ligada a fatores endógenos definidos pelo espaço e tempo, podendo manifestar-se a partir do plantio, em consequência de mudas menos vigorosas (Burkhart, 1974).

A partir do estabelecimento do plantio, o efeito da competição e a taxa de mortalidade são mínimos. Porém, com o crescimento das árvores, aumenta a competição e a taxa de mortalidade até atingir seu valor máximo, em que diminui o incremento das árvores (Rennols e Peace, 1986).

Sherry (1966) afirma que a mortalidade de *Acacia mearnsii* ocorre durante a vida do povoamento em decorrência da densidade populacional, diferenças de sítio e grandeza da rotação. Em povoamentos manejados com rotação longa, a mortalidade foi menor em densidades de 1483 árvores/ha e se mostrou mais ou menos regular nas densidades acima e abaixo deste valor.

Para Avery e Burkhart (1994) e Sanqueta (1996), a mortalidade é um componente importante em modelos de simulação da produção florestal, tanto em florestas naturais como artificiais. Em alguns modelos para florestas bem-manejadas, é considerada desprezível a mortalidade causada por fatores naturais. Entretanto, na maioria dos casos isto é irreal, pois a mortalidade pode ser desconsiderada somente no caso de florestas manejadas em rotações muito curtas, em excelentes condições ambientais e subestocadas.

Segundo Hamilton (1986), a mortalidade constitui-se num dos componentes menos compreendidos na estimativa do crescimento e rendimento. Em geral, os modelos de crescimento ignoram quase-universalmente o estado genético da árvore (Monserud e Rehfeldt, 1990), bem como os fatores ambientais importantes como as extremas climáticas (vento, seca, geada), insetos, e doenças. Outro fator é a competição ambiental que surge das árvores vizinhas, como também das características das árvores e local (Buchman *et al.*, 1983).

A mortalidade poderia ser considerada menos estocástica se as variáveis ambientais pertinentes fossem normalmente medidas em parcelas permanentes e se pudessem caracterizar os estados genéticos das árvores. Hamilton (1974) informa que a mortalidade de árvores é um evento discreto, porque os dados podem ser tão somente identificados com valor 0 (vivas) e 1 (mortas), podendo sua probabilidade de ocorrência ser ajustada pela equação logística, definida por:

$$P = (1 + \exp^{b'x})^{-1}$$

Em que: $b'x$ = combinação linear de parâmetros b ; X = variável independente.

Considerando todos os efeitos, a hipótese de modelo de mortalidade tem a forma geral para qualquer espécie, tendo sido definido por Monserud e Sterba (1998):

$$P = \{1 + \exp (b_0 + b_1/d + b_2.CR + b_3.G + b_4.d + b_5.d^2)\}^{-1}$$

Em que: P = probabilidade de mortalidade; d = diâmetro à altura do peito (cm); CR = proporção de copa; G = área basal ($m^2 ha^{-1}$); b_0 a b_5 = parâmetros a serem estimados.

Foi estabelecido como objetivos do presente trabalho: modelar uma equação de probabilidade em função de variáveis dendrométricas de fácil medição; verificar a influência do espaçamento inicial, e da qualidade do sítio sobre a mortalidade.

MATERIAL E MÉTODO

Os dados utilizados no presente trabalho foram originados de povoamentos localizados entre os paralelos de 29° 33' e 30° 40' de latitude sul e os meridianos 51° e 52° de longitude oeste. O relevo da região é variado, ocorrendo áreas planas à fortemente inclinadas.

A altitude, em relação ao nível do mar, varia entre 29 m no município de Taquara a 850 m no município de Canela. Os povoamentos de *Acacia mearnsii* distribuem-se sobre as unidades geomorfológicas Serra Geral, Patamares da Serra Geral, Depressão do Rio Jacuí, Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul e Planalto Rebaixado Marginal.

A unidade geomorfológica Serra Geral salienta-se por expressiva parcela de terras da capacidade de uso da subclasse Silvater, com uso modal para silvicultura e preservação ambiental. Na unidade Patamares da Serra Geral, predominam as subclasses por relevo Masater, Agroster e Agriter, apresentando solos de alta fertilidade como a terra roxa estruturada eutrófica com podzólicos álicos. A unidade Depressão do Rio Jacuí

apresenta relevos sem grandes variações, com paisagem denominada de coxilhas. Os solos podzólicos, brunizen e planossolos são profundos. Nas unidades geomorfológicas Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul e Planalto Rebaixado Marginal ocorrem solos podzólicos, planossolos e litólicos distróficos (Lemos *et al.*, 1973).

O clima da região de plantio da acácia-negra varia de superúmido a úmido, especificamente nos municípios de Canela e Gramado é superúmido e na quase-totalidade da área restante é úmido. Ocorrendo, ainda, áreas pequenas com clima úmido a subúmido. Na região, não ocorre déficit hídrico, mas foram registrados excedentes de até 870 mm de precipitação nas regiões mais altas. As chuvas distribuem-se uniformemente durante o ano todo. A precipitação média anual varia de 1.395 mm no município de Taquara a 1.977 mm no município de Gramado. A temperatura média anual varia de 15,3°C, no município de Canela, a 19,9°C, no município de Taquara. As geadas são freqüentes nos meses mais frios, aumentando o número de ocorrência com a altitude, variando de 3 a 21 ocorrências anuais (Moreno, 1961).

Os dados dendrométricos foram obtidos em 120 parcelas permanentes, com dimensão de 20 x 30 metros, distribuídas aleatoriamente sobre toda a região de ocorrência de povoamentos de *Acacia mearnsii*. As parcelas permanentes foram instaladas nos espaçamentos de 1 x 1; 2 x 1; 3 x 1; 3 x 1,33; 2,5 x 2; e 3 x 2 m. Anualmente foi medido o diâmetro à altura do peito com auxílio de uma suta e a altura total com a utilização de hipsômetro do Blume-Leiss. A altura dominante utilizada foi obtida segundo a definição de Assmann (1961).

A análise estatística constituiu-se da determinação da correlação de Pearson entre a mortalidade e as variáveis idades, diâmetro, altura média, altura dominante, área basal e espaço vital. Na seqüência foi realizada a modelagem da probabilidade de mortalidade, obtida pela razão entre a mortalidade existente sobre a densidade inicial, em função das variáveis dendrométricas correlacionadas, definidas na forma simples, quadrática, cúbica e combinação de variáveis.

A probabilidade de mortalidade das árvores individuais foi determinada pela equação definida por Hamilton (1974):

$$P = (1 + \exp^{b'x})^{-1}$$

E, a modelagem da probabilidade da mortalidade foi efetuada com base na proposta inicial definida para as florestas da Áustria por Monserud e Sterba (1998):

$$P = \{1 + \exp (b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_i X_i)\}^{-1}$$

Em que: $b'x$ = combinação linear de parâmetros b ; X = viável independente; P = probabilidade de mortalidade; X_i = variáveis independentes, definidas pela idade em meses, diâmetro, altura média, altura dominante, área basal e espaço vital; b_i os parâmetros a serem estimados.

O processamento das equações foi realizado no pacote estatístico SAS (1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da correlação de Pearson entre a taxa de mortalidade com as variáveis independente: idade, diâmetro médio, altura média, altura dominante, área basal por hectare, relação h/d e espaço vital, encontram-se discriminados na Tabela 1.

Os resultados da Tabela 1 indicam que a probabilidade de mortalidade das árvores de povoamentos de *Acacia mearnsii* é altamente correlacionada com idade, diâmetro médio, altura média, altura dominante, área basal por hectare, espaçamento inicial e volume por hectare, com uma probabilidade de significância > R de 0,0001.

Esses resultados de correlação indicam que a probabilidade de mortalidade de árvores dessa espécie está diretamente relacionada com a idade, indicando que, para rotações mais longas a tendência é de aumento da mortalidade no povoamento. Esses resultados também foi constatados no estudo realizado por Sherry (1966).

TABELA 1: Correlação de Pearson entre a mortalidade e as variáveis independentes consideradas no estudo.
TABLE 1: Pearson correlation between the mortality and the related independent variables in the study.

Variáveis	Correlação de Pearson	Probabilidade > R
Idade	0,7472	0,0001 **
Diâmetro médio	0,4873	0,0001 **
Altura média	0,6183	0,0001 **
Altura dominante	0,7221	0,0001 **
Área basal por hectare	0,6799	0,0001 **
Espaçamento inicial	-0,4080	0,0001 **
Volume por hectare	0,7252	0,0001 **
Relação h/d	0,1819	0,0063 **
Espaço vital	0,1819	0,0050 **

Em que: R = coeficiente de correlação de Pearson; ** = significância a 99,95 % de probabilidade de confiança.

Também, a mortalidade correlaciona-se positivamente com o crescimento em diâmetro médio, altura média, altura dominante, área basal, relação altura média sobre o diâmetro à altura do peito (h/d), espaço vital e volume, indicando que a medida que essas variáveis crescem aumenta a mortalidade, em decorrência da maior de competição por luz, água e nutrientes entre as árvores do povoamento. Por outro lado, observou-se uma correlação negativa da mortalidade em função do aumento do espaçamento inicial de plantio, indicando que quanto maior for o espaçamento, menor é a taxa mortalidade ou vice-versa, por causa da menor competição entre as árvores no povoamento.

Na Tabela 2, é apresentado o resumo da estatística da modelagem da probabilidade de mortalidade de árvores em povoamentos de *Acacia mearnsii*, realizada pelo procedimento de regressão stepwise, dos dados dendrométricos de 120 parcelas permanentes, estratificadas por espaçamento inicial e sítio.

TABELA 2: Estatística da modelagem da função de probabilidade de mortalidade.
TABLE 2: Statistics of the model of the function of mortality probability.

Passo	Variável	Parâmetros Bj	Syx Bj	F	Prob.>F
1	1/t	1749,179	72,561	581,0	0,0001 **
2	1/t	27,9291	6,308	19,6	0,0001 **
	1/t ³	942,8712	195,014	23,4	0,0001 **
3	1/d	-14,2195	2,264	39,4	0,0001 **
	1/t	130,087	17,281	56,7	0,0001 **
	1/t ³	-180,815	253,786	0,51	0,4769 ns
4	1/d	-9,55929	2,277	17,6	0,0001 **
	1/t	104,9543	10,283	104,2	0,0001 **

Em que: d = diâmetro à altura do peito em cm; t = idade em meses; Bj = parâmetros; Syx Bj = erro associado aos parâmetros Bj; F = valor de F calculado; Prob. > F = probabilidade maior que o valor de F; ns = não-significativo; ** = significativo a 99,99 % de probabilidade de confiança.

O resultado da modelagem da probabilidade de mortalidade em função de variáveis dendrométricas, selecionadas pela correlação de Pearson, foi obtido no 4º passo da análise de regressão stepwise. Na modelagem foram selecionadas as variáveis independentes expressas pelo inverso do diâmetro à altura do peito (1/d), com um valor de F de 17,6, e a idade (1/t) com um valor de F de 104,2, ambas altamente significativas. Essas duas variáveis independentes foram suficientes para estimar a probabilidade de mortalidade da espécie estudada. O modelo apresentou um coeficiente de determinação de 0,78, erro-padrão da estimativa de 0,6601 e alta significância, com valor de F de 273,1, sendo expresso por:

$$P = \{1 + \exp(-9,55929 \cdot d^{-1} + 104,9543 \cdot t^{-1})\}^{-1}$$

Em que: PM = probabilidade de mortalidade; d = diâmetro à altura do peito em cm; t = idade em meses.

A distribuição dos resíduos da função da probabilidade de mortalidade, conforme mostra a Figura 1, não apresentou tendências, indicando que o modelo tem boa precisão.

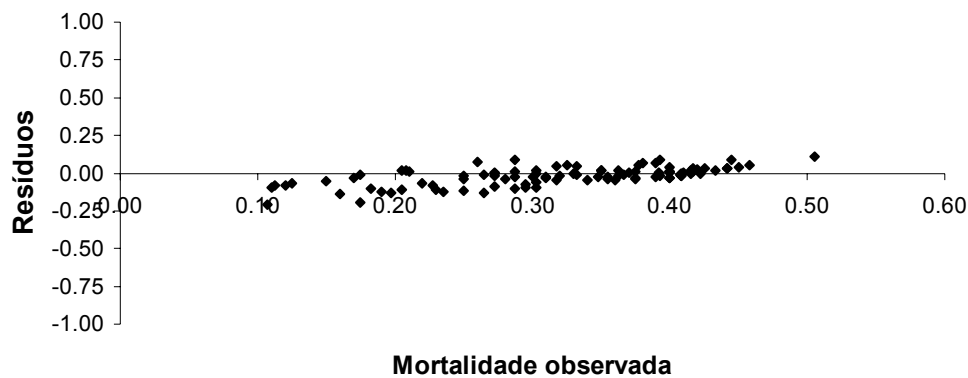


FIGURA 1: Distribuição dos resíduos absolutos de probabilidade de mortalidade.
 FIGURE 1: Distribution of the absolute residues of mortality probability.

Com a equação de probabilidade de mortalidade definida, informações de índice de sítio, idade e espaçamento inicial determinadas por Schneider *et al.* (2000), foram estimados os valores de probabilidade de mortalidade representados nas Figuras 2 a 4. Observa-se, para os índices de sítio 12, 16 e 20, que a probabilidade de mortalidade manifesta-se quantitativamente de forma diferente em função da idade e espaçamento vital, porém com a mesma tendência.

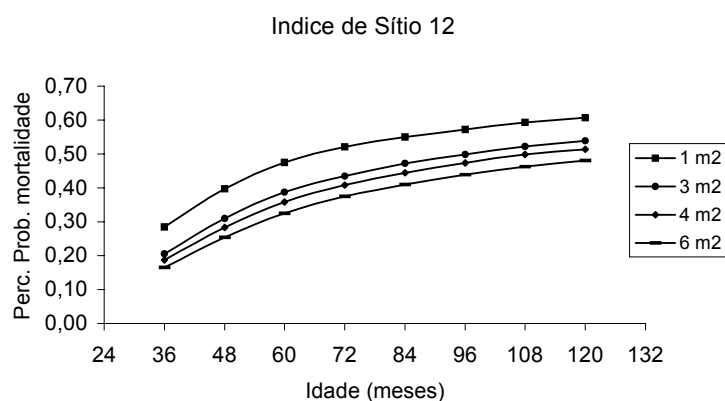


FIGURA 2: Probabilidade de mortalidade em função da idade e índice de sítio 12 por espaçamento inicial .
 FIGURE 2: Mortality probability as a function of the age and site index 12 for initial spacing.

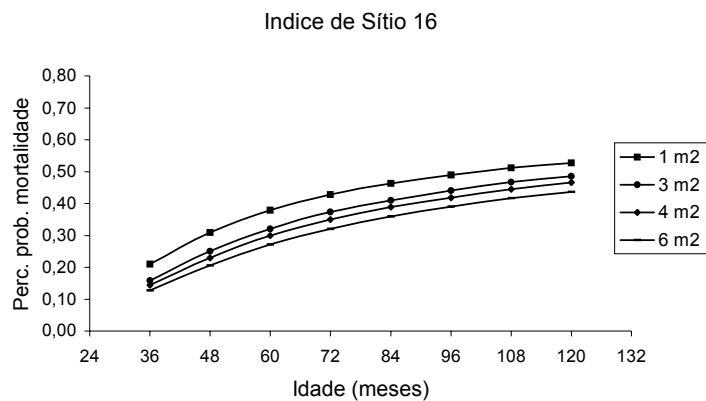


FIGURA 3: Probabilidade de mortalidade em função da idade e índice de sítio 16 por espaçamento inicial.
 FIGURE 3: Mortality probability as a function of the age and site index 16 for initial spacing.

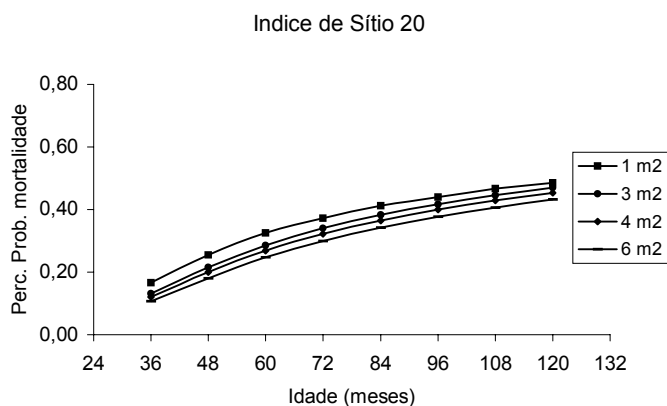


FIGURA 4: Probabilidade de mortalidade em função da idade e índice de sítio 20 por espaçamento inicial.
 FIGURE 4: Mortality probability as a function of the age and site index 20 for initial spacing.

Na comparação entre as curvas de probabilidade de mortalidade, observa-se que em sítios ruins ocorre uma tendência de maior aumento da mortalidade quando comparada com a de sítios de alta capacidade de produtiva. Também, verifica-se que a mortalidade se manifesta a uma taxa maior em espaçamentos mais reduzidos do que nos amplos, como se pode observar nos espaços vitais de 1 m² a 6 m². Essas tendências eram previsíveis, pois à medida que as árvores crescem necessitam de maior espaço vital, para suprimento de suas funções fisiológicas, por isso, no povoamento vai se manifestando uma severa competição por luz, água e nutrientes entre as árvores, sobrevivendo aquelas que apresentam maior vigor de crescimento.

Na validação do modelo de probabilidade, realizado com dados dendrométricos independentes, foi encontrado um erro-padrão da estimativa de 12,34 e coeficiente de correlação de 0,72. Observou-se também que, nos espaçamentos de 3 e 4 m², com 3.333 e 2.500 árvores/ha respectivamente, ocorreram os menores resíduos pela equação estimada.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicaram uma correlação de Pearson significativa entre a taxa de mortalidade e as variáveis idades, diâmetro médio à altura do peito, altura média, altura dominante, área basal por hectare, espaçamento inicial e volume por hectare.

A taxa de mortalidade está diretamente relacionada à idade, associada à qualidade do sítio e espaço vital em determinada fase de crescimento das árvores do povoamento.

A probabilidade de mortalidade em povoamentos de *Acacia mearnsii* pode ser estimada com boa

precisão em função do diâmetro à altura do peito (d) e da idade (t), por meio do modelo:

$P = \{1 + \text{EXP}(-9,55929 \cdot d^{-1} + 104,9543 \cdot t^{-1})\}^{-1}$, com um coeficiente de determinação de 0,78 e um erro-padrão da estimativa de 0,6601.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSMANN, E. **Waldetragskunde**. Muenchen: BLV Verlagsgesellschaft, 1961. 435p.
- AVERY, T.E.; BURKHART, H.E. **Forest measurements**. 4.ed. Boston: McGraw-Hill, 1994. 400p.
- BUCHMAN, R. G.; PEDERSON, S. P.; WALTERS, N.R. A tree survival model with application to species of the Great Lakes region. **Can. Jor. For. Res.**, v.13, p.601-608, 1983.
- BURKHART, H. E. **Estimating growth and mortality**. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1974. 15p.
- HAMILTON, D. A. A logistic model of mortality in thinned and unthinned mixed conifer stands of northern Idaho. **For. Sci.**, v.32, p.989-1000. 1986.
- HAMILTON, D. A. **Event probabilities estimated by regression**. USDA For. Serv. Intermt. Res. Stn. Res. Pap. INT-152. 1974. 18p.
- HIGA, R.C.V.; DEDECEK, R. A. **Acácia-negra**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1999. 2p (Instrução Técnica,5).
- LEE, Y. L. Predicting mortality for even-aged stands of lodgepole pine. **The Forestry chronicle**, Ottawa, v. 47, n.1 p.29-32, 1971.
- LEMOES, R. C. *et al.* **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife: Ministério da Agricultura, Departamento de Pesquisas Agropecuárias, Divisão de Pesquisas Pedológicas, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).
- MONSERUD, R. A.; REHFELDT, G. E. Genetic and environmental components of variation of site index in inland Douglas-fir. **For. Sci.**, v.36, n.1, p.1-9, 1990.
- MONSERUD, R. A.; STERBA, H. Modeling individual tree mortality for Austrian forest species. **Forest Ecology and Management**, v.113, p.109-123, 1998.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 34p.
- OLIVEIRA, H. A. **Acácia-negra e tanino no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Tipografia Mercantil, 1960. v.1.
- _____. **Acácia-negra e tanino no Rio Grande do Sul**. Canoas: La Salle, 1968. v.2
- RENNOLS, K.; PEACE, A. Flow models of mortality and yield for unthinned forest stands. **Forestry**, Oxford, v.1, p-47-58, 1986.
- SANQUETTA, C. R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba: Ed. UFPR, 1996. 49 p.
- SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.S.P.; FLEIG, F.D. **Subsídios para o manejo da acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild**. Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 2000. 71p.
- SHERRY, S. P. **The Black Wattle (*Acacia mearnsii*)**. Pietermorizburg: University of Natal Press, 1971. 402p.
- _____. The effect of stands density and site upon the yield and profitability of wattle plantations. **Rep. Wattle Res. Inst.**, p.39-45, 1966.
- SAS. STATISTICAL analysis system. North Carolina: Institute Inc., 1996. (versão 6.0).