

INVESTIGAÇÃO RETROSPECTIVA DO CRESCIMENTO VOLUMÉTRICO DE PAU-FERRO (*Astronium balansae*)

RETROSPECTIVE VOLUME GROWTH OF PAU-FERRO (*Astronium balansae*)

César Augusto Guimarães Finger¹ Paulo Renato Schneider²
Rute Berger³ Jackson Roberto Eleotério⁴

RESUMO

O crescimento em volume de árvores de pau-ferro (*Astronium balansae*) de uma floresta nativa e de um reflorestamento com doze anos de idade foi estudado pela técnica de análise de tronco. O exame das fatias transversais permitiu somente quantificar o crescimento das árvores oriundas de reflorestamento, por causa da inexistência de cerne nas secções transversais. Os dados de crescimento foram modelados por meio do procedimento "Stepwise" de regressão, fornecendo equações de alta precisão e ajuste para descrever o crescimento e incremento médio e corrente anual para uma árvore do estrato dominante e outra do estrato dominado. No período observado, não foi possível identificar o ponto de máximo incremento em razão da pouca idade das árvores.

Palavras-chave: volume, crescimento, modelagem, equações.

ABSTRACT

Volume growth of pau-ferro trees (*Astronium balansae*) of a native forest and a twelve-years old plantation was studied using stem analysis technique. Analysis of cross-sectional discs allowed only to quantify the growth of the plantation trees because it was not possible to identify the tree rings in the native forest cross-sections. Growth data was modeled with a stepwise regression procedure which resulted in equations of high precision and good fit to describe the mean and current annual increment of a tree from the dominant and another from the dominated stratum. It was not possible to detect the point of maximum increment because of the little age of the trees.

Key words: volume, growth, modeling, equations.

INTRODUÇÃO

O pau-ferro ou urunday, *Astronium balansae* Engler, pertence à família Anacardiaceae e é uma espécie de particular importância regional no Rio Grande do Sul. Sua madeira tem uso generalizado, particularmente em postes, vigas, mourões e estruturas afins. Apresenta alta resistência natural ao apodrecimento, elevada dureza e alta resistência à flexão e ao choque. Possui poder calorífico superior a 4500 cal/g (Schultz, 1953; Beltrão *et al.*, 1984; Reitz *et al.*, 1988).

A espécie ocorre naturalmente na região da Campanha do Rio Grande do Sul, sobretudo ao longo do Vale do rio Ibicuí, em locais com afloramentos rochosos associados a solos mais evoluídos. Nesse habitat pedregoso, formam maciços com até 85% do volume comercial com casca da floresta (Longhi, 1987). Em sua distribuição geográfica alcança ainda o norte da Argentina e sul do Paraguai.

Seu crescimento é classificado como rápido, com diâmetro médio de 15 cm em 23 anos (Schultz, 1953).

As árvores são caracterizadas como decíduais, de porte mediano, comumente alcançando 10 a 15 metros de altura e 20 a 40 centímetros de diâmetro; geralmente apresentam tronco um pouco tortuoso e

1. 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@ccr.ufsm.br
2. 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@ccr.ufsm.br
3. Engenheira Florestal, M.Sc., Técnica da Empresa Klabin-Riocell S.A., Rua São Geraldo, 1680, CEP 92500-000, Guaíba (RS).
4. Engenheiro Florestal, M.Sc., Professor do Departamento de Engenharia Florestal, Fundação Universidade de Blumenau, CEP 89012-900, Blumenau (SC). jreleote@furb.br

Recebido para publicação em 14/12/2001 e aceito em 11/11/2002.

casca densamente cortiçosa, estriada no corte transversal (Schultz, 1953; Reitz *et al.*, 1988). Entretanto, o crescimento da espécie com o aumento da idade ainda não foi avaliado, sendo essa uma importante informação para a silvicultura e o manejo, pois fornece informações sobre o potencial de crescimento em diâmetro, altura e volume das árvores, permitindo quantificar e prognosticar o tempo necessário para que a árvore alcance uma determinada dimensão, bem como avaliar economicamente o investimento realizado no cultivo/manejo da floresta. Para conhecer tais características é necessário acompanhar, com medições periódicas, todo o ciclo de vida da floresta, implicando em um longo período de observações e na maior demanda de recursos.

Uma alternativa tem sido a aplicação, quando possível, da análise de tronco, por ser uma solução rápida, eficaz e precisa, que permite conhecer as dimensões alcançadas pela árvore em épocas passadas pelo exame e medição dos anéis anuais de crescimento tomados em diversas posições ao longo do tronco da árvore.

Assim procurou-se, com emprego da análise de tronco, quantificar o desenvolvimento de *Astronium balansae*, descrevendo o crescimento e os incrementos corrente e médio em volume.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com fatias transversais retiradas de dez árvores regeneradas espontaneamente na região de ocorrência natural, abatidas no interior da floresta. Também foram amostradas duas árvores pertencentes a dois estratos arbóreos (um no dominante e um no dominado) de um povoamento homogêneo, implantado no Município de São Sepé – RS, e que apresentava 12 anos de idade.

As árvores foram abatidas e delas retiradas fatias, com espessura de, aproximadamente, 4 cm ao longo do tronco nas posições de 0,10; 1,30; e a cada metro até a ponta, obtendo-se também a altura total individual.

As fatias foram secas em estufa, aplainadas e lixadas para facilitar a visualização dos anéis. A seguir, procedeu-se à medição dos anéis sobre quatro raios partindo-se da medula até a casca. O primeiro raio foi traçado coincidindo com o maior diâmetro da fatia e os demais no sentido horário em relação a este, sempre mantendo a perpendicularidade entre eles. Os raios foram medidos com precisão de milímetro e anotados em formulário próprio apresentado por Finger (1992).

Dessa forma, cada anel de crescimento foi medido quatro vezes e o valor médio deste forneceu o raio e o diâmetro da árvore em cada idade e em cada posição em que foram cortadas as fatias.

Providos dos valores de diâmetro em cada idade em diferentes alturas, construiu-se o perfil longitudinal de cada árvore obtendo-se a altura em cada idade, além de visualizar os diâmetros e distribuição dos anéis. O traçado do perfil da árvore foi desenhado em um eixo de coordenadas, mantendo-se no eixo “y” a altura da árvore e no eixo “x”, os diâmetros. Com base nos valores obtidos foi calculado para cada árvore e idade, o volume pelo Método de Smalian, e os incrementos correntes anuais (ICA) e incrementos médios anuais (IMA) em volume, com o emprego das expressões:

$$ICA = Y_t - Y_{t-1} \quad (1)$$

$$IMA = \frac{Y_t}{t} \quad (2)$$

Em que: Y_t = dimensão da variável no ano considerado; Y_{t-1} = dimensão da variável no ano anterior; t = idade.

Na seqüência, os dados de volume, incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) foram considerados como variáveis dependentes em modelos matemáticos, tendo a idade como variável independente. Para tal foi empregado o procedimento "Stepwise" de regressão, utilizando como variáveis dependentes e independentes, tanto variáveis puras, como também a forma logarítmica e transformada. A seleção dos modelos foi realizada pelo coeficiente de determinação (R^2), do erro-padrão em percentagem da média (S_{yx} %) e pela análise de resíduos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de tronco com fatias transversais de *Astronium balansae*, retiradas de árvores regeneradas

espontaneamente, não permitiu identificar o limite dos anéis de crescimento. Apesar de se apresentarem extremamente estreitos, mas ainda visíveis, sua delimitação era duvidosa por causa do forte escurecimento do lenho, decorrente do processo de cernificação que apresentava conformação muito irregular. Mesmo em árvores de diâmetro reduzido, cerca de 8 cm, que cresciam isoladas, também não foi possível individualizar os anéis centrais, pela existência do cerne.

O emprego de produtos químicos para descolorir o cerne não surtiu efeito na visualização dos anéis. Por outro lado, as fatias de árvores mais jovens, originadas de reflorestamento, nas quais o cerne não estava presente, possibilitaram a identificação e medição segura dos anéis anuais de crescimento e a obtenção das variáveis dendrométricas diâmetro, altura e volume bem como a idade.

As equações geradas pelo procedimento "Stepwise", para descrever crescimento em volume, forneceram grande precisão e ajuste conforme apresentado na Tabela 1 para as duas melhores equações ajustadas para cada árvore.

Para descrever o crescimento em volume, foi selecionada a equação número 1 para a árvore dominante e a de número 3 para a árvore dominada, ambas com R^2 de 99,9% e S_{yx} de -0,6%. O valor negativo de S_{yx} mostra que, em média, as equações superestimam o volume em 0,6%, o que é considerado um baixo erro.

TABELA 1: Equações de crescimento volumétrico, para as árvores de *Astronium balansae*.

TABLE 1: Volume growth equations for *Astronium balansae* trees.

Árvore	Eq. n.	Equação	R^2 %	S_{yx} %
Dominante	1	$v = \exp(-12,0914 - 0,0005 t^3 + 3,9568 \ln t)$	99,9	-0,6
	2	$v = -0,0079 + 0,0138 / t + 0,0003 t^2$	99,8	4,7
Dominada	3	$v = \exp(-12,9324 + 8,3121 / t + 4,5148 \ln t - 0,4770 (\ln t)^2)$	99,9	-0,6
	4	$v = 0,0003 - 0,0003 t + 0,00009 t^2$	81,6	2,8

Em que: Eq. n. = equação número; v = volume em dm^3 ; t = idade em anos.

Os testes de resíduos, realizados graficamente, não evidenciaram tendências do modelo de regressão, permitindo ratificar a seleção realizada com base nas estatísticas calculadas. Da mesma forma, os gráficos de crescimento volumétrico em função da idade, mostrados na Figura 1, permitiram verificar o excelente ajuste das equações para as árvores dos dois estratos.

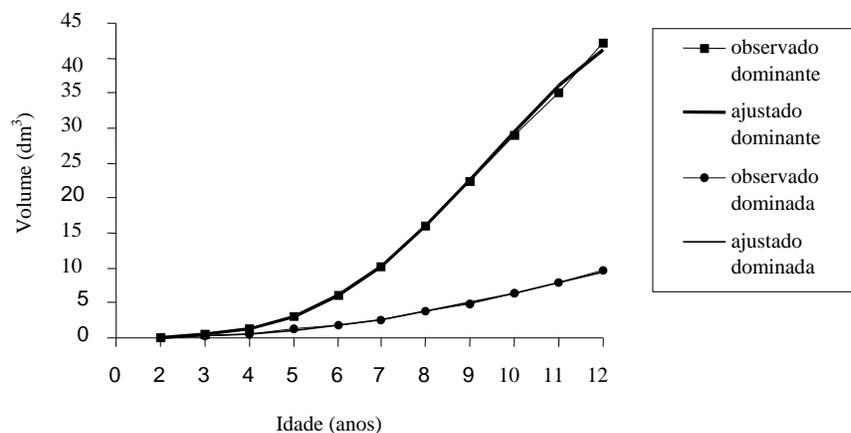


FIGURA 1: Volumes observados e estimados para as árvores de *Astronium balansae*.

FIGURE 1: Estimated and observed volume of *Astronium balansae* trees.

Conforme esperado e demonstrado na Figura 1, a árvore dominante teve o maior volume em qualquer das idades. Este é decorrência do maior diâmetro e altura dessa árvore, resultantes de melhores condições de crescimento. Pode ser visto ainda, por meio da forma da curva de crescimento, que a árvore dominante ainda se encontra em franco crescimento volumétrico.

Embora exista a possibilidade de obtenção dos valores de incremento pela derivação da função de crescimento, o procedimento não foi apresentado neste trabalho, pois resultou em equações complexas, de difícil emprego. Optou-se então por obter a estimativa dos incrementos pelo procedimento "Stepwise" de regressão em função da idade, com base nos incrementos reais medidos nas fatias.

Conforme os resultados da Tabela 2, verifica-se que o incremento corrente anual para árvore dominante foi melhor descrito pela equação número 1 que apresentou R^2 de 99,7% e S_{yx} igual a -1,4 % da média. Para a árvore do estrato dominado, a equação selecionada foi a de número 5. Esta também possui a variável dependente na forma logarítmica e apresentou R^2 de 94,4 % e S_{yx} igual a -3,5 % da média.

TABELA 2: Equações para descrever o incremento corrente e médio anual em volume para a árvore *Astronium balansae*, obtidas com base nos valores reais de incremento.

TABLE 2: Mean annual and current annual volume increment equations for *Astronium balansae* trees.

Árvore	Eq. n.	Equação	R^2 %	S_{yx} %
Dominante	1	$ICA = \exp(-2,9401 - 17,1335 / t - 0,0004 t^3 + 15,8962 / t^3)$	99,7	-1,40
	2	$ICA = -0,0012 + 0,0014 (\ln t)^2$	94,8	16,50
	3	$IMA = \exp(-12,0878 - 0,0005 t^2 + 2,953704 \ln t)$	99,9	0,47
	4	$IMA = -0,0016 + 0,0004 t + 0,0032 / t^3$	99,5	6,20
Dominada	5	$ICA = \exp(-10,5547 + 1,7730 \ln t)$	94,4	-3,50
	6	$ICA = -0,00021 + 0,0003 (\ln t)^2$	83,9	30,00
	7	$IMA = -0,0003 + 0,00009 t + 0,0005 / t^2$	99,9	0,002
	8	$IMA = \exp\{-12,9539 + 8,3900 / t^3 + 3,5354 \ln t - 0,4819(\ln t)^2\}$	99,8	-0,50

Em que: Eq. n. = equação número; ICA= incremento corrente anual; IMA = incremento médio anual; t = idade em anos.

As equações selecionadas para descrever a relação do incremento médio anual sobre a idade, em árvores do estrato dominante e dominado, foram as de número 3 e 7 respectivamente (Tabela 2). As duas equações têm R^2 de 99,9 % e S_{yx} igual a 0,47 e 0,002 % da média respectivamente.

As equações selecionadas para descrever o ICA e o IMA, quando submetidas a testes de resíduos, não evidenciaram tendências que pudessem descaracterizar a seleção feita com base nas estatísticas de ajuste e precisão.

Na Tabela 3 encontra-se a nova modelagem do incremento corrente e médio anual calculados com base no volume estimado com as equações 1 e 3 da Tabela 1. Essas tem maior precisão que as apresentadas na Tabela 2 (estimadas com o IMA e ICA obtidos com base nos dados medidos nas fatias).

TABELA 3: Equações para descrever o incremento corrente anual e o incremento médio anual em volume, estimados partindo do IMA e ICA obtidos nas funções de crescimento, para as árvores de *Astronium balansae*.

TABLE 3: Mean annual and current annual volume increment equations for *Astronium balansae* trees as a function of the MAI and CAI calculated from the growth curve.

Árvore	Eq. n.	Equação	R^2 %	S_{yx} %
Dominante	1	$ICA_v = \exp\{18,5218 - 2,3492*t - 70,9773 / t + 0,2083*t^2 - 0,0078*t^3 + 107,0683 / t^2 - 66,2432 / t^3\}$	99,9	0,00001
	2	$IMA = \exp\{-4,0796 + 0,0116*t^2 - 0,0009*t^3 + 4,1285 \ln t - 1,4427 \sqrt{t}\}$	99,9	0,00003
Dominada	3	$ICA_v = -0,5774 + 0,2052*t + 0,0037*t^2 - 0,0004*t^3 + 2,2055/t^3$	99,9	0,00031
	4	$IMA_v = -0,3511 + 0,0972*t + 0,4360 / t - 2,7*10^{-5}*t^3$	99,9	0,00329

Em que: Eq. n. = equação número; ICA = incremento corrente anual; IMA = incremento médio anual; t = idade em anos.

A grande redução no S_{yx} % obtida com as novas equações, conforme esperado, foi em consequência da eliminação da variação sazonal dos incrementos obtidos com as estimativas de volume quando comparado com as taxas reais de incremento.

O gráfico de ICA e IMA para os dados observados e ajustados da árvore dominante (Figura 2) e, para a árvore dominada (Figura 3), mostram o bom ajuste proporcionado pelas equações selecionadas, chamando atenção a quase-total sobreposição dos valores observados e ajustados de IMA.

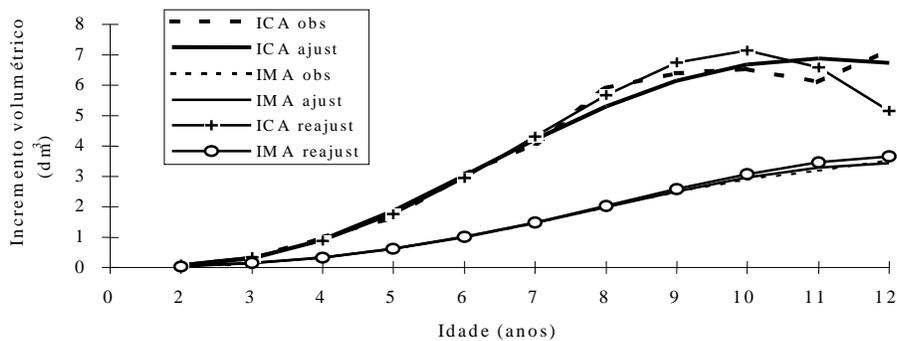


FIGURA 2: Incremento volumétrico observado e ajustado para a árvore dominante de *Astronium balansae*.
 FIGURE 2: Observed and adjusted volume increment of the dominant tree of *Astronium balansae*.

As curvas geradas pelas equações apresentadas na Tabela 3 (equações ajustadas com ICA e IMA calculados com base nos volumes estimados pela função de crescimento), mostram-se de bom ajuste. Na árvore dominante, observa-se, entretanto, que a equação tende a subestimar o valor de ICA na idade final, isto é, aos doze anos. Por outro lado, a equação calculada com os dados reais de incremento descreve melhor os valores desde incremento em todas as idades (Figura 2). Essa curva apresenta leve achatamento a partir da idade de onze anos, indicando redução do incremento corrente, não sendo possível, entretanto, afirmar que se trata de uma tendência. Para tal, seria necessário haver mais observações do incremento corrente em idades superiores àquela apresentada pela árvore.

As equações ajustadas, para descrever o IMA da árvore dominada, produziram estimativas coincidentes entre si (Figura 3), tanto as que usaram o IMA calculado com base nos dados originais, como as que usaram essa taxa obtida com base nas estimativas de volume dadas pela equação 1 da Tabela 1. Já para o ICA, a equação obtida com a variável dependente ICA observada, apresentou tendência de superestimativa a partir da idade de 9 anos, enquanto a equação ajustada com as variáveis obtidas partindo dos volumes estimados com a equação 3, da Tabela 1, descreveu melhor os dados (Figura 3).

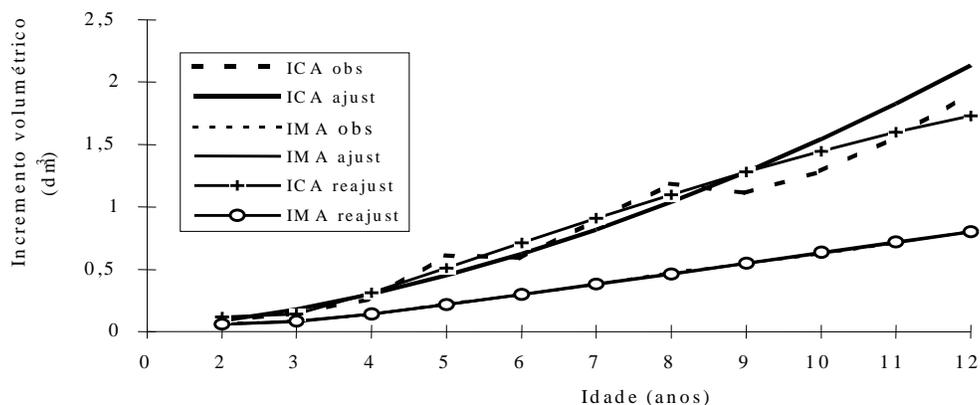


FIGURA 3: Incremento volumétrico observado e ajustado para a árvore dominada de *Astronium balansae*.
 FIGURE 3: Observed and adjusted volume increment of the dominated tree of *Astronium balansae*.

Verifica-se ainda que não ocorreu o culminio das taxas de incremento médio nas árvores dos dois estratos arbóreos, o que pode ser atribuído à pouca idade das árvores amostradas. Da mesma forma não foi

observada a ocorrência de máximo incremento corrente na árvore dominada. Já para a árvore dominante, embora existindo uma leve redução da taxa de incremento obtida pela equação, não é possível afirmar que o ICA tenha culminado em razão da pequena idade das árvores amostras.

CONCLUSÕES

A determinação do crescimento de *Astronium balansae* pela técnica de análise de tronco e a modelagem dos dados observados e calculados pelo procedimento "Stepwise" de regressão, permitiu descrever o crescimento e os incrementos médio e corrente anual como função da idade com grande precisão para árvores jovens originadas de um povoamento reflorestado. Nas árvores originadas por regeneração natural, que já apresentavam cerne, não foi possível identificar os limites dos anéis anuais de crescimento com o emprego das técnicas de macroscopia.

O emprego da derivada da função de crescimento para a determinação do incremento resultou em modelos complexos e de maior dificuldade de uso.

Os dados observados não permitiram identificar o ponto de máximo das curvas de incremento médio em razão da pouca idade das árvores amostradas.

As equações desenvolvidas neste trabalho permitiram expressar, com alta precisão, o crescimento das árvores amostradas devendo, entretanto, serem comprovadas com uma maior intensidade de amostragem, e contendo árvores mais velhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELTRÃO, L.; VASCONCELLOS, J. M. de; FROSI, R. Desenvolvimento de tecnologia para exploração florestal do "Pau-ferro" (*Astronium balansae* Engl.). IN: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 5., 1984, Nova Prata, RS. *Anais...* Nova Prata, 1984. v. 2, p. 521-523.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269p.

LONGHI, S. J. Aspectos fitossociológicos de uma floresta natural de *Astronium balansae* ENGL., no Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 17, n. 1-2, p. 49-61, 1987.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: HBR/SUDESUL/SAA-DRNR, 1988. 525p.

SCHULTZ, A. R. **Pau-ferro no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul, 1953. 9p. (Boletim Técnico, 23)