

# ROTAÇÕES DE EUCALIPTOS MAIS LONGAS: ANÁLISE VOLUMÉTRICA E ECONÔMICA

*Longer eucalypt rotations:  
volumetric and economic analysis*

Luiz Carlos Estraviz Rodriguez  
Ana Raquel Santos Bueno; Fabiano Rodrigues

---

**ABSTRACT:** The rotation definition problem in eucalypt plantations managed under non coppice regimes is revisited. Based on a graphical method proposed by Binkley (1987), we analyze the conditions that justify longer economic rotations when compared to rotations defined by the mean annual increment (MAI) maximization criteria. Assumptions are that the yield curve is known and the forest is clear cut at the rotation age. The prevailing thought that economic rotations are always shorter than maximum MAI rotations is proven false. Eucalypt plantations in Brazil usually present maximum MAI between the sixth and the tenth year of growth. It is proved that longer rotations can be justified when the analysis uses interest rates smaller than the reciprocal of the maximum MAI age. Therefore, even at interest rates as high as 16.5 % per annum, the economic analysis would frequently recommend rotations close to, or even longer than, the rotation that maximizes MAI. Effects on the economic rotation due to changes of product price, planting cost and growth assumptions are also discussed.

**KEYWORDS:** Eucalyptus, optimal rotation, Faustmann, Soil expectation value, SEV, maximum MAI.

**RESUMO:** Este trabalho reapresenta o problema da determinação da idade ótima de corte para ciclos de uma única rotação em florestas de eucaliptos. As condições que justificam rotações mais longas do que a rotação que maximiza o incremento médio anual (IMA) são apresentadas com base na análise gráfica proposta por Binkley (1987). Assume-se corte raso no final da rotação e o conhecimento prévio da curva de produção da floresta em função da idade. Mostra-se que é incorreto generalizar a idéia de que rotações economicamente ótimas são sempre mais curtas do que rotações volumetricamente ótimas. Os plantios de eucalipto no Brasil apresentam em geral máximo IMA entre o sexto e décimo ano de crescimento. Esse fato é de fundamental importância, pois demonstra-se que a idade economicamente ótima pode ser superior à idade que maximiza IMA sempre que forem utilizadas taxas de juros inferiores ao inverso da idade para a qual o eucaliptal apresenta máximo IMA. Isto é, rotações mais longas ou próximas à idade que maximiza IMA poderiam ser economicamente justificadas mesmo para taxas de juros entre 10% e 16,7% ao ano. Essas e outras relações importantes



entre o custo inicial de implantação, o preço do produto, a taxa de juros e a idade ótima de corte são também discutidas com base em uma análise gráfica.

PALAVRAS-CHAVE: Eucaliptus, Rotação ótima, Faustmann, Valor esperado da terra, VET, máximo IMA.

## INTRODUÇÃO

Extensos plantios de eucalipto têm garantido o abastecimento de inúmeras indústrias consumidoras de matéria-prima florestal. O baixo custo e curto prazo de produção, devido principalmente às excelentes condições edafo-climáticas sob as quais o eucalipto cresce no Brasil, ajudaram a colocar a indústria florestal brasileira no grupo das oportunidades de investimento de maior competitividade. Para que a indústria brasileira de base florestal continue atraindo investidores, em um mundo cada vez mais globalizado e competitivo, é fundamental a revisão e análise contínuas dos critérios utilizados para justificar importantes decisões gerenciais.

A idade de corte de um talhão representa uma das principais variáveis de decisão em planos de manejo florestal. A definição da duração de uma rotação pode requerer uma análise independente por talhão ou estar vinculada à produção simultânea de todos os talhões da floresta. O segundo caso resulta geralmente em uma complexa tarefa e envolve o processamento de um enorme volume de informações.

Em diversos países, especialistas das áreas de gestão e pesquisa operacional se utilizam dos mais modernos recursos de informática para gerar planos florestais ótimos. Esses planos analisam toda a área florestada conjuntamente, apesar de basearem-se em informação disponível por talhão. Por definição, um sistema de planejamento para a floresta é aquele que define

como deverão ocorrer as intervenções florestais em cada talhão sob um ponto de vista das conseqüências para a floresta como um todo.

Nesses sistemas de planejamento agregado, a decisão de *quando, como e quais talhões* serão cortados são tomadas com base em horizontes de planejamento mais longos e na composição, disponibilidade, e outras características da base florestal responsável pelo abastecimento global do empreendimento. Modernos sistemas de planejamento *no nível florestal* têm tornado ultrapassadas análises *por talhão*, como a determinação da idade ótima de corte e do momento ótimo de reforma. Os sistemas no nível de floresta são normalmente aplicados em povoamentos vinculados ao abastecimento de grandes empreendimentos florestais e baseados em técnicas matemáticas e modernos recursos computacionais.

São inúmeros os trabalhos que abordam a questão do planejamento no nível de floresta. Leuschner (1990), Davis & Johnson (1987), Buongiorno & Gilles (1987), Dykstra (1984) e Clutter *et. al.* (1983) são alguns dos mais conhecidos livros texto sobre o assunto. No Brasil, um exemplo de aplicação dos métodos de planejamento no nível de floresta pode ser encontrado em Rodriguez & Moreira (1989).

Deve ficar claro, portanto, que a determinação da idade ótima por talhão, sem vinculação com a floresta como um todo, é apenas útil em situações onde as unidades



básicas de manejo florestal podem ser consideradas independentemente e não vinculadas entre si. Entretanto, as técnicas de análise parcial por talhão têm sido usadas indiscriminadamente e a generalização dos resultados criaram certos hábitos indesejáveis. Entre eles, inclui-se a recomendação de uma idade única de corte para o eucalipto (por exemplo, sete anos). Tal recomendação desconsidera a rotação, o tipo de crescimento da espécie em questão, a vinculação com planos globais de abastecimento, o aumento em valor devido ao ganho em qualidade da madeira, o uso de diferentes taxas de juros etc. Um outro hábito envolve a generalização da idéia de que rotações definidas com base em critérios econômicos são sempre menores do que aquelas baseadas no critério volumétrico (máximo incremento médio anual).

Ainda que tratando de um método de otimização por talhão, e que necessariamente não conduz a um plano ótimo global para a floresta, este trabalho apresenta uma nova abordagem e se propõe a contribuir para o melhor entendimento do problema da definição da idade ótima de corte de talhões florestais. Como objetivo específico, este trabalho demonstra que, para o caso de uma única rotação, nem sempre a idade de corte recomendada por critérios econômicos resulta em rotações florestais mais curtas do que a idade recomendada pelo critério volumétrico. O trabalho, através de uma análise gráfica, mostra também a influência das variáveis *taxa de juros, preço da madeira, volume produzido e custo de implantação* na determinação da rotação economicamente ótima.

## OS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA IDADE ÓTIMA DE CORTE

A idade ótima de corte de um talhão florestal, independentemente dos demais,

pode ser definida em termos *volumétricos* ou *econômicos*. Newman (1988) apresenta uma revisão de literatura bastante completa sobre o tema. Ambos os critérios assumem que, após o corte da floresta atual, uma nova floresta será plantada na mesma área.

Florestas conduzidas através de rotações que maximizam o incremento médio anual (IMA) resultam na ocupação da menor área possível. Neste caso, a idade é definida independentemente de questões econômicas, como o valor dos produtos obtidos com o corte da floresta, o custo de oportunidade do capital imobilizado e o tempo de ocupação da terra em cada rotação florestal.

Para inclusão dos fatores econômicos será utilizada a fórmula de Faustmann (1849), conhecida também como a fórmula do VET - Valor Esperado da Terra (Rodríguez, 1991). O método de maximização do VET considera:

- que a terra será utilizada para a condução de uma série infinita de rotações florestais idênticas, e que o valor presente dessa série de rotações resulta em um critério adequado de valoração da terra. Este trabalho pressupõe também que:
- o empreendedor florestal pode adquirir ou tomar emprestado recursos a uma taxa de juros conhecida e constante ao longo do tempo;
- a demanda por madeira é conhecida, constante e perfeitamente elástica; a função de produção florestal e os custos de reforma e manutenção dos talhões são conhecidos e não se alteram com o tempo;
- a floresta é prontamente reformada após o corte e os ciclos se repetem indefinidamente apresentando os mesmos níveis de produção e tecnologia.

Outros critérios, como o Valor Presente Líquido (VPL), não devem ser utilizados na determinação da idade ótima de corte pois



permitem a comparação indevida de rotações que apresentam diferentes períodos de maturação e, conseqüentemente, diferentes escalas temporais. Rezende et al. (1994), ao estudar a influência do custo da terra na determinação da idade ótima de corte em eucaliptais, se utilizam do conceito de VPL, mas acrescentam ajustes à fórmula básica do VPL para contornar o problema das diferentes escalas temporais entre as alternativas estudadas.

A mais grave conseqüência do uso de critérios não adequados à análise de alternativas apresentando diferentes escalas temporais é a não consideração do uso da terra após o término da rotação e a conseqüente subestimação do custo de oportunidade de adiantar ou atrasar o término da rotação. Neste trabalho aplicamos o conceito do VET para a determinação da idade ótima de corte em ciclos envolvendo uma única rotação em povoamentos de eucaliptos. O VET não apresenta restrições quanto ao seu uso na análise de alternativas com diferentes escalas temporais pois pressupõe a repetição perpétua da alternativa sendo analisada. Ou seja, o infinito é utilizado como o horizonte que uniformiza a escala temporal de todas as análises. Como exemplo recente de aplicação do VET em estudo semelhante ao aqui apresentado, destacamos o trabalho de Ribeiro & Graça (1996) que aplica o critério do VET na determinação do ciclo ótimo envolvendo mais do que uma rotação por ciclo.

A nossa contribuição procura se aprofundar nas condições necessárias para uma comparação da idade economicamente ótima de corte com a idade que maximiza o incremento volumétrico médio anual (IMA) em plantios de eucaliptos. A idade que maximiza o IMA é também denominada *idade técnica de corte*, termo que consideramos inapropriado por induzir à idéia de que tecnicamente o único fator relevante é a

quantidade produzida. Neste trabalho utilizaremos os termos rotação economicamente ótima (REO) para indicar aquela que maximiza o VET, e rotação volumetricamente ótima (RVO) para indicar aquela que maximiza o IMA.

Os trabalhos de Hoffmann & Vieira (1985), com eucaliptais conduzidos no município de Mogi-Guaçu, no Estado de São Paulo, e o trabalho de Binkley (1987) com *Pinus patula* na Tanzânia são referências bibliográficas básicas que nos inspiraram neste artigo e que simultaneamente discutem os critérios volumétrico e econômico de determinação da rotação florestal ótima.

## MÉTODO VOLUMÉTRICO

Do ponto de vista volumétrico, a idade de corte ótima é aquela que resulta no maior volume médio anual ao longo de diversas rotações. A decisão de cortar a floresta quando o IMA é máximo se justifica por resultar em um volume anual médio maior do que o volume anual que seria obtido se a floresta fosse cortada em qualquer outra idade. Matematicamente, a otimização volumétrica recomenda a idade que maximiza o IMA, ou seja, procura-se:

$$\text{Maximizar IMA} = \frac{V}{t}$$

onde: IMA = incremento médio anual

V = volume produzido em função da idade t

t = idade da floresta (anos)

Da condição de primeira ordem, tem-se que:

$$\frac{d \text{ IMA}}{d t} = 0 \Rightarrow (V' t - V) / t^2 = 0$$

$$\Rightarrow V' = V / t \Rightarrow \text{ICA} = \text{IMA}$$



O resultado é a esperada igualdade entre incremento corrente anual (ICA) e IMA, quando IMA é máximo. Alternativamente, é válido dizer que o IMA será máximo quando a taxa relativa de crescimento for igual ao inverso da idade da floresta, isto é:

$$\frac{V'}{V} = \frac{1}{t} \quad (1)$$

## MÉTODO ECONÔMICO

A fórmula de Faustmann (1849), ou do Valor Esperado da Terra (VET), é a simples expressão da soma do valor presente das receitas líquidas obtidas no final de ciclos de produção florestal que se repetem perpetuamente. Graficamente, uma série infinita de rotações com  $t$  anos de duração poderia ser representada da seguinte forma:

0 ——— t ——— 2t ——— 3t ——— ∞

A receita líquida a cada  $t$  anos (considerando um custo  $I$  de implantação no início de cada rotação e um preço  $p$  por unidade de volume  $V$  capitalizados a juros instantâneos<sup>1</sup> com taxa nominal anual  $r$ ) seria igual a  $pV - I e^{r \cdot t}$ . Matematicamente, a

1 A fórmula de juros compostos  $V_t = V_0 (1 + r)^t$  pode ser modificada, para considerar a capitalização instantânea (um grande número  $n \rightarrow \infty$  de períodos de capitalização dentro do ano), da seguinte forma:

onde:  $V_t$  = Valor no ano  $t$ ;  $V_0$  = Valor no ano 0;  $r$  = taxa de juros nominal anual; e  $t$  = anos de capitalização à taxa de juros  $r$ . A modificação resulta no termo entre colchetes, que por definição corresponde ao número natural  $e$ .

otimização econômica recomenda a idade que maximiza o VET, ou seja, procura-se:

$$\text{Maximizar } VET = (p \cdot V - I e^{r \cdot t})(e^{r \cdot t} - 1)^{-1}$$

onde:

$VET$  = valor esperado da terra (valor presente da série infinita de rotações)

$p$  = preço por unidade de volume

$V$  = volume

$I e^{r \cdot t}$  = custo de implantação no ano  $t$ , a uma taxa de juros instantânea

$(e^{r \cdot t} - 1)^{-1}$  = multiplicador para valor presente de séries periódicas perpétuas

Da condição de primeira ordem, tem-se que:

Alternativamente, é válido dizer que o VET será máximo quando existir um valor de  $t$  que torna a seguinte relação verdadeira:

$$\frac{V'}{V - I/p} = \frac{r}{1 - e^{-r \cdot t}} \quad (2)$$

## ROTAÇÕES ECONÔMICAS IGUAIS A ROTAÇÕES VOLUMETRICAMENTE ÓTIMAS

Analisa-se agora as condições que fazem com que os critérios volumétrico e econômico recomendem uma mesma rotação. Inicialmente, a partir das equações (1) e (2) é possível estabelecer uma relação necessária para que as rotações ótimas recomendadas por esses dois critérios sejam iguais. Para isto, a equação (2) é alterada para a seguinte forma:

$$\frac{V'}{V} = \frac{r(1 - I/(pV))}{1 - e^{-r \cdot t}} \quad (3)$$



Igualando-se (1) e (3), temos:

$$\frac{I}{p} = V \left( 1 - \frac{1 - e^{-rt}}{rt} \right) \quad (4)$$

Este resultado permite pressupor que existem valores de  $I$ ,  $p$ ,  $r$  e  $V$  para os quais resulta a rotação que satisfaz simultaneamente aos critérios volumétrico e econômico de otimização. Por existir um grande número combinações de valores  $I$ ,  $p$ ,  $r$  e  $V$  que satisfazem a equação (4), seria possível imaginar que devem existir situações nas quais a rotação economicamente ótima é maior que a rotação volumetricamente ótima.

### ROTAÇÕES ECONÔMICAS MAIS LONGAS QUE ROTAÇÕES VOLUMETRICAMENTE ÓTIMAS

Procura-se agora estabelecer as condições que permitem como resultado uma rotação economicamente ótima mais longa que a volumétrica. Partindo-se do pressuposto de que as receitas líquidas são positivas, temos:

$$p V e^{-rt} - I \geq 0 \Rightarrow \frac{I}{p} \leq V e^{-rt} \quad (5)$$

Substituindo-se (5) em (4), resulta:

Mas, como  $(1 - e^{-rt})$  é sempre positivo para todo  $r$  e  $t$  positivos, conclui-se que:

$$r \leq \frac{1}{t} \quad (6)$$

Este resultado permite concluir que, para análises envolvendo a seleção de ciclos com uma única rotação, existirão valores de  $I$  e  $p$  capazes de gerar REOs mais

longas que a RVO sempre que utilizarmos taxas inferiores ou próximas ao inverso da idade para a qual o IMA é máximo. Como no Brasil é comum encontrarem-se eucaliptos com curvas de crescimento apresentando máximo IMA por volta dos 6 e 7 anos, valeria dizer que existem custos de implantação, preços de madeira e taxas de juros abaixo de 14,3% e 16,7%, respectivamente, que recomendariam REOs mais longas que a RVO.

Isto explica porque em países de clima temperado, onde as espécies florestais apresentam crescimento mais lento, é comum recomendarem-se rotações economicamente ótimas mais curtas do que rotações baseadas na idade de máximo IMA. Binkley (1987) se refere a espécies de lento crescimento para as quais REOs superiores a 100 anos (idade de máximo IMA dessas espécies) somente seriam possíveis quando usadas  $r < 1/100$ . Entretanto, o mesmo autor lembra "*espécies de rápido crescimento ... ou plantios florestais tropicais ... podem alcançar o máximo IMA em menos de 20 anos. Em tais situações a REO poderia exceder a RVO para um grande intervalo de parâmetros de custos e preços*". Na próxima sessão ilustra-se a importância dessas considerações para o caso do eucalipto, um caso extremo de máximo IMA "precoce".

### ANÁLISE GRÁFICA

O procedimento gráfico geral para a determinação de rotações volumétrica e economicamente ótimas com base nas equações (1) e (2) é apresentado nesta seção. A apresentação será ilustrada com base em uma curva de crescimento tradicional no meio florestal, o modelo Schumacher (1939) log-recíproco. Uma análise similar, envolvendo os modelos Gompertz, Mitscherlich

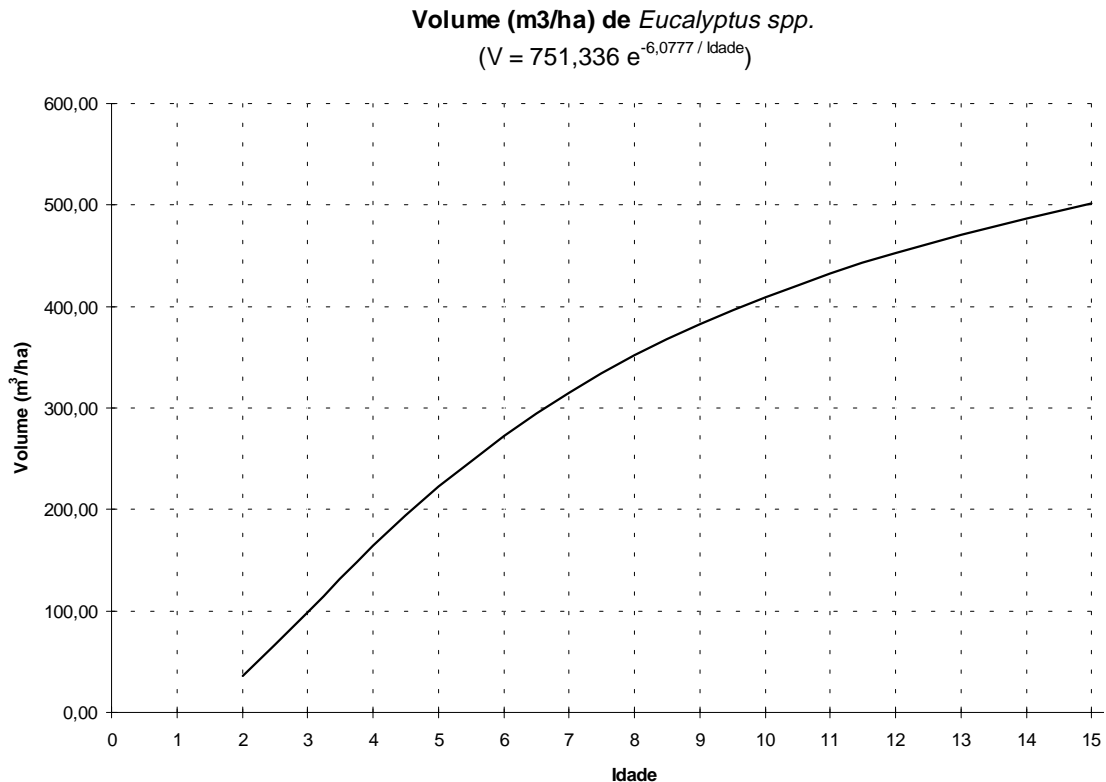


Figura 1

Modelo log-recíproco de Schumacher (1939) ajustado para um conjunto de dados contendo informações provenientes de alguns eucaliptais paulistas. O gráfico não deve ser utilizado para inferências acerca da produção de florestas de eucaliptos em São Paulo e serve apenas para ilustrar a metodologia apresentada neste trabalho.

*The Schumacher (ln V, reciprocal of age) model fit to Eucalyptus data from the State of São Paulo. The graph is used in illustrating the methodology of this article and is not used to generalize Eucalyptus forests production in the State of São Paulo.*

e logístico generalizado, pode ser encontrada em Hoffmann & Vieira (1985), assim como uma discussão dos efeitos desses diferentes modelos de crescimento sobre a determinação da idade ótima de corte.

As Figuras 1 e 2 apresentam, respectivamente, as curvas de produção volumétrica ( $V$ ), e de incremento médio anual ( $IMA = V/t$ ) e incremento corrente anual

( $ICA = dV/dt$ ), em função da idade ( $t$ ), para dados médios de eucaliptais paulistas em primeira rotação e ajustados de acordo com a equação log-recíproca de Schumacher:

$$V = \alpha e^{-\frac{\beta}{t}}$$

O ajuste da transformação linear do modelo acima ( $\ln V = \ln \alpha - \beta / t$ ), ao conjunto



Incrementos (m<sup>3</sup>/ha) para *Eucalyptus spp.*  
 $(V = 751,336 e^{-6,0777 / \text{Idade}})$

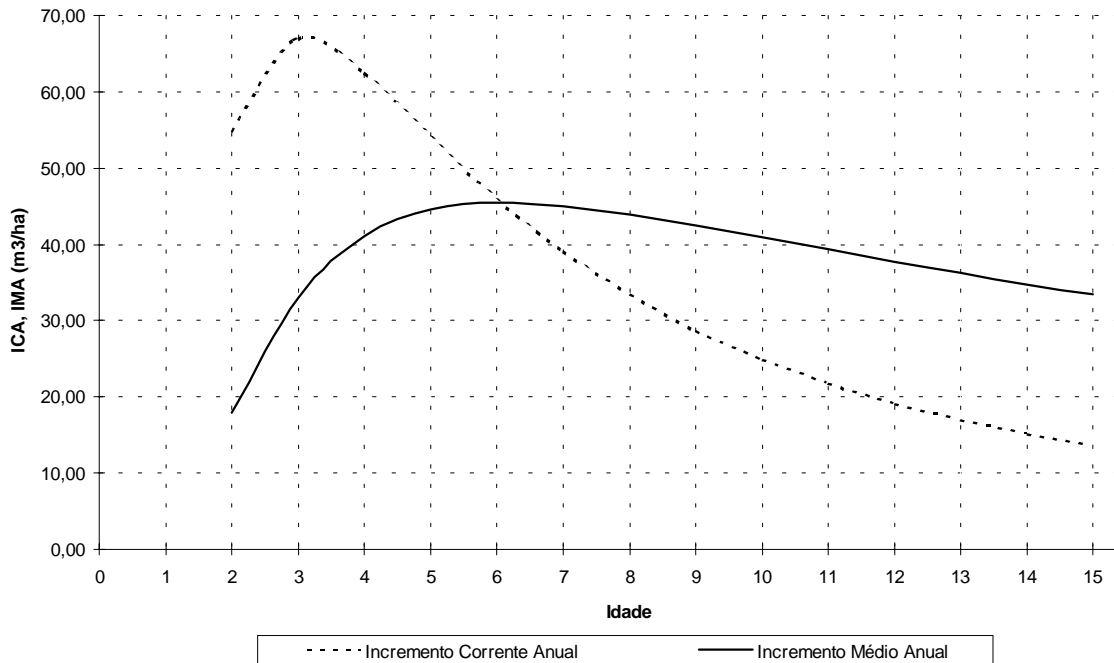


Figura 2

Curvas de IMA e ICA derivadas da curva de produção apresentada na Figura 1.

*MAI and CAI curves derived from the yield curve of Figure 1.*

de dados usado como exemplo, resultou na obtenção dos seguintes parâmetros:  $\alpha = 751,336$  e  $\beta = 6,0777$ . A rotação volumetricamente ótima (RVO) foi definida como sendo aquela para a qual o incremento médio anual (IMA) é máximo. A RVO, portanto, acaba sendo bastante influenciada pelas pressuposições de crescimento e pelos parâmetros do modelo de produção escolhido. Hoffmann & Vieira (1985) apresentam uma breve discussão sobre essa influência. No caso do modelo log-recíproco de Schumacher, o coeficiente  $\beta$  expressa dire-

tamente a idade que maximiza  $\text{IMA}^2$ , fazendo com que, para os dados utilizados, a RVO resulte aproximadamente igual a 6 anos.

Já se mostrou como a rotação economicamente ótima (REO) depende de outras três variáveis:  $I$  (custo de implantação),  $p$  (preço por unidade de volume) e  $r$  (taxa anual de juros). Para ilustrar o efeito de alterações nesses valores utilizou-se o mes-

<sup>2</sup> De (1) temos que, para maximizar IMA:  
 $V^1 / V = 1/t \Rightarrow (\beta t^{-2} V) / V = 1/t \Rightarrow t = \beta$



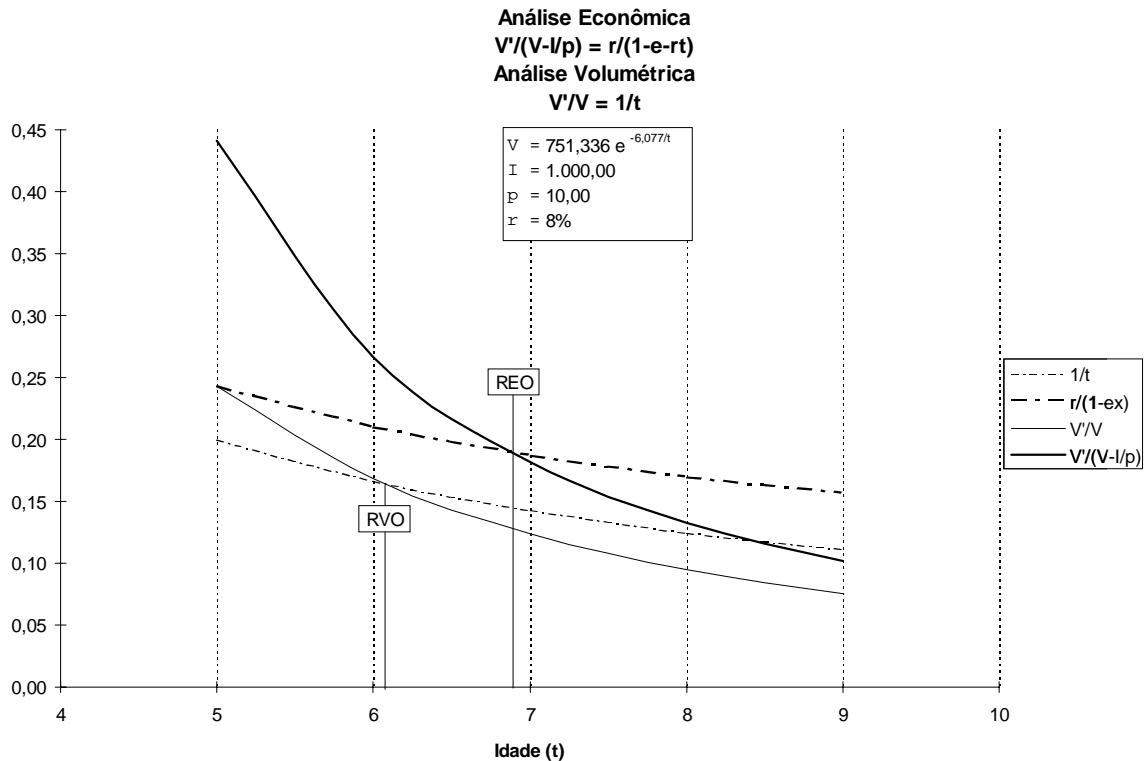


Figura 3

Curvas baseadas nas equações (1) e (2) que permitem a determinação simultânea das rotações volumetricamente (RVO) e economicamente (REO) ótimas.

*Curves representing equations (1) and (2) which simultaneously solve the optimal volumetric (RVO) and optimal economic (REO) rotations.*

mo modelo de Schumacher que serviu de base para a determinação da RVO. A Figura 3 apresenta uma primeira situação onde se considera um custo de implantação de R\$ 1.000,00/ha, o preço da madeira igual a R\$ 10,00/st e a taxa de juros nominais de 8% ao ano. Observa-se neste caso que a rotação economicamente ótima resulta igual a um valor pouco inferior a 7 anos e, portanto, mais longa que a rotação volumetricamente ótima. Este resultado pode parecer surpreendente para todos aqueles que, de

forma intuitiva, esperariam que a consideração de uma taxa de juros levaria a uma automática redução na idade de corte recomendada pelo critério volumétrico.

Mantidas as demais variáveis constantes, aumentos no custo de implantação resultam na recomendação de rotações economicamente ótimas mais longas (Figura 4). Isto significa que à medida que o valor do investimento inicial aumenta, é financeiramente mais interessante prolongar a rotação para que um maior volume futuro com-



pense investimentos iniciais maiores. É necessário lembrar que foi considerada uma correlação nula entre o investimento inicial e a produção futura calculada pelo modelo de crescimento. Obviamente, se o crescimento da floresta for significativamente afetado pelo custo  $I$  de implantação, o modelo de crescimento teria que incluir o valor de  $I$  como variável explicativa e os resultados seriam de mais difícil previsão.

Variações no preço da madeira e na taxa de juros (Figuras 5 e 6) mostram comportamento inversamente proporcional à REO, mantidas as demais variáveis constantes. O aumento da taxa de juros eleva o custo do capital onerando o empreendimento com o passar do tempo, e portanto pressionando a redução da REO. Por outro lado, o aumento do preço da madeira torna a atividade mais atraente, fazendo com que a redução

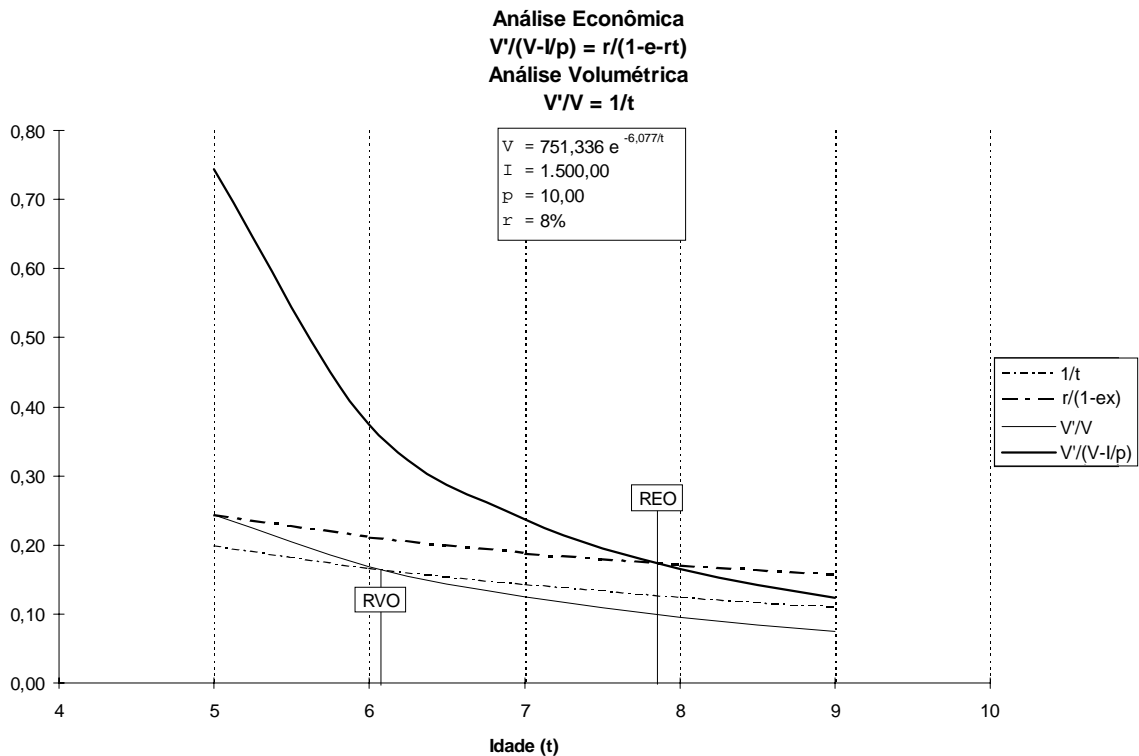


Figura 4

Efeito de um aumento nos investimentos iniciais (p.ex.custos de implantação) sobre a determinação da rotação econômica-mente ótima (REO). Um aumento em  $I$  de 1.000 para 1.500 aumenta em aproximadamente um ano a REO.

*Effect of increasing the initial investment costs ( $I$ ) on the optimal economic rotation (REO). An increase in  $I$  from 1,000 to 1,500 results in an increase of approximately 1 year to the REO.*



da REO permita uma aceleração dos ciclos e a possibilidade de períodos de reinvestimento mais curtos.

A Figura 7 comprova um resultado já esperado. De acordo com a equação (6), taxas de juros superiores ao inverso da idade que maximiza IMA levariam à recomendação de uma rotação mais curta do que a rotação volumetricamente ótima. Para os dados utilizados, apenas taxas superiores

a 16,67% justificariam o uso de rotações mais curtas do que a rotação volumetricamente ótima ( $t$  aproximadamente igual a 6 anos).

## CONCLUSÕES

As equações (1), (2), (4) e (6) são básicas para a análise apresentada neste trabalho.

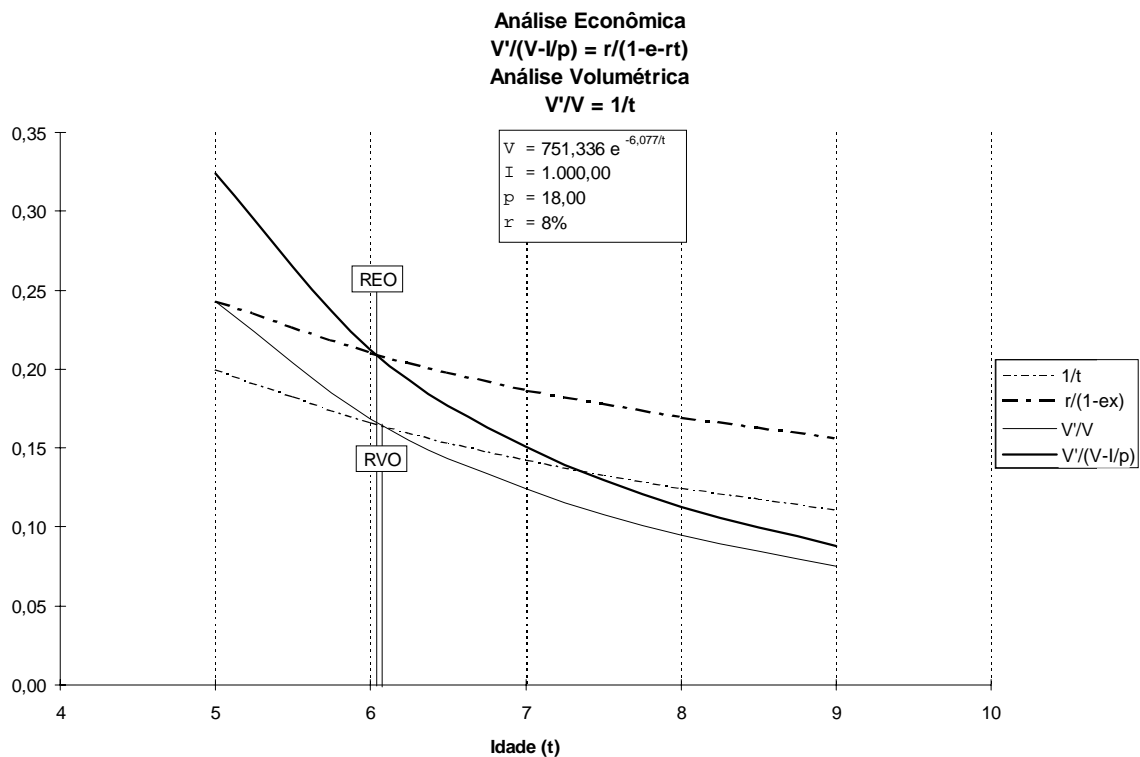


Figura 5

Efeito de um aumento no valor do produto ( $p$ ) sobre a determinação da rotação economicamente ótima (REO). Um valor de  $p$  igual a 18,00 resulta em uma REO mais curta do que aquela obtida quando  $p=10,00$  (Figura 3).

*Effect of increasing the price ( $p$ ) on the optimal economic rotation (REO). The price of 18.00 results in a shorter REO from that obtained in Figure 3 where  $p = 10.00$ .*

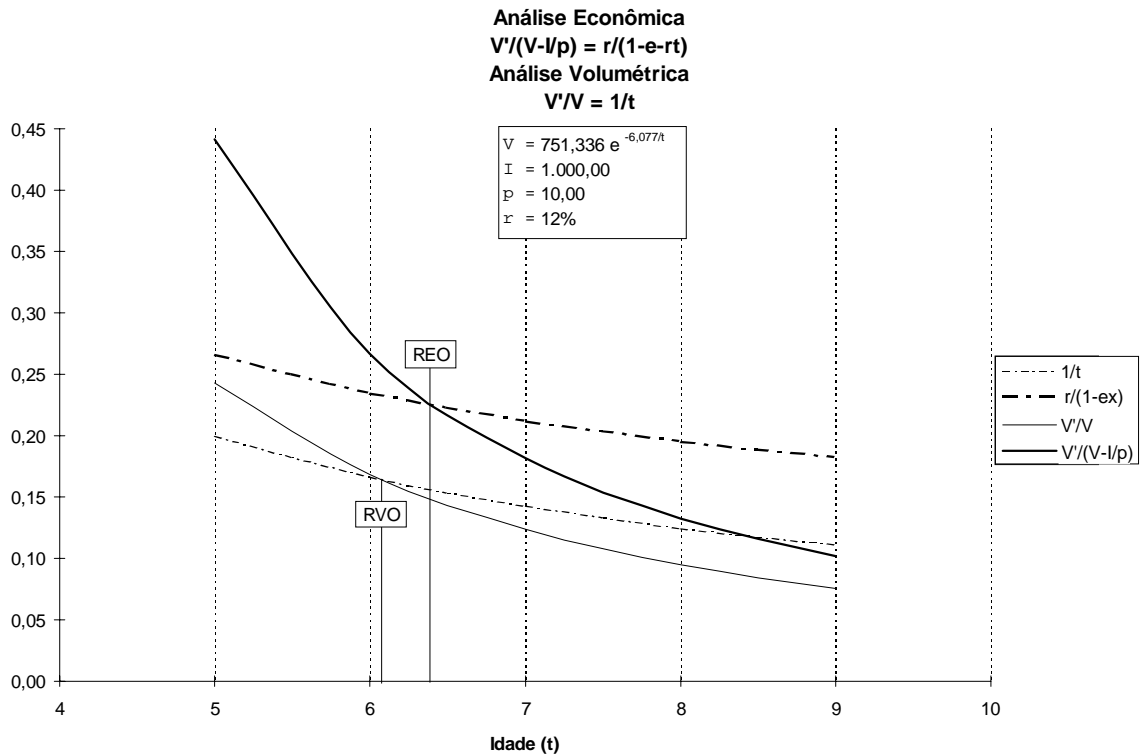


Figura 6

Efeito de um aumento no valor da taxa de juros ( $r$ ) sobre a determinação da rotação economicamente ótima (REO). Um valor de  $r$  igual a 12% tornou a REO mais curta do que a REO recomendada quando  $r=10\%$  (Figura 3).

*Effect of increasing the interest rate ( $r$ ) on the optimal economic rotation (REO). An interest rate of 12% results in a shorter REO from that age recommended in Figure 3 with  $r = 10\%$ .*

A representação gráfica dessas relações permite ao analista uma rápida interpretação da resposta a mudanças nos valores e pressuposições iniciais. O material apresentado mostra que é fundamental romper com a expectativa de que rotações economicamente ótimas são sempre mais curtas do que rotações volumetricamente ótimas.

Um outro dado importante é apresentado na equação (6). Essa equação mostra que, se forem utilizadas taxas de juros in-

férieures ao inverso da idade que resulta no máximo IMA, devem existir valores de custo de implantação, preço do produto e parâmetros do modelo de crescimento que fazem com que a rotação econômica seja mais longa que a volumétrica.

Além dos problemas levantados no início deste trabalho, quanto à utilização de critérios de determinação de idades de corte para talhões individuais, vale ressaltar também a grande limitação da determina-

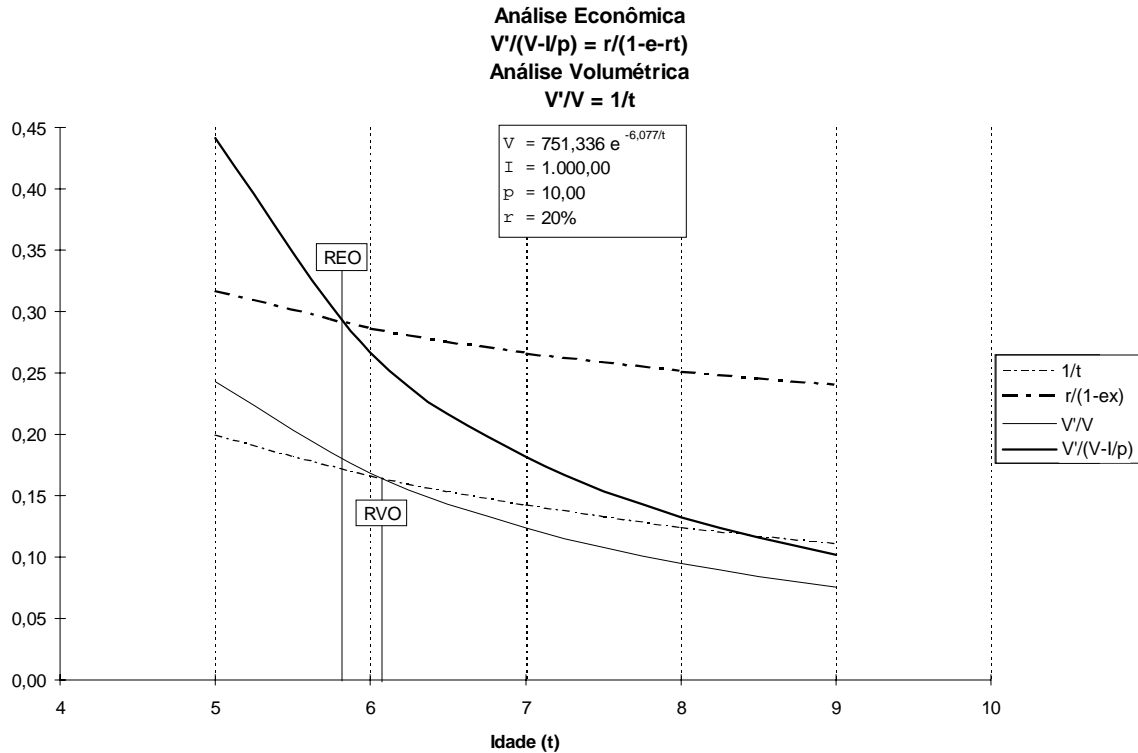


Figura7

Efeito da utilização de uma taxa de juros ( $r$ ) menor do que o inverso da idade ( $t$ ) que maximiza IMA. Neste caso, um valor de  $r$  igual a 20% tornou a REO mais curta do que a RVO.

*Effect of using an interest rate ( $r$ ) that is less than the inverse of age that maximizes MAI. In this case, a value of  $r = 20\%$  makes the REO shorter than the RVO.*

ção da idade ótima de corte para uma única rotação. No caso do eucalipto são poucos os povoamentos conduzidos através de um único corte. Análises mais interessantes seriam aquelas que indicam o *ciclo (conjunto de rotações) economicamente ótimo* para plantios de eucalipto e que consideram a otimi-

zação para a floresta como um todo e não isoladamente para cada talhão. Neste caso, sugere-se a utilização de técnicas de programação matemática associadas com métodos de avaliação financeira de cada sistema alternativo de manejo incluído na análise, para uma análise conjunta e global do problema.



## AUTORES E AGRADECIMENTOS

LUIZ CARLOS ESTRAVIZ RODRIGUEZ é Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP - Caixa Postal 9 - 13400-970 - Piracicaba, SP - Brasil

ANA RAQUEL SANTOS BUENO é Acadêmica do Curso de Mestrado em Economia Aplicada da ESALQ/USP. Caixa Postal 9 - 13400-970 - Piracicaba, SP - Brasil

FABIANO RODRIGUES é Acadêmico do Curso de Engenharia Florestal da ESALQ/USP. Caixa Postal 9 - 13400-970 - Piracicaba, SP - Brasil

Gostaríamos de agradecer aos revisores que contribuíram com importantes comentários e sugestões e à FAPESP pela bolsa de iniciação científica concedida a um dos co-autores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BINKLEY, C.S. When is Optimal Economic Rotation Longer than the Rotation of Maximum Sustained Yield? *Journal of Environmental Economics and Management*, v.14, p.152-8, 1987.
- BUONGIORNO, J. & GILLES, K. *Forest Management and Economics: a primer in quantitative methods*. New York: McMillan, 1987. 285p.
- CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. *Timber Management: a Quantitative Approach*. New York: John Wiley, 1983. 333p.
- DAVIS, L.S.; JOHNSON, K.N. *Forest Management*. New York: Mc Graw-Hill, 1987. 790p.
- DYKSTRA, D.P. *Mathematical Programming for Natural Resource Management*. New York: McGraw-Hill, 1984. 318p.
- FAUSTMANN, M. On the determination of the value which forest land and immature stands pose for forestry. In: GANE, M. (ed.) *Martin Faustmann and the evolution of discounted cash flow*. Oxford: Oxford Institute, 1849. 54p. (Paper 42)
- HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. Eucalyptus growth curves and the determination of the optimal cutting age. *Revista de Econometria*, p.112-128, 1985.
- LEUSCHNER, W.A. *Forest Regulation, Harvest Scheduling, and Planning Techniques*. New York: John Wiley, 1990. 281p.
- NEWMAN, D.H. The Optimal Forest Rotation: a discussion and annotated bibliography. *USDA. Forest Service. SE General Technical Report*, n.48, p.1-47, 1988.
- REZENDE, J.L.P.; LOPES, H.V.S.; NEVES, A.R.; PAULA JUNIOR, G.G. A importância do custo da terra na determinação da idade ótima de corte de povoamentos de eucalipto. *Revista Árvore*, v.18, n.1, p.45-55, 1994.
- RIBEIRO, C.A.A.S.; GRAÇA, L.R. Manejo por talhadias: estabelecimento das idades ótimas de corte. *Revista Árvore*, v.20, n.1, p.29-36, 1996.
- RODRIGUEZ, L.C.E. Tópicos de Economia Florestal. *Documentos Florestais*, n.12, p.1-49, 1991.
- RODRIGUEZ, L.C.E.; MOREIRA, R.M. Gerenciamento de florestas de eucalipto com modelos de programação linear. *Série Técnica IPEF*, v.6, n.19, p.1-15, 1989.
- SCHUMACHER, F.X. A new growth curve and its application to timber yield studies. *Journal of Forestry*, v.37, p.819-820, 1939.