

RELAÇÕES ENTRE A IDADE DE CORTE E O HORIZONTE DE PLANEJAMENTO, EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO

José Luiz Pereira de Rezende¹
 Antônio Donizette de Oliveira²

RESUMO - A idade ótima de corte é uma das variáveis mais importantes a serem observadas e controladas no âmbito do manejo de povoamentos de eucalipto. Embora os critérios e metodologias de sua determinação sejam bastante discutidos na literatura pertinente, há uma lacuna no que tange às interações entre as rotações do alto fuste e das brotações para as espécies florestais que produzem cortes de talhadas. Este trabalho, usando o modelo $\text{Ln}V = \text{Ln}\beta_0 + (1/l)\text{Ln}\beta_1 + \text{Ln}\epsilon$ e através da estática comparativa, objetivou determinar, para o caso de povoamentos de eucaliptos, como as rotações das brotações (primeira e segunda) se interrelacionam entre si e com as do alto fuste, nos vários horizontes de planejamento. Os resultados obtidos evidenciaram que os horizontes de planejamento considerados afetam as idades ótimas de corte. Quanto mais curto o horizonte de planejamento, mais longa tende a ser a rotação. A rotação do regime de alto fuste para o horizonte de um único corte é mais longa que sua rotação para o planejamento de manejo em três cortes. Para o horizonte de planejamento de três cortes, a idade ótima de corte da segunda brotação é determinada independentemente; a idade ótima de corte da primeira brotação é influenciada pelo comportamento do povoamento do regime de alto fuste; e a idade ótima de corte do alto fuste é influenciada pelos regimes da primeira e segunda talhadas. A prática de empresas florestais de realizar os cortes das talhadas e alto fuste sempre na mesma idade (ciclo) é incorreta, podendo acarretar relevantes prejuízos.

PALAVRAS-CHAVE: Rotação florestal, rotação econômica, horizonte de planejamento.

RELATIONSHIPS BETWEEN CUTTING AGE OF AND PLANNING HORIZON IN EUCALYPTUS STANDS

ABSTRACT - Optimum forest rotation of an eucalyptus plantation is one of the most important variables to be controlled in a management plan. Although the criteria and methodology of its determination are well discussed in the related literature, a lack of knowledge on how the ages of coppicing cuttings and seedlings stands and the various planning horizons are interrelated still remains. This research used the growth model $\text{Ln}V = \text{Ln}\beta_0 + (1/l)\text{Ln}\beta_1 + \text{Ln}\epsilon$ and comparative statics aimed to determine how the optimum cutting cycles of coppicings and seedlings stands and their interrelation with various planning horizons. The results pointed out that the longer the planning horizon, the longer the optimal rotation tends to be. In a three cutting horizon, the optimal cutting age of the second coppicing is not affected by the first coppicing or by the seedling stand; the optimal rotation of the first coppicing is affected by the life cycle of the seedling stand; the optimal rotation of the seedling stand is influenced by the first and second coppicing or cuttings. The traditional management of harvesting seedling stands and coppicings at the same rotation is not theoretically sound and may cause economic loss to forest enterprises.

KEY-WORDS: Forest rotation; economic rotation, planning horizon.

INTRODUÇÃO

As atividades silviculturais, no Brasil, no que concerne as florestas plantadas, só tiveram grande impulso na década de 1960 com a implantação dos Incentivos Fiscais. No início da década de 1970, já consciente do enorme potencial florestal do país, seja pelas grandes

extensões de terras planas, grandes contingentes de mão-de-obra disponível, índice solarimétrico e temperatura adequada ao crescimento vegetativo, seja por outras condições edafoclimáticas favoráveis, e sabedor de que no início muitos investimentos no setor florestal foram executados sem a estreita observância dos preceitos técnicos que

¹ Departamento de Engenharia Florestal, UFV - 36.570-000 - Viçosa - MG.

² Departamento de Ciências Florestais, UFLA - CP 37 - 37.200-000 - LAVRAS - MG.

as viabilizassem, o governo brasileiro resolveu, através do decreto lei número 1.376, de 1974, estabelecer critérios e objetivos mais precisos para o setor (Rezende, Minette e Torquato, 1987).

Com a grande expansão da área plantada, hoje estimada entre 7 e 7,5 milhões de ha, envolvendo investimentos da ordem de 10 bilhões US\$, a análise econômica dos fatores envolvidos no processo de produção tornou-se imprescindível para o manejo e exploração racionais dos povoamentos florestais.

Dentre as técnicas de manejo utilizadas para a busca da maximização dos retornos dos investimentos no setor, a determinação da idade ótima de corte tem ocupado grande parte dos investimentos e da atenção da pesquisa no setor.

Romero e Rezende (1984) concluíram que os prejuízos causados pela exploração de povoamentos de eucalipto, sem a observância dos critérios econômicos de otimização, são superiores aos causados por pragas e doenças, incêndios florestais, etc.

Os critérios e metodologia usados na determinação da rotação econômica são bastante discutidos na literatura, destacando-se Pearse (1967), Nautiyal e Fowler (1980), Gaffney (1960), Mckillop (1971), Naslund (1969), Bentley e Teegarden (1965), Haley (1966), Martell (1980), Rezende, Minette e Torquato (1987).

Estas metodologias, contudo, somente foram aplicadas para espécies que não produzem talhadas. No caso do gênero *Eucalyptus*, sempre se considerou apenas um corte, isto é, os efeitos e as interações entre as brotações e

o alto fuste, bem como os vários horizontes de planejamento, sempre foram ignorados.

Este trabalho tem por objetivos:

- Determinar, através da análise marginal e da estática comparativa, a idade econômica ótima de corte de povoamentos florestais de eucalipto.
- Analisar as interações entre as idades de corte do alto fuste, primeira e segunda brotações.
- Estudar os efeitos dos horizontes de planejamento (um corte e três cortes) sobre as idades de corte e suas interações.
- Aplicar o modelo e metodologias desenvolvidas a um estudo de caso no cerrado de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

• Coleta de dados

Para testar a validade do modelo teórico, utilizaram-se dados de produção e custo das diversas operações nos povoamentos de *Eucalyptus* spp. Os dados de custos (Tabela 1) foram obtidos via empresas associadas à Sociedade de Investigações Florestais (SIF). Trabalharam-se com as médias dos dados estimados pelas empresas, para áreas planas, procurando-se representar situações próximas do real e que atendam aos propósitos do trabalho.

Coletaram-se dados referentes aos plantios de alto fuste, primeira a segunda brotações, possibilitando, assim, a análise destas três fases de produção dos povoamentos.

O preço por metro estéreo de madeira refere-se ao preço de mercado, para a madeira

TABELA 1. Planilha de custos, em US\$/ha (custos médios para as diversas operações, para os horizontes de um corte, três cortes e infinitos cortes).

Itens de custos	US\$/ha
Valor da terra (VT)	220,00
Implantação (K)	430,00
Proteção/conservação (CCP)	13,00
Capina no primeiro ano (CC1)	90,00
Capina no segundo ano (CC2)	26,10
Bateção pré-corte (CB)	25,00
Exploração, em US\$/st (C, CX, CY e CZ)	1,50
Condução da primeira brotação (CCBY)	35,00
Condução da segunda brotação (CCBZ)	35,00
Roçada no primeiro ano (CR1)	45,00
Roçada no segundo ano (CR2)	40,00
Preço da madeira, em US\$/st (P)	9,70

explorada. Na avaliação econômica do setor privado, a produção de madeira é a única receita que tem sido considerada no plantio. Logo, de posse do preço da madeira, determina-se a receita com base no volume de madeira estimado pela equação de produção.

• Modelo de produção volumétrica

Para estimar a produtividade, em m³ por hectare, dos reflorestamentos de eucalipto, utilizou-se o modelo:

$$V = \beta_0 \cdot \beta_1^{(1/l)} \cdot \epsilon$$

ou na forma logarítmica:

$$\ln V = \ln \beta_0 + (1/l) \cdot \ln \beta_1 + \ln \epsilon,$$

em que:

V é o volume com casca em m³/ha;

β_0 e β_1 são os coeficientes;

l representa a idade em meses; e

ϵ representa o erro ou resíduo da regressão.

Utilizou-se apenas o fator idade como variável independente, por fornecer boa estimativa final e explicar bem a produção obtida além de ser indispensável na avaliação econômica (Chichorro, 1987).

No caso de três rotações, estimou-se o volume para os povoamentos da primeira e segunda brotações, utilizando o mesmo modelo utilizado para o povoamento do alto fuste. Utilizou-se este critério devido a não disponibilidade dos dados de produção desses povoamentos. Porém, considerou-se uma redução no volume estimado pelo modelo em 20% e 40%, para a primeira e segunda brotação, respectivamente. Estas reduções foram consideradas de acordo com o que se constatou nas empresas em questão.

• Horizonte de planejamento

Horizonte de planejamento é o período de tempo durante o qual se estima que um empreendimento irá operar. Para o setor florestal, este horizonte será finito quando a avaliação do empreendimento for fixada em certo período de tempo; e será infinito quando existir continuidade do empreendimento durante um período indefinido (Alfaro, 1985).

Neste trabalho, consideraram-se os horizontes de planejamento de um corte e de três cortes, distinguindo-se a idade ótima de corte do povoamento do alto fuste, primeira e segunda brotação.

• Avaliação econômica da rotação florestal

Para a determinação da rotação econômica, ou idade de maior rendimento econômico

líquido, utilizou-se o método do Valor Presente Líquido (VPL). Assim, a análise baseou-se nos custos e receitas envolvidos na produção da madeira.

Efetuarão-se os levantamentos de todas as atividades envolvidas, os períodos de ocorrência e seus respectivos custos.

Esta avaliação econômica tem por objetivo complementar o modelo econômico proposto, que fundamentou-se na maximização da função de lucro. A princípio, descontaram-se os custos e receitas referentes a cada ano, determinando a idade ótima de corte na qual se obtém o rendimento econômico máximo, decidindo-se, assim, sobre a viabilidade do empreendimento florestal.

• Modelo conceptual: considerações gerais

Uma vez definidos os custos e receitas envolvidos na produção de madeira do eucalipto, desenvolveu-se o modelo que determinou a rotação econômica, podendo-se, então, analisar os fatores que afetam a sua duração.

A análise baseou-se na teoria da firma, em que se pressupõe que o agente econômico tem por objetivo maximizar o lucro e foi direcionada para cada item de custo, referindo-se, também, aos fatores taxa de desconto, preço da madeira, produtividade e receitas intermediárias.

Utilizou-se, portanto, o modelo conceptual para detectar as variações na idade ótima de corte, decorrentes de variações nestes fatores. O estudo destes fatores, no contexto da rotação florestal, apresentou validade para fins práticos, uma vez que foi possível se detectarem os fatores que a afetam.

A formulação do modelo fundamentou-se, especificamente, no método do VPL. Este método é muito conhecido e utilizado na avaliação de investimentos florestais, por exigirem que se considere o valor do capital no tempo (Chichoro, 1987).

O VPL corresponde à soma algébrica dos valores descontados dos fluxos de caixa a ele associados (Faro, 1979). Tem-se, então, a idéia implícita de que os rendimentos obtidos em diferentes pontos no tempo tornaram-se mensurados, transformando-os nos equivalentes valores atuais.

As suas representações algébricas são as seguintes:

$$VPL = \sum_{j=1}^n R_j (1 + r)^{-j} \text{ (capitalização discreta)}$$

$$VPL = \sum_{j=1}^n R_j \cdot e^{-rj} \text{ (capitalização contínua)}$$

em que:

- VPL = valor presente líquido;
- R_j = parcela ou receita líquida no período j;
- r = taxa real de desconto;
- C₀ = investimento inicial;
- e = 2,718...

De acordo com o método do VPL, podem-se tirar as seguintes conclusões: para VPL positivo, o investimento oferece retorno mais alto que a taxa de desconto utilizada; VPL nulo representa um investimento cujo retorno é apenas igual à taxa de desconto utilizada; VPL negativo indica que o investimento não é viável economicamente (Faro, 1979).

O VPL é um critério rigoroso, isento de falhas técnicas, e a obtenção do valor em termos atuais facilita a relação com o valor monetário no presente (Chichorro, 1987). Segundo este autor, a desvantagem do método do VPL é a dificuldade na adoção da taxa de desconto, em que assume-se a sua não variação ao longo do tempo e, também, a difícil estimativa do fluxo futuro de benefícios e custos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

● Estimativa da produção

A função logarítmica, apresentando a idade ótima de corte como variável independente, foi usada para a estimativa da produção. Esta escolha baseou-se na descrição da curva esperada de crescimento da floresta, gerada pela equação.

A equação utilizada, que se encontra no Tabela 2, estima o volume, em metros cúbicos por hectare, transformados depois para metro estéreo por hectare, para facilitar a análise econômica, utilizando-se o fator de conversão de 1,75 conforme os dados da empresa.

TABELA 2. Equação de produção volumétrica.

Equação de produção (m ³ /ha)	R ²	S _{yx}	F
V = 207.336 (0,002239) ^{1/1}	0,945	0,180	1015,25

Na Figura 1, observa-se, de forma esquemática, a produção volumétrica, para as diferentes idades do povoamento. Constatou-se um crescimento mais acelerado nos primeiros quatro anos, passando, então, a apresentar um ligeiro declínio, tendendo a estabilizar-se.

● Determinação da idade ótima de corte: análise marginal

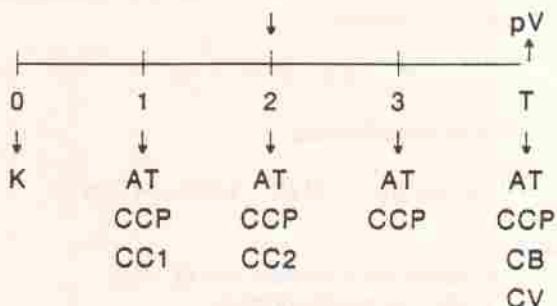
Os modelos utilizados para a determinação da idade ótima de corte tomam por base as características de estrutura temporal dos custos e receitas no processo de produção de madeira.

Estes modelos traduzem a maneira como o fluxo de receitas e de custos são integrados no processo produtivo.

São estudadas as estruturas temporais ou horizontes de planejamento de um corte e três cortes.

● Horizonte de planejamento de um corte

O esquema a seguir mostra esta situação.



Neste caso, tem-se um período "T" de produção, ou seja, o modelo se restringe a um investimento isolado, cujo VPL é representado por:

$$VPL = -K - \frac{(AT + CCP) \cdot (e^{rT} - 1)}{r \cdot e^{rT}} - \frac{CC1 \cdot e^r + CC2}{e^{2r}} + \frac{pV - CB - cV}{e^{rT}} \quad (1)$$

Considera-se como idade ótima de corte o valor de "T", que maximiza a equação 1. Logo, a condição necessária, ou de primeira ordem, de otimização de duração deste investimento é dada por $\sigma VPL / \sigma T = 0$. Ou seja:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma VPL}{\sigma T} &= - \frac{\sigma K}{\sigma T} - \frac{[(AT + CCP) \cdot (e^{rT} - 1)] / e^{rT}}{\sigma T} - \frac{(CC1e^r + CC2/e^{2r})}{\sigma T} + \frac{[(pV - CB - cV) / e^{rT}]}{\sigma T} \\ &= - \frac{\sigma K}{\sigma T} - \frac{re^{rT} \cdot \{[\sigma(AT + CCP) / \sigma T] \cdot (e^{rT} - 1) + (AT + CCP) \cdot [\sigma(e^{rT} - 1) / \sigma T]\}}{(e^{rT})^2} \\ &\quad - \frac{(AT + CCP) \cdot (e^{rT} - 1) \cdot [\sigma(re^{rT}) / \sigma T]}{(re^{rT})^2} - \frac{e^{2r} \cdot [\sigma(CC1e^r + CC2) / \sigma T]}{(e^{2r})^2} \\ &\quad - \frac{(CC1e^r + CC2) \cdot [\sigma(e^{2r}) / \sigma T]}{(e^{2r})^2} + \frac{e^{rT} \cdot [\sigma(pV - CB - cV) / \sigma T]}{(e^{rT})^2} \\ &\quad - \frac{(pV - CB - cV) \cdot [\sigma(e^{rT}) / \sigma T]}{(e^{rT})^2} = 0 \end{aligned}$$

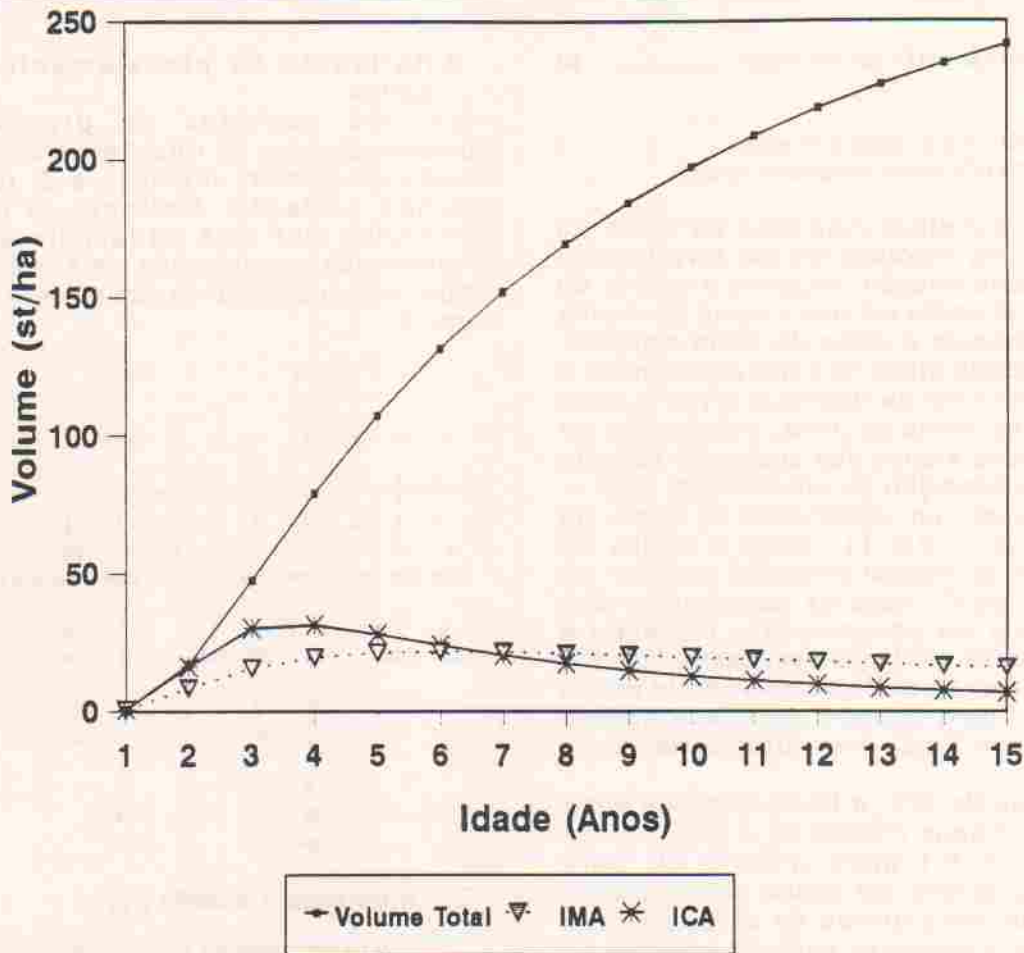


FIGURA 1. Equação de produção, em m³/ha.

Processando-se as simplificações, tem-se:

$$\frac{\sigma VPL}{\sigma T} = \frac{1}{e^{rT}} \cdot (p\sigma V/\sigma T - c\sigma V/\sigma T - rpV + rCB + rcV - AT - CCP) = 0$$

A condição de segunda ordem ou condição suficiente para a otimização da equação 1 será:

$$\frac{\sigma^2 VPL}{\sigma T^2} = \frac{e^{rT}}{(e^{rT})^2} \cdot \left[\frac{\sigma(p\sigma V/\sigma T)}{\sigma T} - \frac{\sigma(c\sigma V/\sigma T)}{\sigma T} - \frac{\sigma(rpV)}{\sigma T} + \frac{\sigma(rCB)}{\sigma T} - \frac{\sigma(rcV)}{\sigma T} - \frac{\sigma(AT)}{\sigma T} - \frac{\sigma(CCP)}{\sigma T} \right] \cdot \frac{1}{(e^{rT})^2} - (p\sigma V/\sigma T - c\sigma V/\sigma T - rpV + rCB + rcV - AT - CCP) \cdot re^r$$

Logo:

$$\frac{\sigma^2 VPL}{\sigma T^2} = \frac{1}{e^{rT}} \cdot (p\sigma^2 V/\sigma T^2 - c\sigma^2 V/\sigma T^2 - rp\sigma V/\sigma T + r\sigma V/\sigma T)$$

$\sigma^2 V/\sigma T^2$ mede a inclinação do incremento corrente anual, que é negativamente inclinado

no estágio racional da produção, ou seja, no segundo estágio da produção (Figura 1).

$\sigma V/\sigma T$ é o próprio incremento corrente anual, sendo, portanto, positivo no segundo estágio de produção.

Tem-se, então, que:

$$p \sigma^2 V/\sigma T^2 - rp \sigma V/\sigma T < 0;$$

$$-c \sigma^2 V/\sigma T^2 + rc \sigma V/\sigma T > 0.$$

Sabe-se, também, que "p > c", assim:

$$p \sigma^2 V/\sigma T^2 - rp \sigma V/\sigma T > -c \sigma^2 V/\sigma T^2 + rc \sigma V/\sigma T$$

Finalmente, tem-se:

$$\frac{\sigma^2 VPL}{\sigma T^2} = \frac{1}{e^{rT}} \cdot (p\sigma^2 V/\sigma T^2 - c\sigma^2 V/\sigma T^2 - rp\sigma V/\sigma T + r\sigma V/\sigma T) < 0.$$

Satisfeitas as condições de primeira e segunda ordem, que são ditas necessárias e suficientes para a maximização, pode-se determinar a idade ótima de corte por meio da seguinte equação:

$$p\sigma V/\sigma T + rCB + rcV = c\sigma V/\sigma T + rpV + AT + CCP \dots\dots\dots (2)$$

Em que:

$p\sigma V/\sigma T + rCB + rcV$ = receita marginal no tempo;
 $c\sigma V/\sigma T + rpV + AT + CCP$ = custo marginal no tempo.

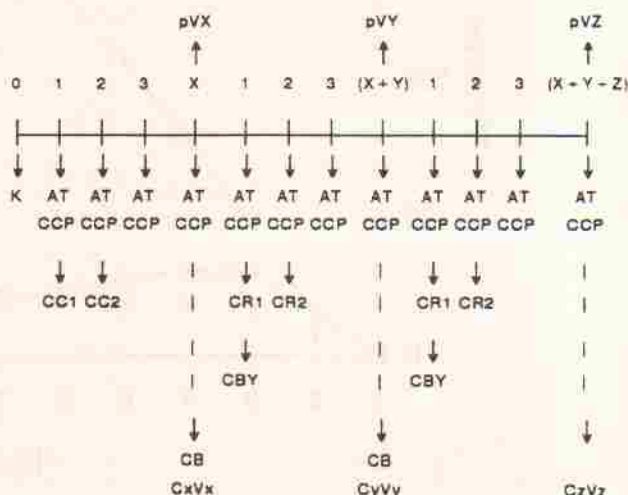
Portanto, o melhor momento de corte do povoamento, na hipótese de um investimento isolado, ou uma rotação, segundo o critério do VPL, ocorre no ponto em que a curva da receita marginal intercepta a curva do custo marginal. Ou ainda, a idade ótima de corte ocorre onde o incremento em valor de volume ($p\sigma V/\sigma T$), mais a economia na forma de juros, decorrentes do não desembolso efetivo dos custos de bateção pré-corte e exploração do povoamento ($rCB + rcV$), se igualam ao incremento no custo de exploração ($c\sigma V/\sigma T$), mais o custo de oportunidade do capital invertido no valor do povoamento (rpV), mais os pagamentos dos custos anuais de conservação, proteção e aluguel da terra (AT). Os resultados, para o estudo de casos, da idade ótima de corte para o povoamento, pelo método do VPL e análise marginal ($Rma = Cma$), encontram-se na Tabela 3.

Pelo método do VPL, a idade ótima de corte ocorre aos 8,0 anos (Tabela 3), e pela Análise Marginal, aos 8,1 anos (Figura 2). Esta diferença, observada em todos os horizontes estudados, ocorreu devido às características inerentes a cada processo, intervalos periódicos no VPL e análise contínua no critério marginal.

As curvas de receita marginal e custo marginal apresentam rápido crescimento até os quatro anos de idade do povoamento, devido às características do processo produtivo.

• Horizonte de planejamento de três cortes

Os três períodos de produção são representados por X, rotação do alto fuste, Y, rotação da primeira brotação e Z, rotação da segunda brotação. Portanto, o modelo é constituído por uma cadeia finita de três investimentos, em que cada um se relaciona, no tempo, com o anterior. A sua representação no tempo é:



O VLP da cadeia é dado por:

$$VPL = -K \frac{(AT + CCP) \cdot (e^{rx} e^{ry} e^{rz} - 1)}{e^{rx} e^{ry} e^{rz}} - \frac{CC1e^r + CC2}{e^{2r}} - \frac{CR1e^r \cdot (e^{ry} + 1)}{e^{rx} e^{ry} e^{2r}} - \frac{CR2 \cdot (e^{ry} + 1)}{e^{rx} e^{ry} e^{2r}} - \frac{CCBye^{ry} + CCBz}{e^{rx} e^{ry} e^r} + \frac{pVx - CB - cxVx}{e^{rx}} + \frac{pVy - CB - cyVy}{e^{rx} e^{ry}} + \frac{pVz - CB - czVz}{e^{rx} e^{ry} e^{rz}} \quad (3)$$

TABELA 3. Valor presente líquido (VPL), custo marginal (Cma) e receita marginal (Rma), para as diferentes idades do povoamento.

Idade (anos)	VPL (US\$/ha)	Cma (US\$/ha)	Rma (US\$/ha)
1,00	-559,42	32,45	9,98
2,00	-493,21	68,46	162,72
3,00	-330,42	112,88	301,59
4,00	-188,26	139,04	316,63
5,00	-89,58	155,93	287,97
6,00	-30,71	168,67	252,03
7,00	-2,80	179,14	219,26
8,00	2,39	188,12	191,76
9,00	-8,62	195,98	169,28
10,00	-30,92	202,94	150,99

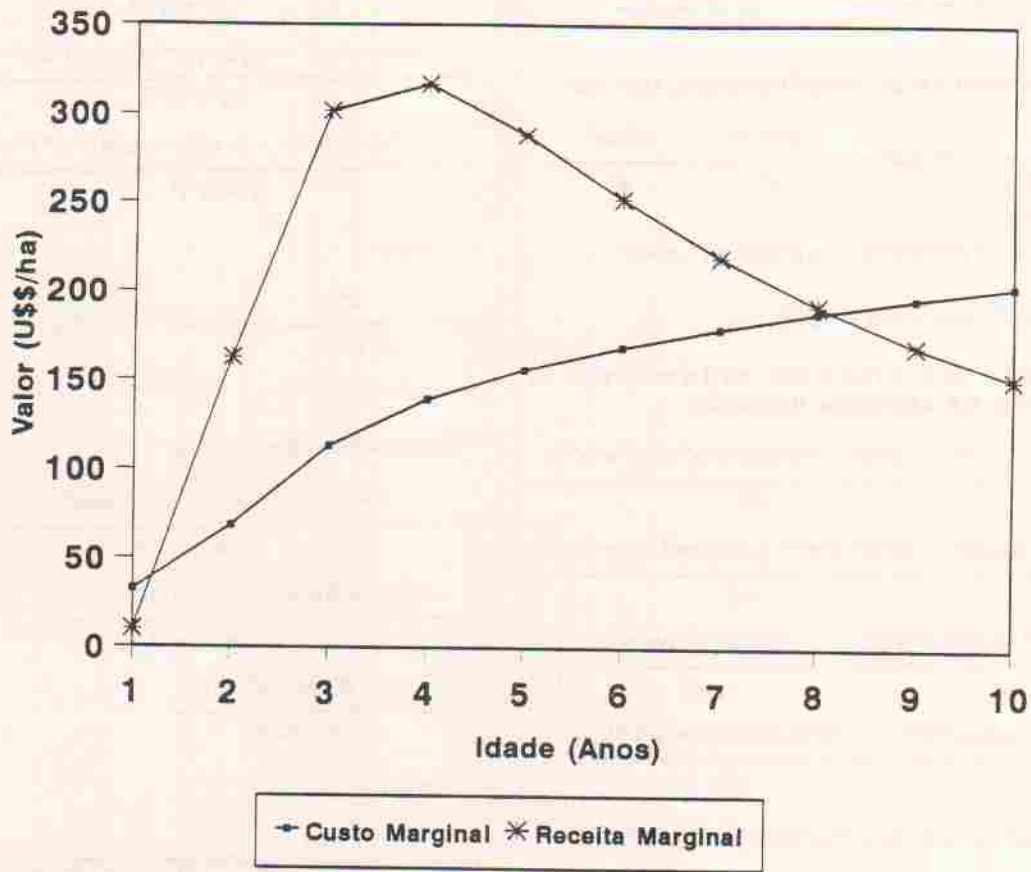


FIGURA 2. Determinação da idade ótima de corte do povoamento, em função do custo marginal e da receita marginal.

Têm-se, então, três idades ótimas de corte distintas, ou seja, tem-se o valor de X, Y e Z, que maximiza a expressão do VPL. As condições de maximização deste investimento são apresentadas a seguir:

A - Condições de primeira ordem para a maximização da equação 3

- Condição de primeira ordem para o povoamento do alto fuste

$$\frac{\sigma VPL}{\sigma X} = f_x = - \frac{\sigma K}{\sigma X} \frac{\sigma \{ (AT + CCP) \cdot [(e^{rx} e^{ly} e^{lz}) - 1] / re^{rx} e^{ly} e^{lz} \}}{\sigma X} - \frac{\sigma \{ (CC1e^t + CC2) / e^{2t} \}}{\sigma X} - \frac{\sigma \{ [CR1e^t (e^{ly} + 1) + CR2(e^{ly} + 1)] / e^{rx} e^{ly} e^{2t} \}}{\sigma X} - \frac{\sigma \{ (CCBye^{ly} + CCBz) / e^{rx} e^{ly} e^t \}}{\sigma X} + \frac{\sigma \{ pVz - CB - czVz \} / e^{rx} e^{ly} e^{2t}}{\sigma X}$$

Processando-se as simplificações têm-se:

$$f_x = \frac{1}{(e^{rx} e^{ly} e^{lz})} \cdot \frac{[-AT - CCP + rCR1e^{ly} e^t (e^{ly} + 1)]}{e^{2t}} + \frac{rCR2e^{ly} (e^{ly} + 1)}{e^{2t}} + \frac{r \cdot CCB_y \cdot e^{ly} e^{lz}}{e^t} + \frac{r \cdot CCB_z e^{lz}}{e^t} + p(\sigma V_x / \sigma X) e^{ly} e^{lz} - cz(\sigma V_x / \sigma X) e^{ly} e^{lz} - r \cdot pV_x e^{ly} e^{lz} + rCB_e^{ly} e^{lz} + r \cdot cxV_x e^{ly} e^{lz} - rpV_y e^{lz} + rCB_e^{lz} + rcyV_y e^{lz} - rpV_z + rCB + rczV_z = 0.$$

- Condição de primeira ordem para o povoamento da primeira brotação

$$\frac{\sigma VPL}{\sigma Y} = f_y = - \frac{\sigma K}{\sigma Y} \frac{\sigma \{ (AT + CCP) \cdot [(e^{rx} e^{ly} e^{lz}) - 1] / re^{rx} e^{ly} e^{lz} \}}{\sigma Y} - \frac{\sigma \{ (CC1e^t + CC2) / e^{2t} \}}{\sigma Y} - \frac{\sigma \{ [CR1e^t (e^{ly} + 1) + CR2(e^{ly} + 1)] / e^{rx} e^{ly} e^{2t} \}}{\sigma Y}$$

$$\frac{\sigma[(pVy-CB-cyVy)/e^{\alpha}e^{\gamma}]}{\sigma\gamma} + \frac{\sigma[(pVz-CB-czVz)/e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau}]}{\sigma\gamma}$$

Processando-se as simplificações, tem-se:

$$fx = \frac{1}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})} \cdot [-AT-CCP + \frac{r.CR1e^{\tau}e^{\gamma}}{e^{2\tau}} + \frac{r.CR2e^{\tau}}{e^{2\tau}} + \frac{r.CCBze^{\tau}}{e^{\gamma}} + p(\sigma Vy/\sigma\gamma)e^{\tau} - cy(\sigma Vy/\sigma\gamma)e^{\tau} - rpVye^{\tau} + rCBe^{\tau}rcyVye^{\tau} - rpVz + rCB + rczVz] = 0.$$

- Condição de primeira ordem para o povoamento da segunda brotação

$$\frac{\sigma VPL}{\sigma Z} = fx = - \frac{\sigma K}{\sigma Z} \cdot \frac{\sigma\{(AT+CCP) \cdot [(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau}-1)/re^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau}]\}}{\sigma Z} - \frac{\sigma[(CC1e^{\gamma}+CC2)/e^{2\tau}]}{\sigma Z} \cdot \frac{\sigma\{[CR1e^{\gamma}(e^{\gamma}+1)+CR2(e^{\gamma}+1)]/e^{\alpha}e^{\gamma}e^{2\tau}\}}{\sigma Z} - \frac{\sigma[(CCBye^{\gamma}+CCBz)/e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau}]}{\sigma Z} + \frac{\sigma[pVx-CB-cxVx]/e^{\alpha}}{\sigma Z} + \frac{\sigma[pVy-CB-cyVy]/e^{\alpha}e^{\gamma}}{\sigma Z} - \frac{\sigma[pVz-CB-czVz]/e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau}}{\sigma Z}$$

Processando-se as simplificações, tem-se:

$$fx = \frac{1}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})} \cdot [-AT-CCP + p(\sigma Vx/\sigma X) - cx(\sigma Vx/\sigma X) - rpVz + rCb + rczVz] = 0.$$

B - Condições de segunda ordem para maximização da equação 3

- Determinação de fxx

$$fxx = \frac{e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau}[p(\sigma^2 Vx/\sigma X^2)e^{\gamma}e^{\tau} - cx(\sigma^2 Vx/\sigma X^2)e^{\gamma}e^{\tau}]}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})^2} - \frac{r.p(\sigma Vx/\sigma X)e^{\gamma}e^{\tau} + r.cx(\sigma Vx/\sigma X)e^{\gamma}e^{\tau} - [-AT-CCP]}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})^2} + \frac{r.CRe^{\tau}e^{\gamma} \cdot (e^{\gamma}+1)/e^{2\tau} + \dots + rCB + rczVz]}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})^2}$$

$$fxx = \frac{e^{\gamma}e^{\tau}}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})} \cdot [p(\sigma^2 Vx/\sigma X^2) - cx(\sigma^2 Vx/\sigma X^2) - rp(\sigma Vx/\sigma X) + r.cx(\sigma Vx/\sigma X)] < 0.$$

- Determinação de fyy

$$fyy = \frac{e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau}[p(\sigma^2 Vy/\sigma\gamma^2)e^{\tau} - cy(\sigma^2 Vy/\sigma\gamma^2)e^{\tau}]}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})^2} - \frac{r.p(\sigma Vy/\sigma\gamma)e^{\tau} + r.cy(\sigma Vy/\sigma\gamma)e^{\tau} - [-AT-CCP]}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})^2} + \frac{r.CRe^{\tau}e^{\gamma}/e^{2\tau} + \dots + rCB + rczVz]}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})^2} \cdot re^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau}$$

Logo:

$$fyy = \frac{e^{\tau}}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})} \cdot [p(\sigma^2 Vy/\sigma\gamma^2) - cx(\sigma^2 Vy/\sigma\gamma^2) - rp(\sigma Vy/\sigma\gamma) + r.cx(\sigma Vy/\sigma\gamma)] < 0.$$

- Determinação de fzz

$$fzz = \frac{e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau}[p(\sigma^2 Vz/\sigma Z^2) - cz(\sigma^2 Vz/\sigma Z^2) - rp(\sigma Vz/\sigma Z)]}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})^2} + \frac{r.cZ(\sigma Vz/\sigma Z)[-AT - CCP - p\sigma Vz/\sigma Z + \dots + YCB + rCzVz]}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})^2} \cdot re^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau}$$

Logo:

$$fzz = \frac{1}{(e^{\alpha}e^{\gamma}e^{\tau})} \cdot [p(\sigma^2 Vz/\sigma Z^2) - cz(\sigma^2 Vz/\sigma Z^2) - rp(\sigma Vz/\sigma Z) + r.cz(\sigma Vz/\sigma Z)] < 0.$$

Uma vez definidos fxx, fyy e fzz, têm-se que calcular os Determinantes Hensianos, para concluir as condições de segunda ordem.

- Determinantes hensianos (DH)

- Determinação de DHx,y

$$DH_{x,y} = \begin{vmatrix} f_{xx} & f_{xy} \\ f_{yx} & f_{yy} \end{vmatrix} = f_{xx}.f_{yy} - f_{xy}.f_{yx}$$

Em que: fxx = 0, logo:

$$DH_{x,y} = (-) \cdot (-) - 0 \rightarrow DH_{x,y} > 0$$

- Determinação de DHx,z

$$DH_{x,z} = \begin{vmatrix} f_{xx} & f_{xz} \\ f_{zx} & f_{zz} \end{vmatrix} = f_{xx}.f_{zz} - f_{zx}.f_{xz}$$

Em que: fzx = 0, logo:

$$DH_{x,z} = (-) \cdot (-) - 0 \rightarrow DH_{x,z} > 0$$

- Determinação de DHx,z

$$DH_{x,z} = \begin{vmatrix} f_{yy} & f_{yz} \\ f_{zy} & f_{zz} \end{vmatrix} = f_{yy} \cdot f_{zz} - f_{zy} \cdot f_{yz}$$

Em que: $f_{zy} = 0$, logo:

$$DH_{y,z} = (-) \cdot (-) - 0 \rightarrow DH_{y,z} > 0$$

- Determinação de DHx,y,z

$$DH_{x,y,z} = \begin{vmatrix} f_{xx} & f_{xy} & f_{xz} \\ f_{yx} & f_{yy} & f_{yz} \\ f_{zx} & f_{xy} & f_{zz} \end{vmatrix}$$

$$DH_{x,y,z} = f_{xx} \cdot f_{yy} \cdot f_{zz} + f_{xy} \cdot f_{yz} \cdot f_{zx} + f_{xz} \cdot f_{yx} \cdot f_{zy} - f_{zx} \cdot f_{yy} \cdot f_{xz} - f_{zy} \cdot f_{yz} \cdot f_{xx} - f_{zz} \cdot f_{yx} \cdot f_{xy}$$

Em que: $f_{yx} = f_{zx} = f_{zy} = 0$, logo:

$$DH_{x,y,z} = (-) \cdot (-) \cdot (-) + 0 + 0 - 0 - 0 - 0 \rightarrow DH_{x,y,z} < 0$$

Finalmente, têm-se:

$$f_x = 0; f_y = 0; f_z = 0;$$

$$f_{xx} < 0; f_{yy} < 0; f_{zz} < 0; e$$

$$DH_{x,y} > 0; DH_{x,z} > 0; DH_{y,z} > 0; DH_{x,y,z} > 0.$$

Portanto, estas são as condições necessárias e suficientes para a maximização do VPL.

Observa-se que a idade ótima de corte do povoamento da segunda brotação influencia a idade ótima de corte do povoamento da primeira brotação e do alto fuste; e a idade ótima de corte do povoamento da primeira brotação influencia a idade ótima de corte do povoamento do alto fuste. Portanto, os resultados devem ser

apresentados, primeiramente, para a segunda brotação, seguindo-se a primeira brotação e o alto fuste.

O modelo final, que determina a idade ótima de corte destes povoamentos, é analisado para o tempo de referência "X + Y + Z".

• Idade ótima de corte para a segunda brotação

A idade ótima de corte deste povoamento é determinada a partir da seguinte expressão:

$$\frac{p\sigma V_z}{\sigma Z} + rCB + rczV_z = \frac{cz\sigma V_z}{\sigma Z} + rpV_z + CCP + AT \dots\dots (4)$$

Nota-se que a idade de corte deste povoamento não é influenciada pelas idades de corte dos povoamentos da primeira brotação e do alto fuste, ou seja, é determinada independentemente das demais, ocorrendo no ponto do tempo em que o seu incremento em valor de volume, mais a economia na forma de juros, decorrente do não desembolso efetivo dos seus custos de bateção pré-corte e exploração, é igual ao incremento no seu custo de exploração, mais o custo de oportunidade do capital investido neste povoamento, incluindo-se os pagamentos dos custos anuais de conservação e proteção e do aluguel da terra. Este resultado é semelhante àquele encontrado para o horizonte de um corte.

Os resultados, para o estudo de casos, da idade ótima de corte para a segunda brotação, pelo método do VPL e análise marginal ($R_{ma} = C_{ma}$), encontram-se na Tabela 4).

Observa-se que, pelo método do VPL, a idade ótima de corte do povoamento ocorre aos 7,00 anos (Tabela 4), e pela análise marginal, aos 7,6 anos (Figura 3).

TABELA 4. Valor presente líquido (VPL), custo marginal (C_{ma}) e receita marginal (R_{ma}), para as diferentes idades do povoamento da segunda brotação.

Idade (anos)	VPL (US\$/ha)	C_{ma} (US\$/ha)	R_{ma} (US\$/ha)
1,00	-796,01	31,71	6,79
2,00	-658,95	53,31	98,45
3,00	-326,12	79,97	181,76
4,00	-65,22	95,66	190,78
5,00	93,48	105,80	173,58
6,00	170,77	113,44	152,02
7,00	191,94	119,73	132,36
8,00	176,82	125,11	115,86
9,00	139,35	129,83	102,37
10,00	88,90	134,01	91,39

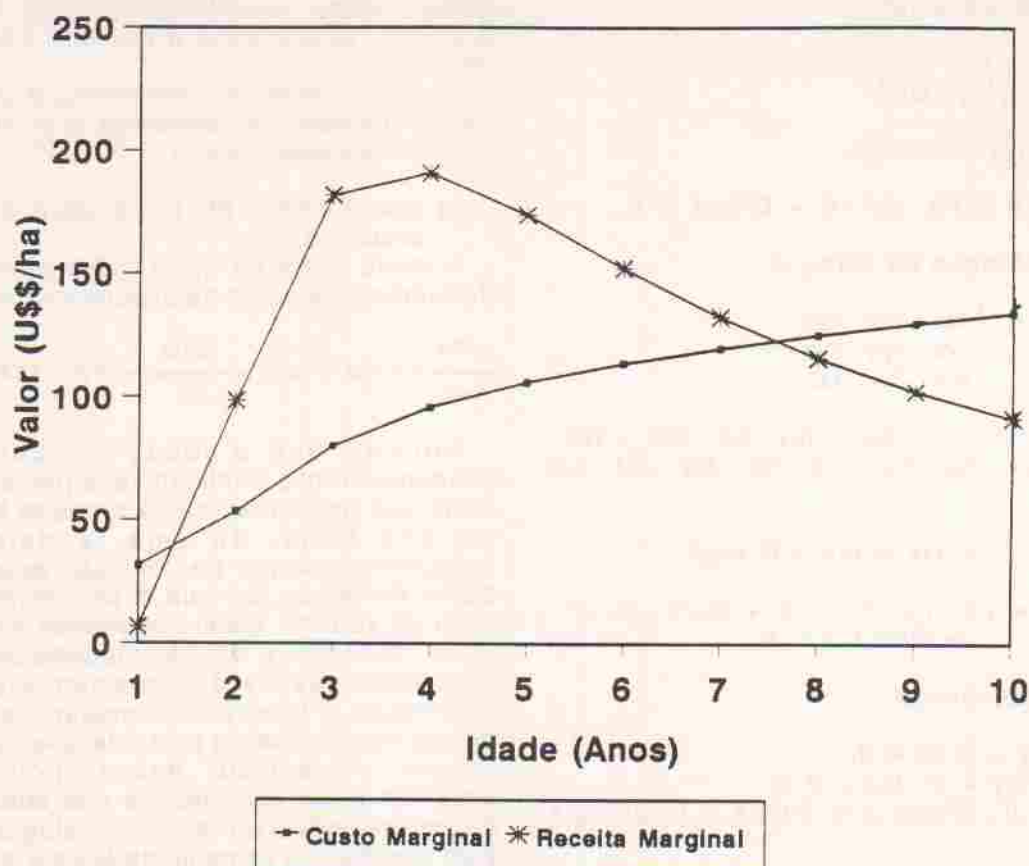


FIGURA 3. Determinação da idade ótima de corte do povoamento da segunda brotação, em função do custo marginal e receita marginal.

● Idade ótima de corte da primeira brotação

A idade ótima de corte deste povoamento é determinada pela seguinte expressão.

$$p \left(\frac{\sigma V_y}{\sigma Y} \right) \cdot e^{r^2} + rCB \cdot e^{r^2} + rcyVy \cdot e^{r^2} + rCCBz \cdot (e^{r^2}/e^r) + rCR1 \cdot (e^{r^2}/e^r) + rCR2 \cdot (e^{r^2}/e^{2r}) + rCB + rczVz = cy \left(\frac{\sigma V_y}{\sigma Y} \right) \cdot e^{r^2} + rpVy \cdot e^{r^2} + rpVz + CCP + AT \dots (5)$$

O melhor momento de corte da primeira brotação ocorre quando o incremento em valor de seu volume mais a economia na forma de juros, em função do não desembolso efetivo dos custos de bateção pré-corte e sua exploração, condução da brotação no primeiro ano da segunda brotação, roçada no primeiro e segundo ano da segunda brotação, bateção pré-corte e exploração da segunda brotação, se igualarem ao incremento no seu custo de exploração mais os custos de oportunidade do capital investido neste povoamento e na segunda brotação, mais os custos anuais de conservação e proteção, e do aluguel da terra.

Os resultados, para o estudo de casos, da idade ótima de corte para a primeira brotação, pelos métodos do VPL e análise marginal ($R_{ma} = C_{ma}$), encontram-se no Quadro 5.

Observa-se que, pelo método do VPL, a idade ótima de corte do povoamento ocorre aos 7,00 anos (Tabela 5), e pela análise marginal, aos 7,50 anos (Figura 4).

● Idade ótima de corte do alto fuste

Para o alto fuste, tem-se:

$$p \left(\frac{\sigma V_x}{\sigma X} \right) \cdot e^{r^y} e^{r^z} + rCBx \cdot e^{r^y} \cdot e^{r^z} + rcxVx \cdot e^{r^y} e^{r^z} + rCCBy \cdot (e^{r^y} e^{r^z}/e^r) + rCR1 \cdot (e^{r^y} e^{r^z}/e^r) + rCR2 \cdot (e^{r^y} e^{r^z}/e^{2r}) + rCBy \cdot e^{r^z} + rcyVy \cdot e^{r^z} + rCCBz \cdot (e^{r^z}/e^r) + rCR1 \cdot (e^{r^z}/e^r) + rCR2 \cdot (e^{r^z}/e^{2r}) + rCBz + rczVz = cx \left(\frac{\sigma V_x}{\sigma X} \right) \cdot e^{r^y} e^{r^z} + rpVx \cdot e^{r^y} e^{r^z} + epVy \cdot e^{r^z} + rpVz + CCP + AT \dots (5)$$

A idade ótima de corte deste povoamento ocorre no ponto em que o incremento em valor de seu volume, mais a economia na forma de juros provenientes do adiantamento ou não desembolso imediato de todos os custos futuros, descontados para o momento do primeiro corte (custo de bateção pré-corte para o alto fuste e brotações, custo de condução da primeira e segunda brotações, custo das roçadas das brotações) se igualam ao incremento no custo de exploração do alto fuste, mais a perda dos valores dos juros dos volumes

TABELA 5. Valor presente líquido (VPL), custo marginal (Cma) e receita marginal (Rma), para as diferentes idades do povoamento da primeira brotação.

Idade (anos)	VPL (US\$/ha)	Cma (US\$/ha)	Rma (US\$/ha)
1,00	-796,01	102,14	26,91
2,00	-658,95	154,28	255,44
3,00	-326,12	216,50	449,94
4,00	-65,22	253,13	471,00
5,00	93,48	276,79	430,86
6,00	170,77	294,63	380,53
7,00	191,94	309,30	334,63
8,00	176,82	321,88	296,12
9,00	139,35	322,88	264,63
10,00	88,90	342,63	239,01

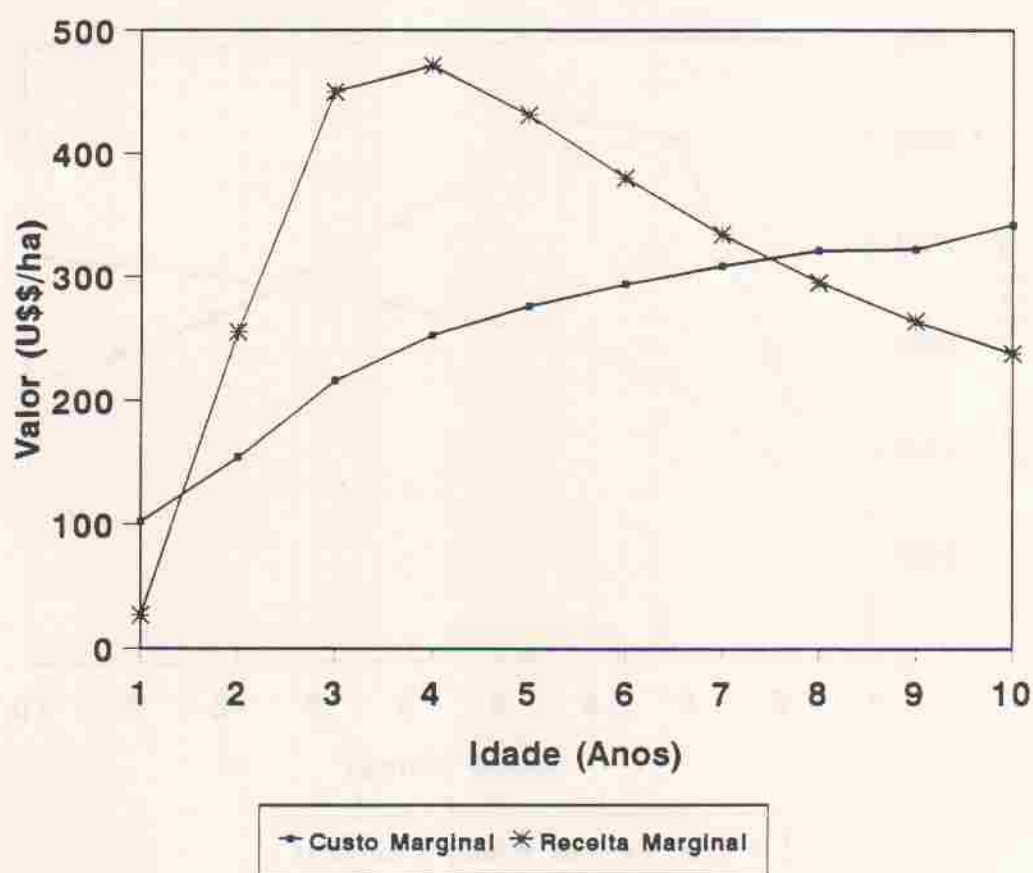


FIGURA 4. Determinação da idade ótima de corte do povoamento da primeira brotação, em função do custo marginal e receita marginal.

dos cortes do alto fuste e somados ainda os custos anuais (aluguel da terra e conservação e proteção).

Os resultados, para o estudo de casos, da idade ótima de corte para o alto fuste, pelos

métodos do VPL e análise marginal ($Rma = Cma$), encontram-se no Quadro 6.

Observou-se que, pelo método do VPL, a idade ótima de corte do povoamento ocorre aos 7,00 anos (Tabela 6), e pela análise marginal, aos 7,40 anos (Figura 5).

TABELA 6. Valor presente líquido (VPL), custo marginal (Cma) e receita marginal (Rma), para as diferentes idades do povoamento do alto fuste.

Idade (anos)	VPL (US\$/ha)	Cma (US\$/ha)	Rma (US\$/ha)
1,00	-796,01	271,86	100,96
2,00	-658,95	382,22	578,94
3,00	-326,12	518,38	1004,58
4,00	-65,22	598,53	1050,65
5,00	93,48	650,31	962,82
6,00	170,77	689,35	852,67
7,00	191,94	721,46	752,23
8,00	176,82	748,98	667,96
9,00	139,35	773,07	599,05
10,00	88,90	794,39	542,98

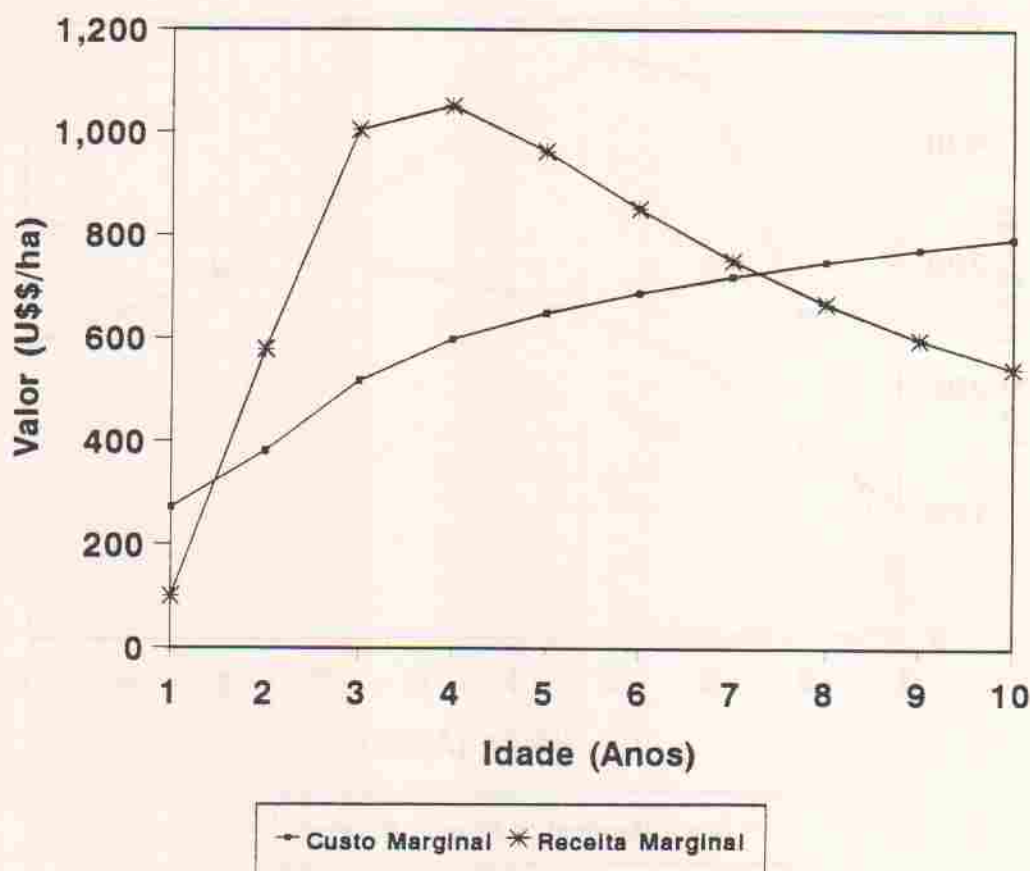


FIGURA 5. Determinação da idade ótima de corte do povoamento do alto fuste, em função do custo marginal e receita marginal.

Os povoamentos da segunda brotação, primeira brotação e alto fuste não apresentam uma mesma idade ótima de corte (Figuras 3, 4 e 5), apesar do uso de uma função de produção homogênea, apresentando apenas reduções percentuais nas produções volumétricas da

segunda brotação (40%) e da primeira brotação (20%), em relação ao alto fuste.

As diferenças entre as respectivas idades ótimas de corte destes povoamentos, apresentadas nas figuras 3, 4 e 5, ocorreram devido aos efeitos da base "e", durante a

determinação das idades ótimas de corte do alto fuste (e^{f^y} e e^{f^z}) e da primeira brotação (e^{f^z}), onde dispunham-se dos dados referentes a intervalos periódicos anuais e, principalmente, pela interdependência dos custos, conforme visto nas equações de otimização, para as três situações estudadas.

CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir que:

a) O efeito dos valores inerentes aos vários cortes pode ser chamado de efeito para trás. Isto é, a idade ótima de corte do povoamento atual (alto fuste ou qualquer brotação) influencia as idades de corte dos povoamentos anteriores e não dos povoamentos subsequentes.

b) O fato do efeito ser para trás, indica a necessidade de um planejamento acurado de todo o ciclo produtivo, pois a não previsão da idade de corte de qualquer das brotações impedirá a correta determinação das idades de corte dos povoamentos anteriores.

c) Ficou evidenciado que as idades de corte variam conforme o horizonte de planejamento utilizado e, dentro de um mesmo horizonte, varia entre o alto fuste e entre as brotações. Assim, a prática corrente entre as empresas, de utilizar uma rotação fixa, não é correta, levando, conseqüentemente, a incoerências teóricas e a prejuízos econômicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARO, L.G.G. **Localização econômica dos reflorestamentos com eucaliptos, para a produção de carvão vegetal, no Estado de Minas Gerais.** Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1985. 147p. (Tese Mestrado em Ciência Florestal).
- BENTLEY, W.R.; TEEGUARDEN, D.E. Financial maturity: a theoretical review. *Forest Science*, Madison, n.15, v.4, p.446-451, 1965.
- CHICHORRO, J.F. **Avaliação econômica de experimentos de adubação de *Eucalyptus grandis*, no cerrado de Minas Gerais.** Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1987. 125p. (Tese - Mestrado em Ciência Florestal).
- FARO, C. **Elementos de engenharia econômica.** 3.ed. São Paulo: Atlas, 1979. 328p.
- GAFFNEY, M.M. **Concept of financial maturity of timber and other assets.** Raleigh: North Carolina State college, 1960. 105p. (Paper Number, 62).
- HALEY, D. The importance of land opportunity cost in the determination of financial rotations. *Journal of Forestry*, Bethesda, n.64, v.5, p.326-329, 1966.
- McKILLOP, W. Land value, logging costs, and financial maturity. *The Forestry Chronicle*, Ottawa, n.47, v.4, p.210-214, 1971.
- MARTELL, D.L. The optimal rotation of a flammable forest stand. *Canadian Journal of Forest Research*, Toronto, n.10, v.1, p.30-34, 1980.
- NASLUND, B. Optimal rotation and thinning. *Forest Science*, Bethesda, n.15, v.4, p.446-451, 1969.
- NAUTIVAL, J.C.; FOWLER, K.S. Optimum forest rotation in a imperfect stumpage market. *Land Economics*, n.56, v.2, p.213-226, 1980.
- PEARSE, P.H. The optimum forest rotation. *The Forestry Chronicle*, Ottawa, n.43, v.2, p.178-195, 1967.
- REZENDE, J.L.P.; MINETTE, L.J.; TORQUATO, M.C. Determinação da idade ótima de corte para *Eucalyptus* spp., para as regiões Literânea, Metalúrgica e do Rio Doce. *Revista Árvore*, Viçosa, n.11, v.1, p.78-89, 1987.
- ROMERO, J.C.C.; REZENDE, J.L.P. **Avaliação econômica de danos a áreas reflorestadas com eucalipto, no Estado de Minas Gerais.** Viçosa, UFV, 1984. 50p.