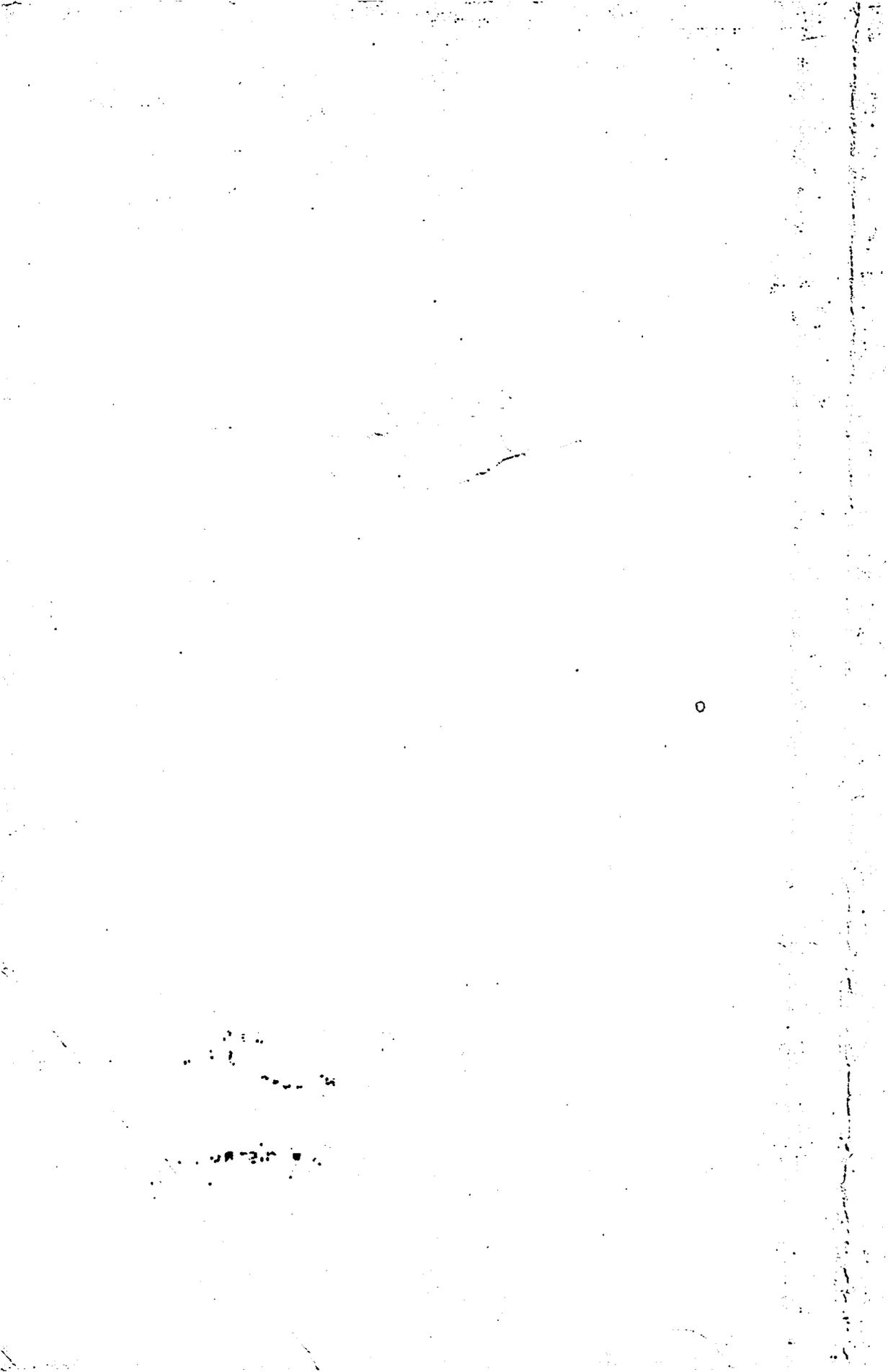




**ESTUDO ECONÔMICO DA REFORMA DE
POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* spp. – O
CASO DO PROGRESSO TECNOLÓGICO**

ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA

1999



47727
334704FN

ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA

DESCARTADO

ASSINATURA

Data 17, 10, 17

BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA
UFLA

**ESTUDO ECONÔMICO DA REFORMA DE
POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* spp. – O CASO DO PROGRESSO
TECNOLÓGICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração Produção Florestal, para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador
José Luiz Pereira de Rezende

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
1999

Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA

Souza, Álvaro Nogueira de

Estudo econômico da reforma de povoamentos de *Eucalyptus* spp. – o caso do
progresso tecnológico / Álvaro Nogueira de Souza. -- Lavras : UFLA, 1999.

140 p. : il.

Orientador: José Luiz Pereira de Rezende.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Eucalipto. 2. Rotação. 3. Manejo florestal. 4. Reforma. 5. Tecnologia. 6.
Progresso tecnológico. 7. Economia florestal. 8. Substituição de eucalipto. 9.
Produção florestal. 10. Cadeia de substituição. I. Universidade Federal de Lavras.

II. Título

CDD-634.92

-634.97342

ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA

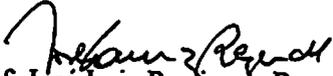
**ESTUDO ECONÔMICO DA REFORMA DE
POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* spp. – O CASO DO PROGRESSO
TECNOLÓGICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração Produção Florestal, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 26 de agosto de 1999.

Prof. Antônio Donizette de Oliveira UFLA

Prof. Márcio Lopes da Silva UFV


Prof. José Luiz Pereira de Rezende
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus

Aos meus pais Jair e Maria Auxiliadora

Aos meus irmãos Sandro, Juliano e Júnior

Ao amigo John

A todos os demais familiares

OFEREÇO!!

A minha esposa Ellen, com carinho,

DEDICO!!

AGRADECIMENTOS

A Deus por todos os momentos...

A minha família pelo apoio.

Ao Departamento de Ciências Florestais da UFLA pela oportunidade.

Ao professor José Luiz Pereira de Rezende pela orientação e amizade.

Ao professor Antônio Donizette de Oliveira pela co-orientação e amizade.

Ao professor José Roberto Soares Scolforo pela co-orientação e apoio.

Ao professor Márcio Lopes da Silva pelas sugestões.

Ao professor Fausto pelas sugestões e amizade.

Aos professores Sebastião, Donizette, José Luiz, José Roberto, Maria Teresa, Arnaldo e Ricardo pelas aulas.

Ao convênio FAPEMIG/FIEMG pela concessão de bolsa de estudo.

A todos os colegas do curso de graduação e pós-graduação em Engenharia Florestal da UFLA.

Aos colegas do curso de pós-graduação em Administração Rural.

Aos amigos Vicente e Annassílvia pelo apoio na fase de revisão de literatura.

Aos funcionários Lilian, Sérgio, Jander, Teresinha, Chica e Gláucia.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 Introdução Geral.....	01
2 Objetivos Gerais.....	02
3 Referencial Teórico.....	02
3.1 Rotação ou Idade Ótima de Corte.....	02
3.2 Reforma.....	04
3.2.1 O Preparo do Solo.....	07
3.2.2 Plantio e Tratos Culturais.....	07
3.3 O Interplântio.....	08
3.4 O Adensamento.....	09
3.5 Critérios Econômicos Utilizados na Avaliação de Projetos.....	11
3.5.1 Projetos Convencionais.....	11
3.5.2 Projetos não Convencionais.....	11
3.6 Critérios que não Consideram o Valor do Capital no Tempo.....	11
3.6.1 Tempo de Retorno do Capital Investido (Pay-Back Period).....	11
3.7 Critérios que Consideram o Valor do Capital no Tempo.....	12
3.7.1 Valor Presente Líquido.....	12
3.7.2 Taxa Interna de Retorno.....	13
3.7.3 Benefício (Custo) Periódico Equivalente.....	13
3.7.4 Custo Médio de Produção.....	14
3.8 Função de Produção.....	15
3.8.1 Função Gompertz.....	15
3.9 Teoria Econômica da Substituição de Máquinas Equipamentos.....	16
3.9.1 Aplicação da Teoria de Substituição de Máquinas ao Setor Florestal..	19
3.10 Métodos de Substituição.....	21
3.11 Progresso Tecnológico.....	22
3.12 Progresso Tecnológico no Setor Florestal.....	23
4 Referências Bibliográficas.....	24
CAPÍTULO 1: Estudo da época ótima de substituição de povoamentos de <i>Eucalyptus</i> spp – O caso da tecnologia constante.	
Resumo.....	29
Abstract.....	31
1 Introdução.....	33
1.1 Rotação ou Idade Ótima de Corte.....	33
1.2 Reforma.....	33
2 Objetivos.....	35
3 Material e Métodos.....	35
3.1 Métodos Empregados na Avaliação Econômica de Projetos.....	35
3.2 Função de Produção.....	36
3.3 Receitas.....	36
3.4 Custos.....	38
3.5.1 Planilha de Custos e Demais Valores Considerados para os Cálculos.	38
4 Resultados e Discussão.....	39

4.1 Rotação ou Idade Ótima de Corte.....	39
4.2 Ciclo Terminal.....	41
4.3 Cadeia de Substituição.....	42
5 Conclusões.....	45
6 Referência Bibliográficas.....	46
CAPÍTULO 2: Estudo do momento ótimo de substituição de povoamentos de <i>Eucalyptus</i> spp – O caso da tecnologia aumentando as receitas.	
Resumo.....	48
Abstract.....	50
1 Introdução.....	52
2 Objetivos.....	55
3 Material e Métodos.....	55
3.1 Métodos Empregados na Avaliação Econômica de Projetos.....	55
3.2 Função de Produção.....	56
3.3 Receitas.....	66
3.4 Custos.....	67
3.4.1 Planilha de Custos e Demais Valores Considerados para os Cálculos.....	67
4 Resultados e Discussão.....	68
4.1 O Modelo.....	68
4.2 Rotação.....	71
4.3 Cadeia de Substituição.....	72
5 Conclusões.....	75
6 Referências Bibliográficas.....	76
CAPÍTULO 3: Estudo do momento ótimo de substituição de povoamentos de <i>Eucalyptus</i> spp – O caso do progresso tecnológico reduzindo custos.	
Resumo.....	77
Abstract.....	79
1 Introdução.....	81
2 Objetivos.....	83
3.1 Métodos Empregados na Avaliação Econômica de Projetos.....	84
3.2 Função de Produção.....	85
3.3 Custos.....	85
3.4 Receitas.....	94
4 Resultados e Discussão.....	97
4.1 Rotação.....	97
4.2 O Modelo.....	98
4.3 Cadeia de Substituição.....	99
4.3.1 Período de 1960-2000.....	100
4.3.1 Período de 1960-2000.....	100
5 Conclusões.....	101
6 Referências Bibliográficas.....	102
CAPÍTULO 4: Estudo da época ótima de substituição de povoamentos de <i>Eucalyptus</i> spp – O caso do progresso tecnológico.	
Resumo.....	103
Abstract.....	105
1 Introdução.....	107

2	Objetivos.....	109
3	Material e Métodos.....	109
3.1	Métodos Empregados na Avaliação Econômica de Projetos.....	109
3.2	Função de Produção.....	110
3.3	Receitas.....	120
3.4	Custos.....	121
4	Resultados e Discussão.....	132
4.1	O Modelo.....	132
4.2	Rotação.....	135
4.3	Cadeia de Substituição.....	136
5	Conclusões.....	138
6	Referências Bibliográficas.....	139

ESTUDO ECONÔMICO DA REFORMA DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* spp – O CASO DO PROGRESSO TECNOLÓGICO

RESUMO GERAL

SOUZA, A.N. Estudo econômico da reforma de povoamentos de *Eucalyptus* spp – O caso do progresso tecnológico. Lavras: UFLA, 1999. 140p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).¹

Os estudos referentes à reforma ou substituição de eucaliptais são de fundamental importância em trabalhos que visem a maximização dos retornos sobre o capital investido. Os projetos florestais se caracterizam por serem de longo prazo de maturação e por demandarem altos investimentos. A média de área reformada anualmente por grandes empresas que atuam na região do Cerrado do Estado de Minas Gerais passa de 3.000ha. Considerando o alto custo desta atividade, os trabalhos envolvendo a questão da reforma são de capital importância para que os objetivos do manejo florestal sejam alcançados. Deve-se incluir nas análises os ganhos proporcionados pelo progresso tecnológico que se resumem no aumento da produtividade e na redução dos custos. O presente trabalho teve como objetivos: Estudar a época ótima de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp considerando a tecnologia constante; estudar a época ótima de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp considerando a produtividade crescente e os custos constantes ao longo do tempo; estudar a época ótima de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp considerando os custos decrescentes e a produtividade constante ao longo do tempo; estudar a época ótima de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp considerando os ganhos proporcionados pelo progresso tecnológico na produtividade e nos custos. A metodologia proposta constou de modelos que permitiram retratar com fidelidade o comportamento da produtividade e dos custos ao longo do tempo beneficiados pelo progresso tecnológico. Concluiu-se que a taxa de progresso tecnológico exerce grande influência na rotação econômica e no número de cortes entre reformas ou substituições e que a taxa de progresso tecnológico, tanto na produtividade quanto na redução dos custos, vem caindo ao longo do tempo.

¹ Comitê Orientador: José Luiz Pereira de Rezende (Orientador) – UFLA, Antônio Donizette de Oliveira – UFLA, José Roberto Soares Scolforo – UFLA.

1. INTRODUÇÃO GERAL

As grandes empresas florestais que atuam na região do Cerrado do Estado de Minas Gerais reformam anualmente mais de 3.000 ha de florestas de *Eucalyptus* spp. Considerando o alto custo desta atividade, os estudos envolvendo a questão da reforma ou substituição de povoamentos são de capital importância para que os objetivos do manejo florestal sejam alcançados.

Trabalhos envolvendo o tema não são muitos na literatura pertinente, porém, quando encontrados, são pesquisas estáticas que consideram as produtividades e os custos constantes ao longo do horizonte de planejamento. Portanto, não são contemplados, para fins de análise econômica dos projetos florestais, os ganhos proporcionados pelo progresso tecnológico.

O efeito da tecnologia no Setor Florestal proporcionou ao longo do tempo inúmeras conquistas. Desde meados da década de 60, quando foram instituídos os incentivos fiscais, até hoje. Em 35 anos, o Setor que no início era reduzido a uma secretaria que tratava da compra e venda de matéria prima florestal, alcançou um lugar de destaque na economia nacional, sendo considerado um dos setores mais competitivos.

Estudos sobre a reforma ou substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp que não consideram os ganhos alcançados pela tecnologia têm sua importância por se tratarem de projetos em que a estrutura das receitas e dos custos é simplificada porque os valores se repetem ao longo do tempo. Assim, a elaboração de modelos e o entendimento da influência dos fatores que afetam a reforma ficam facilitados. Entretanto, a busca de melhores resultados em empreendimentos que demandam altos investimentos, como os projetos florestais, requer uma consideração detalhada de todos os fatores que possam intervir para maximizar o retorno sobre o capital investido. Sendo assim, considerar o progresso tecnológico e sua contribuição para o aumento da produtividade e para a redução dos

custos que incorrem ao longo do tempo se tornou uma necessidade nos trabalhos envolvendo a reforma de povoamentos florestais.

2. OBJETIVOS GERAIS

O presente teve os seguintes objetivos gerais:

- Estudar a época ótima de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp considerando a tecnologia constante;
- Estudar a época ótima de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp considerando a produtividade crescente e os custos constantes ao longo do tempo;
- Estudar a época ótima de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp considerando os custos decrescentes e produtividade constante ao longo do tempo;
- Estudar a época ótima de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp considerando os ganhos proporcionados pelo progresso tecnológico na produtividade e nos custos.

3 - REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Rotação ou Idade Ótima de Corte

No manejo da eucaliptocultura, antes de se pensar na questão da reforma propriamente dita, o conhecimento da idade em que os povoamentos serão cortados é ponto fundamental.

Considerando-se a importância do Setor Florestal para a economia brasileira, com ênfase na cultura do eucalipto, numerosas pesquisas procuraram e ainda procuram conhecer melhor a rotação ou idade ótima de corte, item considerado de fundamental importância para o sucesso do empreendimento.

Davis (1966) definiu rotação como sendo o tempo passado entre o estabelecimento e o crescimento de uma floresta até o momento de ser

explorada. Para ele, o problema maior envolvendo o assunto está em determinar este tempo.

A idade ótima de corte dos povoamentos florestais é função de fatores como produtividade, taxa de desconto, valor da madeira e custo de produção, sendo assim, ela deve ser determinada e não arbitrada, para avaliações futuras (Chichorro, 1987).

A observância da idade ótima de corte é de fundamental importância no resultado final de um povoamento florestal, uma vez que, realizando esta operação fora desta idade, o manejador ou investidor florestal estará contribuindo para a elevação dos seus custos de produção, deixando de obter o máximo retorno sobre o investimento (Hoffman e Berger, 1974 e Rezende et al, 1987b).

Segundo Osmaton (1968), de acordo com os propósitos do manejo, a rotação pode ser classificada como:

- a) Rotação ecológica ou física - é a rotação que coincide com o ciclo de vida de uma espécie em um dado sítio. Este tipo não afeta a economia florestal de mercado, porém tem efeito sobre bens intangíveis;
- b) Rotação silvicultural - esta rotação é aquela em que as espécies mantêm um vigor de crescimento e uma capacidade de reprodução satisfatória em um dado sítio. Neste caso, ela só poderá ser atingida após um longo período de tempo, sendo mais usada em florestas para fins paisagísticos;
- c) Rotação técnica - é a rotação em que as espécies produzem o máximo de material para um dado uso. É considerada quando se produz madeira para postes, serraria, laminados, papel, carvão vegetal etc;
- d) Rotação de máxima produtividade volumétrica - é aquela em que é considerada a maior produção de madeira por ano. É uma rotação muito utilizada, sendo determinada quando o incremento médio anual é máximo;
- e) Rotação econômica - é a rotação que maximiza os retornos do investimento, ou seja, o lucro sobre o investimento é máximo. Esta leva em conta os custos e as receitas do investimento e a variação do capital no

tempo, sendo incorporados ao modelo os custos de implantação, manutenção, exploração, terra e administração.

Independente do critério utilizado para determinar a idade de corte, ele não deve ser rígido, preservando os interesses da empresa, que tendo os seus objetivos mudados ou ocorram mudanças nas condições econômicas, possam ser realizados os ajustes que se fizerem necessários. Um outro ponto é que, mesmo quando um tratamento é considerado ótimo em relação a uma determinada espécie, pode não o ser quando se considera a empresa como um todo. Os autores alertaram para o fato de que a maturidade financeira do povoamento ocorre quando o valor atual do acréscimo do povoamento é justamente igual ao custo que representa a manutenção deste povoamento por mais um ano (Johnston et al, 1977 e Nautiyal, 1988).

Smith (1989) constatou que as empresas que utilizam espécies do gênero *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal orientam-se pela necessidade de suprimento de madeira e pela oportunidade de mercado, o que leva a empresa a comprar madeira que apresente preço menor que seu custo de produção em detrimento do corte de povoamentos que estão na idade ótima de corte ou já passaram dela.

3.2. Reforma

A reforma de um povoamento florestal consiste na substituição de talhões de potencial produtivo muito baixo por um novo povoamento originado do plantio de mudas (Simões et al 1981 ; Silva 1990).

Antes de se reformar um povoamento é preciso estar certo de que a nova tecnologia usada não será superada antes de ter pago seu próprio investimento. É preciso também considerar o fato de que muitas vezes pode-se pular uma fase intermediária, passando diretamente de uma tecnologia totalmente superada para uma "super moderna". Este fato ocorre quando o surgimento de uma tecnologia revolucionária é iminente.

Segundo Rezende et al (1987a), quando se está diante da questão reformar ou não um povoamento, é preciso considerar alguns aspectos econômicos como:

- O manejo das brotações é menos dispendioso, em termos de custo por unidade de área, que a efetivação de um novo plantio;

- O novo plantio é mais produtivo que o reflorestamento substituído, dado que houve desenvolvimento tecnológico na condução dos plantios, aperfeiçoamento e melhoria do material genético usado, seleção das espécies mais produtivas, seleção dos espaçamentos e níveis de fertilização mais adequados à produção de madeira;

- Há problemas de falhas nas brotações;

- Os custos de um povoamento já implantado são fixos e podem ser desconsiderados, mas psicologicamente exercem grande influência na análise, agindo em prol da manutenção do “status quo”;

- O custo de reforma é menor que o custo de plantio original, uma vez que alguns custos, como os de abertura de estradas, aceiros e construção de cercas não se repetem.

Sobre este assunto, Simões et al (1981) consideraram que um dos problemas mais comuns, após a execução do primeiro ou segundo corte em plantações de eucaliptos submetido ao regime de talhadia, é decidir qual será a alternativa mais viável para a futura condução do povoamento, ou seja, decidir pela manutenção do povoamento, aproveitando a brotação das cepas remanescentes ou, então, pela reforma do mesmo.

Segundo Berger et al (1974), é de suma importância que essa escolha seja embasada em dados e informações técnica e economicamente corretas, a fim de otimizar a decisão do manejador. Dessa forma, seriam reduzidas ao mínimo as possibilidades de prejuízos financeiros para a empresa em face do tamanho das áreas, da mão-de-obra e do capital envolvidos em tais operações.

A questão da reforma foi abordada por Rezende et al (1987a) e considerada um das mais importantes variantes do manejo de florestas

plantadas em busca da maximização do retorno sobre o capital investido. Em suas próprias palavras, o autor afirmou que: *“Embora não existam trabalhos cientificamente conduzidos que permitam inferir, de modo incontestado, a influência de fatores mecânicos, ecológicos e silviculturais no rendimento florestal dos cortes dos regimes de talhadia, nem do ponto de vista puramente técnico, nem tampouco do ponto de vista econômico, é necessária uma decisão quanto a se fazer a reforma ou continuar explorando as talhadias. Na verdade, está-se falando de uma das mais importantes decisões da atualidade nas empresas florestais, que é a determinação do ponto ótimo econômico de substituição de reflorestamentos velhos por um novo plantio, isto é, quando fazer a reforma..”*

Mesmo sabendo que estudos econômicos sobre a época ótima de se reformar um povoamento podem causar reduções significativas nos custos médios de produção, ou aumentos significativos na renda e na produtividade, o que se observa é que as brotações são conduzidas muito além desta época ótima. Tal fato é observado por ser o Setor Florestal tradicional e que demanda investimentos de longo prazo, o que torna os investidores um tanto conservadores ou avessos a riscos.

Lopes (1990) afirmou que a condição satisfatória de qualquer empreendimento depende de planejamento que englobe os fundamentos técnico-econômicos de todos os fatores relevantes, reconhecendo as restrições e ordenando os recursos disponíveis para que se atinja a situação desejada. Contudo, é importante a exatidão e segurança com que se pode prognosticar o desenvolvimento futuro dos fatores que influenciarão os objetivos preconizados, bem como as suas tendências econômicas.

Teoricamente, a decisão da reforma pode ser tomada tanto no momento do primeiro quanto segundo, terceiro e demais cortes. Do ponto de vista técnico ou silvicultural, ela é composta por três operações distintas: preparo do solo, plantio e tratamentos culturais, sendo que somente o preparo do solo difere do plantio original (Oliveira, 1986).

3.2.1. O preparo do solo

O preparo do solo para a reforma é comumente mecanizado devido às grandes extensões das áreas e os equipamentos usados nesta etapa são a grade bedding e o arado reformador. Estes dois equipamentos produzem ondulações no terreno, chamadas de camalhões. A profundidade de corte da grade bedding é de 30 cm, deixando ondulações de 60 cm, já o arado reformador corta a uma profundidade de 20 cm e deixa ondulações de 40 cm (Ripasa 1980). A utilização da grade bedding pela maioria das empresas tem dois objetivos: a marcação e adubação de novas covas para plantio e a morte dos tocos por soterramento, evitando possíveis competições entre as brotações e as mudas implantadas. O rendimento médio em operações simultâneas (recobrimento e adubação) tem sido de 1,2 horas por hectare (Simões et al 1981).

Posteriormente, as covas são abertas entre os tocos, mantendo-se o mesmo alinhamento, ficando a entrelinha mantida para a execução de tratos culturais.

Oliveira (1986) relatou que em determinadas áreas do cerrado, junto à reforma, as empresas realizam a destoca com intuito de permitir mudanças no alinhamento e espaçamento e buscando novo plantio em curvas de nível. Contudo, Ripasa (1980) constatou que tais mudanças resultaram em queda de 30% do rendimento operacional da grade bedding. Como uma forma de evitar perdas e aumentar a produtividade da grade bedding, Oliveira (1986) sugeriu a reforma imediata, que seria aquela realizada logo após o primeiro corte, onde, segundo o autor, a cobertura dos tocos é facilitada, pois cepas grandes, neste caso, são raras. Após 4 ou 5 meses da reforma, ela passa a ter aspecto de um plantio normal.

3.2.2. O Plantio e os Tratos Culturais

Rezende (1984), citado por Oliveira (1986), disse que em se tratando de reforma, as operações de plantio são as mesmas realizadas em um plantio normal, passando pela colocação de terra adubada nas covas a partir do

prévio conhecimento das necessidades do solo. As mudas utilizadas são previamente estudadas quanto à adequação da espécie e do clone mais adaptados ao local de plantio.

Ribeiro (1985) atentou para o fato de que, no máximo após 30 dias decorridos do plantio, deverá ser realizado o replantio para cobrir possíveis falhas, porém esta operação só foi considerada viável quando a porcentagem de falhas foi maior que 5%.

Uma alternativa à reforma é a intervenção no povoamento atual, após o primeiro corte, através de duas práticas que serão consideradas a seguir.

3.3. O Interplantio

Freitas et al (1978) definiram o interplantio como sendo uma forma de manejo que diminuiria o número de falhas decorrentes da segunda rotação, falhas estas que interfeririam no volume de madeira esperado.

De maneira mais ampla, Champion (1982), citada por Oliveira (1986), considerou que esta prática tem o objetivo de substituir plantas dominadas ou repor falhas em plantios de eucaliptais destinados a rotações sucessivas.

Todavia, Freitas et al (1979) relataram que alguns problemas podem surgir mesmo quando o interplantio é realizado com material de alta produtividade. O desenvolvimento inicial da brotação, ainda que de baixa qualidade, é mais rápido, visto que as mudas necessitam de um tempo para se adaptarem às condições do local de plantio, bem como para desenvolverem seu sistema radicular. O fato de existir diferentes potenciais produtivos sugere um possível sombreamento das brotações sobre as mudas interplantadas.

Para sanar este problema, Simões et al (1981) recomendaram o rebaixamento total da brotação, cerca de 3 a 4 meses após o corte, assim as brotações não suprimiriam as mudas interplantadas. Para que se tenha um desenvolvimento considerado satisfatório no talhão interplantado, os autores

relataram que é fundamental um bom preparo de solo, com cova e adubação que favoreçam a melhor formação do sistema radicular.

O interplântio, quando realizado em áreas de elevado potencial produtivo, é uma solução viável para o problema de florestas que apresentam alto potencial de falhas após o primeiro corte. Porém, Simões et al (1981) afirmaram que apesar de ser uma operação considerada viável pelas empresas, os estudos estavam ainda em desenvolvimento. Hoje, parece que esta questão ficou restrita a alguns casos em poucas empresas, não sendo uma operação realizada com frequência, considerando-se a hipótese da reforma.

Martini et al (1984) consideraram que esta escolha (reformular ou interplantar) tem relação direta com a forma de manejo e com o material genético. Para eles, quando estes dois itens foram mal planejados na primeira rotação, o interplântio seria arriscado. Em contrapartida, esta técnica seria interessante em casos onde o povoamento teve um bom rendimento no primeiro corte, e por alguma razão tenha tido um baixo índice de sobrevivência.

3.4. O Adensamento

De acordo com Simões et al (1981), o adensamento é uma técnica que implica no plantio de árvores nas entrelinhas das cepas resultantes da colheita do eucalipto com o intuito de reduzir o espaçamento, conseqüentemente aumentando a densidade, com o objetivo de provocar um incremento na produção dos talhões, em segunda rotação.

Segundo Moosmayer e Fonseca (1962), o adensamento pode ser usado para criar florestas de alta produção e aproveitar as árvores de maior interesse existentes, bem como ser uma forma de emprego da mão-de-obra e de equipamentos subutilizados. Este autor relatou, ainda, a instalação de ensaios que tinham como objetivo esclarecer dúvidas e aperfeiçoar a técnica de adensamento como uma variante da reforma de eucaliptais. A dúvida maior estava na viabilidade econômica do adensamento quando comparado

com a reforma. Neste aspecto, Rezende (1981), citado por Oliveira (1986), constatou que o adensamento só foi viável em casos onde a sobrevivência observada esteve entre 50 e 65% com relação ao plantio original.

Oliveira (1986) apontou algumas características positivas relacionadas à prática de adensamento:

- Diminui o período de rotação das florestas plantadas;
- Permite o aumento da produtividade do 2º e 3º cortes;
- Exige menor escala de investimentos quando comparado à reforma;
- Permite a utilização de material geneticamente superior;
- Permite a formação de florestas densas, vantajosas quando o objetivo é a produção de energia.

Porém, como no caso do interplantio, o adensamento foi uma tentativa de corrigir problemas com a baixa produtividade das talhadas, não sendo uma prática comum nas empresas florestais.

Contudo, nada substitui o bom senso. Os manejadores precisam proceder a análise técnica e econômica antes de tomarem qualquer decisão.

Para que a empresa florestal seja economicamente eficiente, é necessário que ela esteja embasada em critérios econômicos a fim de que os recursos sejam alocados racionalmente.

Estes critérios podem auxiliar na avaliação das condições de um povoamento florestal intervindo na necessidade de reformar ou substituir povoamentos implantados com tecnologia antiga, portanto, pouco produtivos e conseqüentemente onerosos para a exploração comercial, por povoamentos bem planejados, com espécies adaptadas ao local, visando melhores índices de qualidade e quantidade de matéria-prima (Ribas, 1989). Neste contexto, alguns critérios de avaliação econômica podem ser utilizados no auxílio às decisões.

3.5. Critérios econômicos utilizados na avaliação de projetos

A avaliação econômica de um projeto é feita com base nos custos e receitas que ocorrem ao longo de sua vida útil. Geralmente, os projetos podem ser convencionais e não convencionais.

3.5.1. Projetos Convencionais

São aqueles que sofrem apenas uma mudança de sinal em seus fluxos de caixa. Neles, as receitas líquidas mudam de negativas para positivas, e assim permanecem até o final. Um caso particular de projeto convencional acontece quando a mudança de sinal ocorre no primeiro período de tempo após seu início, neste caso ele é chamado de projeto de investimento simples (Rezende e Oliveira, 1999).

3.5.2. Projetos Não-convencionais

Os chamados projetos não-convencionais são aqueles onde há em seus fluxos de caixa mais de uma mudança nos sinais das receitas líquidas, como é o caso dos reflorestamentos com eucaliptos onde são efetuados 3 cortes (Rezende e Oliveira, 1999).

Diversos são os critérios utilizados para se estudar a viabilidade econômica de projetos e sua seleção, não havendo consenso entre os autores sobre o melhor. Basicamente, são divididos em critérios que não consideram o valor do capital no tempo e critérios que consideram o valor do capital no tempo.

3.6. Critérios que Não Consideram o Valor do Capital no Tempo

3.6.1. Tempo de Retorno do Capital Investido (Pay-Back Period)

Este critério é o mais simples e conhecido. Ele fornece informação de quantos períodos são necessários para que haja retorno do capital investido na implantação de um projeto.

A simplicidade de aplicação e o fornecimento de uma idéia sobre a liquidez dos projetos são suas vantagens. Sua utilização é maior por investidores que empregam capital em equipamentos que a uma taxa de progresso tecnológico se tornam obsoletos em pouco tempo, por isso a necessidade de se saber qual será o retorno do capital e em quanto tempo (Faro, 1972). O critério, porém, apresenta imperfeições como: não atualizar os custos futuros, não esclarecer por si qual o valor mínimo do tempo de retorno para se aceitar um projeto, ignora os problemas de escala e é falho para o caso em que os benefícios antecipam os investimentos (Contador, 1996).

Além deste, existem mais alguns critérios como o da Razão Receita/Custo e o da Razão Receita Média/Custo, porém, por não considerarem o valor do capital no tempo e não considerarem a ordem de ocorrência das parcelas, são desapropriados para avaliação de projetos com longo prazo de maturação (Rezende e Oliveira , 1993).

3.7. Critérios que Consideram o Valor do Capital no Tempo

3.7.1. Valor Presente Líquido

O critério do Valor Presente Líquido (VPL) é o mais adotado na avaliação de projetos florestais. Este critério é rigoroso e isento de falhas, o que lhe confere credibilidade (Contador, 1996).

O critério do VPL consiste em descontar para o ano zero do projeto todos os valores de receitas e custos do seu fluxo de caixa e subtraí-los. Algebricamente tem-se:

$$VPL = \sum_{x=0}^{nt} R_x (1 + r)^{-x} - \sum_{x=0}^{nt} C_x (1 + r)^{-x}$$

onde:

C_x = custos efetuados no ano x ;

R_x = receitas auferidas no ano x ;

r = taxa anual unitária de desconto;

t = rotação em anos;

n = número de cortes;

x = ponto no tempo, em anos, em que ocorrem custos e receitas

O VPL é muito sensível a mudanças nas taxas de juros e só se pode comparar projetos de mesma duração. Caso o VPL seja positivo, indica que o projeto é viável do ponto de vista econômico (Rezende e Oliveira, 1999).

3.7.2. Taxa Interna de Retorno

A taxa interna de retorno (TIR) de um projeto é a taxa que iguala o VPL a zero, ou seja, é quando o valor atual das receitas se iguala ao valor atual dos custos.

A viabilidade dos projetos é considerada nos casos onde a TIR é maior que a taxa de juros vigente no mercado.

Montenegro (1982) disse que o critério da TIR é derivado do VPL, portanto é necessário verificar se os projetos possuem os mesmos horizontes de planejamento e considerar a ordem de grandeza dos investimentos.

Faro (1972) fez considerações sobre a natureza dos projetos. Segundo ele, quando se trata de projetos convencionais, a TIR é única. No caso dos projetos não convencionais, podem ocorrer mais de uma taxa.

A grande vantagem no uso da TIR é não precisar de informações externas ao projeto, somente é necessário conhecer seu perfil e ter idéia da taxa de juros vigente no mercado (Contador, 1996).

3.7.3. Benefício (Custo) Periódico Equivalente

Considerando a taxa de juros sob a forma unitária em relação ao mesmo período adotado para o intervalo entre os fluxos de caixa, o Benefício (Custo) Periódico Equivalente (B(C)PE) permite a definição do custo, no caso de resultado negativo ou de benefício no caso de positivo, periódico equivalente de um projeto

A viabilidade do projeto é definida pelos valores positivos do B(C)PE, indicando que os benefícios periódicos são maiores que os custos periódicos (Rezende e Oliveira, 1999). Quando se faz seleção entre projetos, se todos forem viáveis, o de maior B(C)PE deverá ser escolhido.

O uso deste critério é freqüente nos casos em que se estudam equipamentos alternativos, que exercerão mesma tarefa. (Faro, 1972).

A característica mais importante deste critério é a correção implícita das diferenças entre horizontes de planejamento, o que dispensa uma análise incremental.

3.7.4. Custo Médio de Produção

O custo médio de produção (CMP_r) é o custo total por unidade de produção que as firmas utilizam quando querem operar com custos médios mínimos, independente da quantidade produzida e da duração do investimento.

De acordo com Rezende e Oliveira (1999), o CMP_r é dado pela relação entre o custo total atualizado e a produção total equivalente, sendo necessário converter os valores para um mesmo período de tempo.

A viabilidade do projeto é obtida pela comparação entre o custo médio de produção de uma unidade do produto e o seu valor de mercado. Quando há mais de um projeto, o de menor CMP_r deve ser o escolhido.

A curva de custo total médio é delineada em forma de U, portanto apresenta ponto mínimo. O declínio inicial no custo médio se deve ao declínio nos custos fixos médios e custos variáveis médios. Posteriormente, há um aumento nos custos variáveis médios, porém, o declínio do custo fixo médio de forma acentuada obriga o custo total médio a declinar mais ainda. Com o crescimento do custo variável médio mais que proporcional ao declínio do custo fixo médio, o custo total atinge um ponto mínimo e cresce em seguida. A forma da curva depende da eficiência com que os recursos fixos e variáveis são usados. (Leftwich, 1971; Ferguson, 1978 e Varian 1994).

3.8. Função de Produção

A função de produção é uma relação matemática entre os fatores envolvidos em qualquer processo produtivo (Girão, 1965).

Neste trabalho, este conceito será focado como sendo o crescimento em volume em função da idade do povoamento florestal.

3.8.1. Função de Gompertz

A Função de Produção de Gompertz com a forma geral do tipo:

$Y = f(t) = a * b^{q^m}$ é de amplo uso por retratar com eficiência o crescimento biológico em geral e definir com clareza os estágios de produção, condição imprescindível para a análise econômica. Além disso, traz a variável tempo explícita, permitindo a determinação da idade ótima de corte com facilidade. Diversos autores já utilizaram esta função em trabalhos como: análise de crescimento de gado bovino (Mischam, 1965); análise econômica dos arraçamento de frangos (Valentini, 1970); e crescimento de espécies florestais como as do gênero *Eucalyptus* e *Pinus* (Hoffmann e Thame, 1970; e; Hoffmann e Berger, 1974).

De acordo com Hoffmann e Vieira (1977), a Função Gompertz é monototicamente crescente e fica entre duas assíntotas horizontais. Sua forma típica está representada na Figura 1.

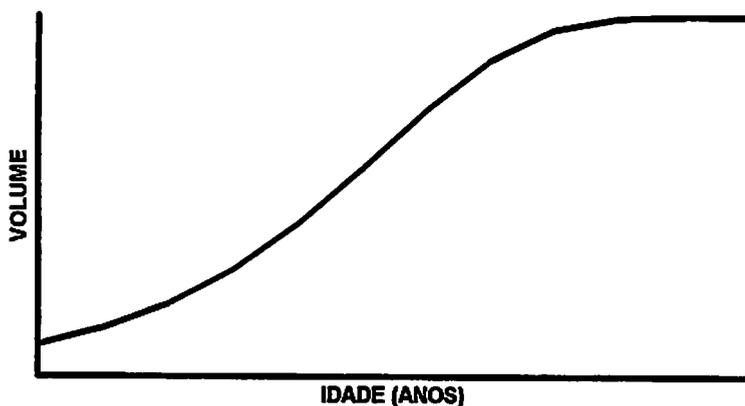


FIGURA 1. Curva Característica da Função Gompertz.

3.9. Teoria Econômica da Substituição de Máquinas e Equipamentos

Os trabalhos específicos de análise econômica sobre a reforma dos povoamentos de eucaliptos são quase inexistentes na literatura especializada no Brasil. Porém, é preciso notar que a reforma de um eucaliptal, no que tange ao aspecto teórico da análise econômica, é totalmente semelhante aos princípios econômicos que norteiam a teoria da substituição de máquinas e equipamentos

De acordo com os conceitos da Engenharia Econômica, MASSÉ (1962) diferenciou substituição de reforma quando se trata de máquinas e equipamentos. Para ele, uma substituição é efetuada quando o equipamento começa a ser incapaz de exercer a função para a qual foi designado e construído, e reforma seria um reparo nas unidades de maneira que continuassem a produzir dentro do esperado. Assim, no Setor Florestal a reforma seria o interplântio e o adensamento.

Um sistema produtivo pode ser substituído por várias razões, como: inadequação, perda da eficiência; obsolescência funcional, física ou econômica; elevação dos custos de manutenção e de reparos; surgimento no

mercado de sistemas mais econômicos e produtivos e aumento de riscos para os operadores.

Quando se trata de equipamentos, os estudos para avaliar a viabilidade da substituição devem levar em consideração:

- A existência de equipamentos tecnicamente melhores;
- Obsolescência Física: quando o equipamento está gasto e requer muita manutenção ou necessita de reforma;
- Inadequação: Quando o equipamento em uso não consegue suprir as novas demandas e necessidades do mercado;
- Obsolescência Funcional: É um caso em que há um decréscimo na demanda de bens produzidos pelo equipamento;
- Possibilidade de se utilizarem meios mais baratos de produção do que o uso e a manutenção dos equipamentos atuais.

Para o caso da substituição, sempre é considerada a existência de dois ativos que competem por terem características diferentes, sendo o velho equipamento chamado defensor e o novo chamado desafiante. (Hummel e Taschner, 1988).

Valverde e Rezende (1997) consideraram que o problema da substituição não é tão simples quanto a princípio se imagina. Existem conseqüências tanto na substituição prematura quanto na tardia. Para a determinação do tempo de substituição é preciso definir e conhecer parâmetros, tais como: O horizonte de planejamento, a atividade econômica, o futuro do investimento, os custos operacionais, os custos da depreciação, a taxa de juros, a utilização técnica correta da unidade, os programas de manutenção e reparos e os critérios econômicos a serem usados.

A substituição de um equipamento é realizada quando o processo de deterioração, que pode ser entendido por depreciação, é conhecido e provoca aumentos nos custos operacionais (Glupta e Cozzolino, 1974).

Para Massé (1962), quando se trata de máquinas e equipamentos, o procedimento para substituição é aplicado quando o equipamento atual inicia

equipamentos, este termo significa fazer reparos, portanto este trabalho terá o cuidado de utilizar o termo substituição.

Os autores cujos trabalhos envolviam o assunto reforma de eucaliptais sempre buscaram uma teoria específica aplicada ao tema, porém havia a crença de que esta teoria inexistia. Rezende (1987a) chamou a atenção para o fato de que a teoria existia e era ampla nos livros de engenharia econômica. Segundo ele, um povoamento florestal é uma máquina, como outra qualquer, que produz o produto madeira, e a decisão de manter ou substituir esta máquina se baseia nos mesmos princípios que ajudam a encontrar o ponto ótimo de substituição de um trator ou uma motosserra.

O mesmo autor, aplicando os conceitos de substituição de equipamentos ao Setor Florestal, considerou que o termo substituição precisa ser diferenciado do termo reforma. Para ele, a substituição se refere a uma situação na qual um povoamento não é mais capaz de executar as tarefas para as quais foi designado, o que pode ocorrer após um, dois, três, ou mais cortes.

A reforma se refere a uma situação na qual um povoamento ainda é capaz de executar suas funções, mas pode ser alterado (interplântio, adensamento) ou mesmo ser substituído por outro mais eficiente.

A substituição pura e simples não apresenta os problemas inerentes à reforma. Neste caso, os problemas são idênticos aos da tomada de decisão inicial, no momento do plantio original. Trata-se da escolha da espécie, do espaçamento, do tipo e quantidade de fertilizante, etc...

A reforma, que é o caso tratado aqui, é mais problemática e em muitas situações vai sendo indefinidamente adiada até que se transforme em simples substituição. Ela pode advir de duas situações básicas:

- O povoamento atual não está produzindo madeira como deveria, em quantidade e qualidade;

- Houve progresso tecnológico na área florestal, de tal forma que um povoamento implantado hoje, beneficiado por novas técnicas, produz madeira de modo mais eficiente em relação ao povoamento atual.

Os conceitos econômicos e a teoria de substituição de máquinas e equipamentos podem ser aplicados aos plantios de eucaliptais, permitindo a classificação que segue.

3.10. Métodos de Substituição

Em seu estudo para desenvolver um modelo teórico a fim decidir o momento ótimo de substituir povoamentos florestais, Silva (1990) considerou os seguintes casos:

- **Ciclo terminal:** É o caso em que a empresa deseja abandonar uma área ou um projeto. Isso pode acontecer quando a empresa planta em áreas alugadas e limita seu planejamento a um único ciclo produtivo, por exemplo. O momento ótimo de cortar pela última vez o povoamento é quando o valor atual dos custos variáveis for igual ou maior ao valor atual das receitas.

- **Reforma parcial:** Mantém-se a pressuposição de que a análise termina quando o último corte do povoamento é feito. A empresa pode substituir parcialmente um povoamento, o que pode ocorrer devido à baixa produtividade de alguns talhões dentro do projeto.

- **Cadeia de substituição:** Difere do caso anterior, pois agora o último corte do povoamento será seguido pela implantação de um novo, beneficiado ou não por uma nova tecnologia. No momento ótimo de substituição, o valor atual dos juros do valor total descontado da cadeia é igual ao valor atual das receitas do velho povoamento no mesmo instante.

- **Momento ótimo de substituição quando se considera o progresso tecnológico:** Este é o caso onde o ciclo terminal dá origem a uma nova cadeia de substituições. Isto acontece quando a empresa “adquire” uma nova tecnologia. Então, o povoamento original passa a ser terminal, dando origem à cadeia.

Os estudos sobre a reforma de eucaliptais no Brasil sempre consideraram a tecnologia constante. Isto significa que as receitas e os custos permanecerão constantes se os preços da madeira e dos insumos permanecerem constantes. Porém sempre existirá o progresso tecnológico. Não se deve, portanto, negligenciar seus benefícios, que no resultado final do investimento implicará em aumentos na produtividade, e consequentemente nas receitas e em reduções nos custos de produção.

3.11. Progresso Tecnológico

Antes, porém, de se entrar na questão do progresso tecnológico em si, é preciso que se definam alguns termos, permitindo uma melhor caracterização do processo produtivo e de desenvolvimento.

Brown (1966) conceituou tecnologia como sendo um corpo de conhecimentos que pode ser aplicado no processo produtivo; e mudança tecnológica como uma alteração no método de produção utilizado. Dado um nível de tecnologia, diversas são as formas de se produzir um bem ou serviço.

O progresso tecnológico pode ser entendido como o desenvolvimento de novos conhecimentos que, aplicados a um novo projeto, proporcionarão uma melhor performance em relação ao projeto atual.

Steindl (1980) considerou progresso tecnológico como um processo que acarreta, a longo prazo, o aumento do produto por trabalhador, e que possa experimentalmente ser medido por ele, porém esta definição simples não traduz a complexidade deste fenômeno. O autor mostra que o progresso tecnológico pode proporcionar economia do fator terra e de recursos naturais, e consequentemente de capital, além de produzir novos bens e afetar a qualidade de vida. Uma outra característica é o estímulo ao investimento.

O progresso tecnológico vem, com o tempo, mudando conceitos e posições sociais. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, indústrias

consideradas promissoras deixam de existir, cedendo lugar a outras pouco expressivas ou, até então, não existentes.

Utterbak (1996) fez considerações sobre como a indústria do gelo natural teve seu fim decretado no início deste século. Esta indústria surgiu nos Estados Unidos no século passado, tinha caráter promissor e proporcionava altos retornos aos investidores, que retiravam gelo dos lagos congelados e vendiam em outras partes do país e do mundo. Após ter alcançado o ápice na década de 1880, a indústria do gelo natural, em 1920, já era considerada coisa do passado, pelo advento das máquinas elétricas que produziam gelo.

3.12. Progresso Tecnológico no Setor Florestal

O progresso tecnológico no setor florestal ocorre de forma lenta, porém constante. Ele é evidenciado no aumento da produtividade e na redução dos custos, bem como nos dois casos, ocorrendo conjuntamente.

Para que o aumento na produtividade possa ser acompanhado, o setor florestal demanda investimentos por parte do setor privado em pesquisa. Tais investimentos são ainda muito tímidos diante da posição que o setor ocupa na economia nacional, sendo considerado um dos mais competitivos.

Alfaro (1985) relatou que o desinteresse por parte dos empresários em desenvolver um programa de seleção de espécies e em utilizar tecnologia adequada à implantação e manutenção dos povoamentos florestais vinha causando problemas quanto a produtividade. Tal afirmação foi reforçada por Silva (1990), relatando que grande parte dos reflorestamentos com recursos provenientes dos incentivos fiscais encontravam-se com índices de produtividade bem abaixo do esperado.

Atualmente tem sido observado um aumento de produtividade nos novos plantios devido aos trabalhos de melhoramento florestal realizados por instituições de pesquisa e pelas empresas do setor. A necessidade da busca de maior eficiência surge a partir do aumento gradativo nos preços de terras

utilizadas para o plantio de florestas, tomando necessário à empresa obter uma produtividade maior em uma mesma área e deixando como última opção o investimento em novas terras.

Valverde e Rezende (1997) afirmaram que se deve considerar o progresso tecnológico quando uma empresa resolve mudar seu processo produtivo ou realizar qualquer tipo de investimento.

Utterback (1996), citando o trabalho de Gullichsen (1986), salientou que algumas inovações no processo de produção de polpa de madeira, como a mudança de um processo em lotes (batelada) para um processo contínuo, tanto na polpação como no branqueamento, reduziram em até sete vezes a necessidade de água. Além disso, as novas tecnologias permitiram uma redução do número de equipamentos utilizados, tornando o processo mais rápido e econômico.

A importância do progresso tecnológico ao longo da história do setor florestal não pode ser negada. Desconsiderar os ganhos proporcionados pela tecnologia é incorrer em erro. Mais do que isso, incluir a evolução tecnológica se tornou uma necessidade no estudo de modelos teóricos.

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARO, L.G.J. Localização Econômica dos Reflorestamentos com Eucalipto, para a Produção de Carvão Vegetal, no Estado de Minas Gerais. Viçosa, U.F.V., 1985. 147p. (Tese M.S.).**
- BERGER, R.; SIMÕES, J.W.; LEITE, N.B. Método para avaliar economicamente a reforma de povoamentos de *Eucalyptus* spp. IPEF, (8): 55-62, 1974.**
- BROWN, M. On the theory and measurement of technological change. Cambridge. 1966. 214p.**
- CHICHORRO, J.F. Avaliação econômica de experimentos de adubação de *Eucalyptus grandis* no cerrado de Minas Gerais. Viçosa: UFV, 1987, 125p. (Tese Mestrado).**

- CHURCHMAN, C.W.; ACKOFF, R.L.; ARNOFF, E.L. **Introducion to Operations Research**. New York, 1976. 645p.
- CONTADOR, C.R. **Projetos Sociais - Avaliação e Prática**. 3ª ed. Atlas, São Paulo. 1996. 375p.
- DAVIS, K.P. **Forest Management: Regulation and Valuation**. 2nd ed. New York, McGraw-Hill, 1966. 519p.
- FARO, C. de **Elementos de engenharia econômica**. São Paulo, APEC, 1972. 338p.
- FERGUSON, C.E. **Microeconomia**. 2ª ed. Rio de Janeiro, Forense - Universitária, 1978. 617p.
- FREITAS, M. et al. **Manejo de Eucaliptais para Rotações Sucessivas**. Boletim Informativo. IPEF, Piracicaba, 6(19): 3, 1978.
- FREITAS, M. et al. **O interplântio como Alternativa para Rotações Sucessivas em *Eucalyptus***. Rev. IPEF. (19): 1-16. Dez., 1979.
- GIRÃO, J.A. **A Função de Produção de Cobb-Douglas e a Análise Inter Regional da Produção Agrícola**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, Centro de Estudo de Economia Agrária, 1965. 117p.
- GONÇALVES, J.L.M. **Efeito do Cultivo Mínimo Sobre a Fertilidade do Solo e Ciclagem de Nutrientes**. In: **Seminário Sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas**. Anais... Curitiba - PR - Brasil. 1995. p. 61-62.
- GRANT, E.L. **Principles of Engineering Economy**. New York, Ronald Press Company, 1960. 574p.
- GUPTA, S.K.; COZZOLINO, J.M. **Fundamentals of Operations Research for Management: an Introducion to Quantitative Methods**. San Franscisco, 1974. 405p.
- HESS, G.; MARQUES, J.L.M.; ROCHA PAES, L.C.M.; PUCCINI, A.L. **Engenharia Econômica**. 18ª ed. Difel. São Paulo, 1985. 165p.
- HIRSCHFELD, H. **Engenharia Econômica e Análise de Custos**. 5ª ed. Atlas. São Paulo, 1992. 465p.
- HOFFMANN, R. BERGER, R. **Determinação da idade ótima de corte de povoamentos de eucaliptos**. IPEF, Piracicaba, (7): 49-69, 1974.

- HOFFMANN, R.; THAME, A.C. **Determinação da Idade Ótima para Primeiro Desbaste em Povoamentos de *Pinus caribaea***. Piracicaba, 1970. 39p.
- HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de Regressão – Uma introdução à Econometria**. 2ª ed. Editora Hucitec. São Paulo, 1983. 379p.
- HUMMEL, P.R.V e TASCNER, M.R.B. **Análise e Decisão Sobre Investimentos e Financiamentos**. 2ª ed. Atlas, São Paulo. 1982. 214p.
- JELLEN, F.C. **Cost and Optimization Engineering**. New York, McGraw-Hill, 1970. 490p.
- JOHNSTON, D.R.; GRAYSON, A.J.; BRADLEY, R.T. **Planeamento Florestal**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 1977. 798p.
- LEFTWICH, R.H. **O sistema de preços e alocação de recursos**. São Paulo, Enio Matheus Guazzelli e Cia. Ltda., 1971. 399p.
- LOPES, H.V. da S., **Análise Econômica dos Fatores que Afetam a Rotação de Povoamentos de Eucaliptos**. Viçosa - M.G. U.F.V. 1990. 188p. (Tese M.S.).
- MARTINI, S.L.; BORSATTO, I.; SIMÕES, J.W. **Estudo de Viabilidade do Interplântio em Povoamentos de *Eucalyptus grandis* em Segunda Rotação**. IPEF, Piracicaba. Dezembro, 1984. 45-47p.
- MASSÉ, P. **Optimal Investment Decisions Rules for Action and Criteria Choice**. Prentice. Hall, Inc. 1962. 500p.
- MISCHAN, M.M.; **Análise Econométrica de Crescimento de Gado Bovino**. Botucatu, 1972. (Tese D.S.).
- MONTENEGRO, J.L.A. **Engenharia Econômica**. Brasília, Telebrás, 1982. 232p.
- MOOSMAYER, H.; FONSECA, W.N. **Adensamento como Método para Recuperação de Matas Naturais Exploradas de *Araucaria angustifolia***. In: Congresso Florestal Brasileiro. Curitiba, 1962. Anais... Curitiba, 1962.
- NAUTIYAL, J.C. **Forest Economics: Principles and Applications**. Toronto, Canadian Scholars' Press Inc., 1988. 581p.
- OLIVEIRA, A.J. de, **Desenvolvimento de um Sistema Computacional para Simular e Comparar Economicamente as Operações de**

- Reforma, Adensamento e Interplântio em Povoamentos de Eucaliptos.** Viçosa - M.G. U.F.V. 1986. 66p. (Tese M.S.).
- OSMATON, F.C. **The Management of Forest.** Lodon, George Allen and Cenvin, 1968. 348p.
- QUADROS, J.L. de...(et al.) **Incentivos Fiscais e a Pesquisa Florestal no Brasil.** Brasília: MA/IBDF/EMBRAPA/PNPF, 1985.
- REZENDE, J.L.P., PAULA Jr., G.G., RIBEIRO, G.A., **Técnicas de Análise Econômicas Usadas na Tomada de Decisão Referentes à Reforma de Eucaliptais.** In: **Seminário Sobre Aspectos Técnicos e Econômicos da Reforma de Eucaliptais.** Belo Horizonte, U.F.V./S.I.F., 1987a.
- REZENDE, J.L.P.; MINETTE, L.J.; TORQUATO, M.C. **Determinação da Idade Ótima de Corte para *Eucalyptus* spp, para as Regiões Litorânea, Metalúrgica e do Rio Doce.** Revista *Árvore*, Viçosa – MG. nº 11, V. I, p. 78-89, 1987b.
- REZENDE, J.L.P., OLIVEIRA, A.D. de, **Projetos Florestais - Matemática Financeira, Análise de Custo, Formulação de Projetos.** 360p. (No Prelo).
- RIBAS, L.C. **Estratégia Econômica da Reforma de povoamentos Florestais de *Pinus* spp.** Curitiba. UFPR, 1989. 113p. (Tese M.S.).
- RIBEIRO, F.A. **Evolução das Pesquisas e Metodologias Aplicadas em Áreas de Adensamento.** In: **Encontro Técnico Florestal das Empresas que Atuam no Cerrado, 1.** Pirapora, 1985. Anais... Pirapora, 1985.
- RIPASA. **Reforma de Povoamentos de *Eucalyptus* spp. – Estudos de Alternativas Operacionais.** In: **Congresso Florestal Brasileiro.** 4. 5-1. 1980. Anais... s.l., Cia Reflorestadora Nacional, Grupo Ripasa, 1980. p. 269-273.
- SILVA, A.A.L., **Análise Econômica da Substituição de Povoamentos de *Eucalyptus* spp.** Viçosa, U.F.V., 1990. 109p. (Tese M.S.).
- SIMÕES, J.W. et al. **Efeitos da Ferramenta de Corte Sobre a Regeneração do Eucalipto.** IPEF 4 (1): 3-10, 1972.
- SIMÕES, J.W. **Formação, Manejo e Exploração de Florestas com Espécies de Rápido Crescimento.** Brasília, IBDF, 1981.
- SMITH, E.B.S. **Determinação da Rotação Econômica para *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden), Destinado à Produção de Carvão Vegetal.** UFV. Viçosa – MG. 1989. 69p. (Tese M.S.).

- STEINDL, J. Progresso Técnico, distribuição e crescimento, IN: Progresso Técnico e Teoria Econômica. (GAREGNANI, P.). São Paulo: Hucitec, 1980. 183p. (Economia e Planejamento. Série Técnica Contemporânea).**
- UTTERBACK, J.M. Dominando a Dinâmica da Inovação. Qualitymark Ed. Rio de Janeiro, 1996. 264p.**
- VALENTINI, R. Análise Econômica do Arraçamento de Frangos de Corte. Piracicaba, 1970. (Tese D.S.).**
- VALVERDE, S.R., REZENDE, J.L.P., Principio de Substituição de Máquinas e Equipamentos. Revista Árvore V.21, n.1, S.I.F. Viçosa. 1997.**
- VARIAN, H.R. Microeconomia: Princípios básicos. Rio de Janeiro, Editora Campus, 1994. 710p.**

CAPÍTULO 1

ESTUDO DO MOMENTO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* spp – O CASO DA TECNOLOGIA CONSTANTE

RESUMO

SOUZA, A.N. Estudo do momento ótimo de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp – O caso da tecnologia constante. Lavras: UFLA, 1999. Cap.1, p. 29-47. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).¹

Os poucos estudos sobre a reforma de povoamentos de *Eucalyptus* spp realizados no Brasil consideram a tecnologia constante. Desta forma, a modelagem para o conhecimento das variáveis que afetam esta atividade, como receitas, custos, taxas e produtividade, fica facilitada. O motivo de não se considerar os ganhos proporcionados pelo progresso tecnológico é a falta de um modelo dinâmico específico. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de conhecer qual a rotação florestal com valores da década de 60 (início dos incentivos fiscais) e atuais (década de 90) com a finalidade de obtenção de madeira para produção de celulose e carvão vegetal; determinar o momento de substituir um povoamento que apresenta ao longo do tempo a mesma produtividade e mesma estrutura de custo, bem como determinar quantos cortes deverão ser realizados até o ciclo terminal; determinar quantos cortes serão realizados até a substituição (cadeia de substituição); verificar a sensibilidade da época de substituição a variações na taxa de desconto, preço da madeira, produtividade, custo da terra, custo de colheita e produtividade das talhadas. Testaram-se os resultados em um estudo de caso, utilizando a Função Gompertz para determinar a produtividade do povoamento. O Método do Valor Presente Líquido foi utilizado como critério de decisão econômica. Conclui-se que: A rotação florestal para produção de carvão vegetal na década de 60 era aos 13 anos; a rotação atualmente está em 7 anos de idade; O ciclo terminal permite até 13 cortes,

¹ Comitê Orientador: José Luiz Pereira de Rezende (Orientador) – UFLA, Antônio Donizette de Oliveira – UFLA, José Roberto Soares Scolforo – UFLA.

mas considerando-se a possibilidade de arrendamento da terra, a melhor alternativa é conduzir as brotações até o 3^o corte; aumentos em fatores como taxa de desconto, preço da madeira e produtividade causaram redução nas idades de corte dos povoamentos; aumentos no custo da terra não afetaram as idades de corte; aumentos no custo de exploração causaram aumentos na idade de corte do povoamento; a substituição do povoamento atualmente se dá após 3 cortes, enquanto, na década de 60, se dava após 2 cortes em função do menor prejuízo; aumentos em fatores como taxa de desconto, preço da madeira, custo de exploração e produtividade das talhadas causaram aumentos no número de cortes antes da substituição dos povoamentos e aumentos na produtividade causaram redução na idade de substituição (número de cortes) dos povoamentos.

CHAPTER 1

STUDY OF THE OPTIMAL TIME FOR SUBSTITUTION OF *Eucalyptus* spp. POPULATIONS – THE CASE OF CONSTANT TECHNOLOGY

ABSTRACT

SOUZA, A.N. Study of the optimal time for substitution of *Eucalyptus* spp. populations – The case of constant technology. Lavras: UFLA, 1999. Cap 1, p. 29-47. (Dissertation – Masters in Forest Engineering).¹

The few studies on renewal of *Eucalyptus* spp populations done in Brazil consider constant technology. That way the modeling for knowledge of variables which affect this activity, such as income, costs, rates and yield, is facilitated. The reason for not considering the gains earned through technological progress is the lack of a specific dynamic model. This study was carried out aiming to get to know the forest rotation with values from the sixties (beginning of the fiscal incentives) and current values (nineties) aiming to obtain wood for cellulose and charcoal production; to determine the moment of substitution of a population which presents the same yield and the same cost structure through time as well as to determine how many cuttings should be done until the final cycle; to determine how many cuttings should be done until substitution (substitution chain); to verify the sensitivity of the substitution time to variations in the discount rates, wood prices, yield, land costs, exploration costs and coppice yield. The results were tested in a case study, employing the Gompertz Function to determine the population yield. The Current Net Value Method was used as a criterion of economic decision. It has been concluded that: The forest rotation to produce charcoal in the sixties was at 13 years of age; the current rotation is at 7 years of age; the final cycle allows up to 13 cuttings, but considering the possibility of land leasing, the best alternative is to conduce the sproutings up to the third cutting; an increase in factors such as discount rates, wood prices and yield caused reduction of the cutting age of the

¹Advising commitee: José Luiz Pereira de Rezende (Major Professor) – UFLA, Antônio Donizette de Oliveira – UFLA, José Roberto Soares Scolforo – UFLA.

populations; an increase in land costs did not affect the cutting ages; an increase in the exploration cost caused an increase in the cutting ages of the population; the substitution of population these days happens after 3 cuttings, while in the sixties it happened after 2 cuttings due to the lesser loss; an increase in factors such as discount rates, wood prices, exploration costs and coppice yield caused an increase in the number of cuttings before the substitution of the populations, and an increase in the yield caused reduction of the substitution age (number of cuttings) of the populations.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Rotação ou Idade Ótima de Corte

Antes de se pensar na questão da reforma propriamente dita, o conhecimento da idade em que os povoamentos serão cortados é ponto de capital importância em qualquer trabalho envolvendo manejo florestal. Só há sentido econômico em determinar a idade ótima de substituição após a determinação da idade ótima de corte.

Considerando-se a importância do Setor Florestal para a economia brasileira, com ênfase na cultura do eucalipto, numerosas pesquisas procuraram e ainda procuram conhecer melhor sua rotação ou idade ótima de corte, sendo este item considerado de fundamental importância para o sucesso do empreendimento florestal.

1.2. Reforma

Os resultados alcançados com os primeiros plantios de *Eucalyptus* no Brasil não foram considerados satisfatórios. O prévio conhecimento de que as espécies deste gênero possuíam a capacidade de rebrotar após o corte causou expectativas muito otimistas por parte das empresas. O volume obtido com a condução da brotação não foi suficiente para pagar os gastos com o sistema de talhadas. Em muitos casos, sequer os volumes alcançados no primeiro corte foram considerados satisfatórios.

Diversos fatores contribuíram para o insucesso inicial, tais como: A falta de conhecimento das exigências silviculturais e de manejo das espécies; o descaso pelo uso de terras marginais para o plantio; o desinteresse pelo conhecimento das qualidades do sítio, principalmente pela idéia equivocada de que o eucalipto era uma espécie rústica e que se desenvolveria bem em qualquer solo, etc. O motivo, em parte, dos fatos acima citados, foi a promulgação da Lei dos Incentivos Fiscais para Reflorestamento, que permitia a aplicação de até 50% do imposto de renda devido pelas empresas

na atividade de reflorestamento, não contemplando, portanto, a compra de terras.

Com os problemas encontrados, os manejadores começaram a pensar na implantação de um novo povoamento no lugar daquele existente e que proporcionasse maior lucro sobre o capital investido. Surgia aí o conceito de reforma, que foi definida por Simões et al (1981) e Silva (1990) como a substituição total do povoamento de baixo potencial produtivo, ou com produtividade abaixo da esperada, por um novo povoamento originado do plantio de mudas.

Um povoamento florestal é uma máquina como outra qualquer, que produz o produto madeira, e a decisão de manter ou substituir esta máquina se baseia nos mesmos princípios que ajudam a encontrar o ponto ótimo de substituição de um trator ou uma motosserra (Rezende, 1987). O trabalho deste autor chamou a atenção dos estudiosos em Economia Florestal para o fato de que a base teórica relacionada ao estudo da reforma era ampla e de fácil acesso nos livros de Engenharia Econômica, ao contrário do que se pensava, que tal base teórica inexistia.

Rezende (1987) definiu reforma e substituição para o caso de um povoamento florestal, sendo a substituição considerada quando o povoamento não produz de maneira satisfatória, o que acontece, normalmente, após três cortes.

A reforma se refere a uma situação na qual um povoamento ainda é capaz de executar suas funções, mas pode ser alterado (interplântio, adensamento) ou mesmo substituído por outro mais eficiente.

Segundo o mesmo autor, a substituição pura e simples não apresenta os problemas inerentes à reforma. Neste caso, os problemas são idênticos aos da tomada de decisão inicial, no momento do plantio original. Trata-se da escolha da espécie, do espaçamento, do tipo e quantidade de fertilizante, etc...

A reforma, que é o caso tratado aqui, é mais problemática e em muitas situações vai sendo indefinidamente adiada até que se transforme em simples substituição.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi determinar a época ótima de substituir povoamentos de *Eucalyptus* spp, considerando a tecnologia fixa.

Especificamente pretendeu-se:

- Determinar a época ótima de corte ou rotação florestal, bem como os fatores que a afetam;
- Determinar quantos cortes serão possíveis até o ciclo terminal;
- Determinar quantos cortes deveriam ser realizados até a substituição, considerando a tecnologia fixa para o caso da cadeia de substituição;
- Verificar a sensibilidade da época de substituição a variações na taxa de desconto, preço da madeira, produtividade, custo da terra, custo de exploração e produtividade das talhadas;
- Testar os resultados em um estudo de caso.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Método de Avaliação Econômica Utilizado

O critério do valor presente líquido (VPL) é o mais adotado na avaliação de projetos florestais e foi utilizado neste trabalho. Este critério é rigoroso e isento de falhas, o que lhe confere credibilidade (Contador, 1996).

O critério do VPL consiste em trazer para o ano zero do projeto todos os valores constantes no seu fluxo de caixa e subtrair as receitas dos custos. Algebricamente tem-se:

$$VPL = \sum_{x=0}^{nt} R_x (1 + r)^{-x} - \sum_{x=0}^{nt} C_x (1 + r)^{-x}$$

onde:

C_x = custos efetuados no ano x ;

R_x = receitas auferidas no ano x ;

r = taxa anual unitária de desconto;

t = rotação em anos;

n = número de cortes;

x = ponto no tempo, em anos, em que ocorrem custos e receitas

3.2. Função de Produção

Para estimar a produção de madeira, foi utilizada a Função Gompertz, que é dada por:

$$Y = K \left(1 - e^{-a \cdot e^{b \cdot m}} \right) \quad (1.1)$$

onde:

K , a e b = coeficientes;

m = Idade do povoamento em meses;

e = Base dos logaritmos neperianos;

Y = Produção de madeira em st/ha.

3.3. Receitas

As receitas são obtidas com a venda da produção (Y) ao preço de mercado (P). Logo, a receita (R) em cada corte é dada por:

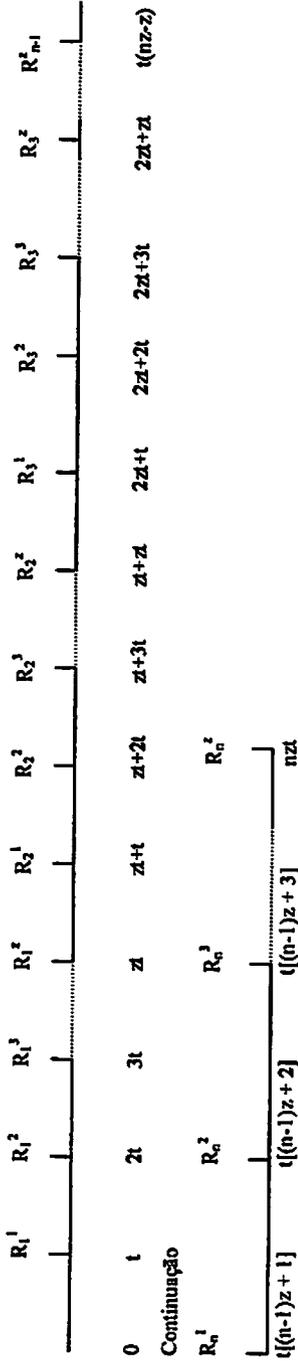
$$R = Y * P \quad (1.2)$$

Substituindo (1.1) em (1.2), tem-se:

$$R = K \left(1 - e^{-a \cdot e^{b \cdot m}} \right) * P \quad (1.3)$$

Considerando-se a produtividade constante, é o mesmo que pressupor que as receitas serão sempre iguais. Se o preço permanecer

constante, então sucessivas receitas ao longo do tempo podem ser expressas, com "z" cortes e "n" implantações, como no esquema a seguir:



Onde:

$$R_1^2 = \beta \cdot R_1^1;$$

$$R_1^3 = \beta \cdot R_1^2 = R_1^1 \cdot \beta^2;$$

E assim sucessivamente.

O fator "β" é o fator que corrige o volume da primeira talhadia em relação ao volume do alto fuste e das demais talhadias em relação à talhadia anterior. O valor de "β" foi considerado como sendo 0,90 (90%) do volume anterior.

O valor atual da série representada anteriormente pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$VH(RB) = \left\{ R_1^1(1+r)^{-1} + R_1^2(1+r)^{-2t} + \dots + R_1^z(1+r)^{-zt} + R_2^1(1+r)^{-1(z+t)} + \right. \\ \left. + R_2^2(1+r)^{-1(z+2t)} + \dots + R_2^z(1+r)^{-2zt} + \dots + R_{n-1}^z(1+r)^{-1(nz-z)} + R_n^2(1+r)^{-1(n-1)z+t} + \dots \right. \\ \left. + R_n^z(1+r)^{-1(n-1)z+t} + \dots + R_n^z(1+r)^{-znt} \right\}$$

3.4. Custos

3.4.1. Planilha de Custos e Demais Valores Considerados para os Cálculos

A planilha de custos utilizada para os cálculos, em valores atuais (1999), está representada na Tabela 1.1. Os custos foram divididos em três grupos. O 1º grupo foi composto pelos custos operacionais de plantio (ano zero), o 2º grupo foi composto por custos operacionais da manutenção florestal (1º ano ao ano de corte), e o 3º grupo foi composto pelos custos operacionais da regeneração florestal (1º ano após o corte das talhadas). Além desses custos, foram considerados os seguintes valores:

- Taxa de desconto: 8% ao ano;
- Preço atual da madeira: US\$15.00/st;
- Preço da madeira na década de 60: US\$12.00/st;
- Produtividade das talhadas (β): 90% do volume do corte anterior;
- Custo de colheita na década de 60: US\$/st 6.00;
- Custo atual de colheita: US\$/st 2.00.

TABELA 1.1 – Planilha de custos (US\$/ha) com valores da década de 60 e atuais (final da década de 90).

Custos operacionais de plantio	Custo efetivo década de 60 3,480.48	Custo efetivo atual 1,160.16
Custos operacionais da manutenção florestal	Custo efetivo década de 60 965.43	Custo efetivo atual 321.81
Custos operacionais da regeneração florestal	Custo efetivo década de 60 1,206.68	Custo efetivo atual 402.23

OBS.: Custos de grandes empresas que atuam na área de cerrado em Minas Gerais.

Como o presente trabalho considerou os custos constantes ao longo do tempo, o cálculo do valor presente dos custos será semelhante ao das receitas. Assim:

$$VPC = \sum_{x=0}^{nt} (C_x)^{-x} \quad (1.4)$$

onde VPC representa o valor presente dos custos e C representa as parcelas de custos consideradas iguais ao longo do tempo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Rotação ou Idade Ótima de Corte.

Toda base de cálculo foi elaborada a partir do prévio conhecimento da idade ótima de corte, pois quando se altera qualquer variável, tem-se efeito nas condições técnicas e econômicas da rotação, portanto, é necessário recalcular a idade de corte e verificar o efeito no número de cortes que antecedem a substituição. A Tabela 1.2 mostra o cálculo da rotação para uma taxa de desconto de 8%. Os coeficientes usados para o cálculo do volume foram:

$$K = 300 \text{ st/ha};$$

$$a = -0,07849;$$

$$b = 0,037.$$

TABELA 1.2 - Cálculo da idade ótima de corte de um povoamento de *Eucalyptus* spp para uma taxa de desconto de 8%, em valores da década de 60 e atuais (final da década de 90).

Idade (anos)	Volume - 1960 (st/ha)	Volume - Atual (st/ha)	VPL ∞ - 1960 (US\$/ha)	VPL ∞ - Atual (US\$/ha)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
4	10,21	102,11	-9,437.20	-72.29
5	14,69	146,86	-7,932.54	806.83
6	19,88	198,80	-6,929.44	1,470.12
7	24,82	248,19	-6,224.66	1,818.94
8	28,24	282,44	-5,717.65	1,787.15
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
13	30,00	300,00	-3,862.58	195.72
14	30,00	300,00	-5,942.29	-8.88

A época ótima de corte do povoamento com valores atuais foi aos 7 anos de idade, quando o VPL foi maior. Os dados utilizados para se chegar aos resultados atuais, acima citadas foram considerados a base para outros cálculos.

Quando se estudou, por exemplo, o efeito da variação na taxa de desconto e sua possível influência na época de substituir o povoamento, primeiramente procurou-se conhecer este efeito na idade de corte, posteriormente, de posse dos valores obtidos, foram feitos cálculos para determinar quantos cortes seriam possíveis.

Considerando o estudo da rotação florestal, deve ficar bem claro que, o objetivo do plantio foi a obtenção de madeira para produzir carvão e celulose, portanto o preço da madeira foi mantido “fixo”.

Observou-se que, para o caso de madeiras de menores dimensões, o segundo estágio de produção, considerado como racional, é “rígido”, ficando sempre entre 6 e 8 anos. No caso de madeira para usos em serraria e laminação, a idade de corte e o preço da madeira seriam maiores, conseqüentemente o segundo estágio de produção seria mais flexível.

Mesmo sabendo que do alto fuste para as talhadias a idade de corte pode mudar, neste estudo foi considerado que ela é a mesma. A variação entre alto fuste e talhadia pode ser desprezada para fins de cálculo (Lopes, 1990). O VPL positivo indica que o projeto é economicamente viável.

Para efeito comparativo, foi feito um estudo da rotação na década de 60, considerando os valores de custos e receitas da época, que em média eram 3 vezes maiores que os atuais (Tabela 1.2). Notou-se que a rotação acontecia muito além dos 7 anos atuais e que a baixa produtividade e os altos custos proporcionavam receitas líquidas negativas, o que, por si só, já justificava a necessidade dos incentivos fiscais. A decisão era tomada em função do menor prejuízo e não do maior lucro.

4.2. Ciclo Terminal.

O ciclo terminal é adotado quando a empresa pretende abandonar a área ou a atividade naquela área após o último corte. No caso estudado, observou-se um número grande de cortes que antecederam a saída da área. A Tabela 1.3 mostra o número de cortes, as receitas e os custos atualizados e o VPL para cada corte considerando uma rotação de 7 anos para a época atual, uma vez que, para os valores da década de 60, o ciclo terminal não fazia sentido, pois já no primeiro corte o VPL era negativo.

TABELA 1.3 - Estudo do ciclo terminal para um plantio de *Eucalyptus* spp, a uma taxa de desconto de 8%a.a. para a época atual.

Nº de Cortes	Receitas(US\$/ha)	Custos (US\$/ha)	VPL (US\$/ha)
1	2,453.18	1,452.16	1,001.65
3	676.70	275.26	401.43
5	186.61	88.31	98.30
7	51.46	28.58	22.89
9	14.19	9.32	4.87
11	3.91	3.06	0.85
13	1.08	1.01	0.07
14	0.57	0.58	-0.01

Verificou-se que, para um caso típico de ciclo terminal, a empresa poderia executar até 13 cortes, quando ocorre o último VPL positivo. Porém, em uma situação onde a área será abandonada, havendo equilíbrio de mercado, a empresa poderia alugar essa terra pelo valor de seu custo de oportunidade, que foi obtido pela multiplicação do valor da terra pela taxa de desconto, ou seja:

$$\text{US\$}600.00 * 0,08 = \text{US\$}48.00$$

Neste caso, o valor atual de uma série de 7 pagamentos de US\$48.00 resulta em US\$249.90, tendo a empresa, após o terceiro corte, como melhor opção, alugar suas terras ao invés de continuar conduzindo as brotações até o ciclo terminal. Com o exposto ficou claro que o conceito de ciclo terminal tem que ser usado com cuidado. Se a empresa fizesse 13 cortes, não teria prejuízo, porém esta não seria a melhor opção do mercado.

4.3. Cadeia de Substituição.

Conforme mostra a Tabela 1.4, os valores obtidos para a década de 60 apontaram para uma substituição após 2 cortes, enquanto com valores atuais a substituição ficou após 3 cortes. A diferença não pode ser entendida como 1 corte apenas. Ela deve ser considerada em função das idades de corte e dos valores de VPL que para a década de 60 eram negativos, sendo interpretados em função do menor prejuízo, enquanto atualmente as empresas podem escolher o maior VPL positivo.

TABELA 1.4 - Número de cortes que antecedem a substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp. para uma taxa de desconto de 8% a.a. em valores da década de 60 e atuais.

Valores da Década de 60			Valores Atuais		
Nº cortes	Idade (anos)	VPL ∞ (US\$/ha)	Nº cortes	Idade (anos)	VPL ∞ (US\$/ha)
1	13	-4,164.44	1	7	1,819.00
2	26	-3,808.71	2	14	2,109.67
3	39	-3,821.14	3	21	2,125.83
4	52	-3,933.75	4	28	2,098.60

A análise de sensibilidade da idade de substituição em relação a diversos fatores que a influenciam revelou que para os valores atuais as idades ótimas de substituição variaram de 2 a 4 cortes, de acordo com a variação de cada fator. A Tabela 1.5 apresenta, como exemplo, o estudo da influência do preço da madeira no número de cortes.

TABELA 1.5 - Influência do preço da madeira no número de cortes que antecedem à substituição de um povoamento de *Eucalyptus* spp com rotação de 7 anos e taxa de desconto de 8% a.a.

Preço da Madeira (US\$/st)	N. de Cortes	VPL ∞ (US\$/ha)
12.00	3	1,106.98
15.00	3	2,125.83
20.00	2	3,784.06

Neste exemplo, observou-se que o preço da madeira influenciou o número de cortes que antecede a substituição, de maneira que aumentos no preço reduziram o número de cortes e aumentaram a renda líquida. Na Tabela 1.6 apresenta-se um resumo da influência de diversos fatores na rotação e no número de cortes antes da substituição.

TABELA 1.6 - Influência de diversos fatores* na idade de corte e no número de cortes antes da substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp.

Fatores	Idade de Rotação	Número de Cortes
Taxa de Desconto	↓	↑
Preço da Madeira	↓	↓
Produtividade	↓	↓
Custo da Terra	-	-
Custo de Colheita	↑	↑
Produtividade das Talhadias	↓	↑

* Considerando-se sempre um aumento no fator.

↑ Significa aumento nas idades.

↓ Significa decréscimo nas idades.

- Significa nenhum efeito observado.

Foram observadas influências de quase todos os fatores testados tanto na idade de corte quanto no número de cortes que antecedem a substituição, com exceção do custo da terra, que não as afetou, mostrando que custos anuais só influenciam a renda líquida.

A taxa de desconto (Figura 1), bem como a produtividade das talhadias (Figura 2) afetaram o número de cortes, de maneira que aumentando estes fatores, a substituição será antecipada.



FIGURA 1. Representação Gráfica da Variação no Número de Cortes em Função da Taxa de Desconto.

Em relação ao número de cortes que antecedem a entrada de um novo povoamento, o comportamento foi diretamente proporcional aos aumentos no nível dos fatores.

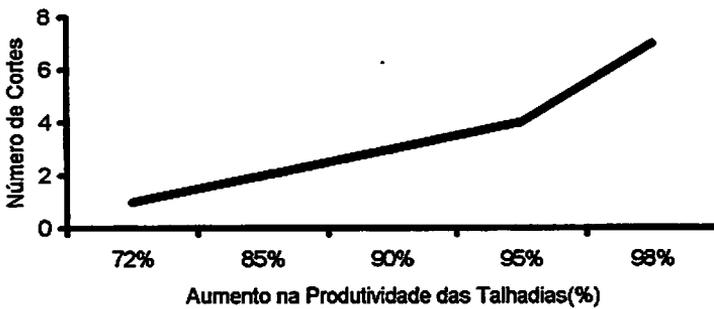


FIGURA 2. Representação Gráfica da Variação no Número de Cortes em Função da Produtividade das Talhadias.

A produtividade máxima que o povoamento pode atingir afetou a idade e o número de cortes da mesma forma, ou seja, aumentos na produtividade causaram redução nas idades de corte e no número de cortes antes da substituição (Figura 3).

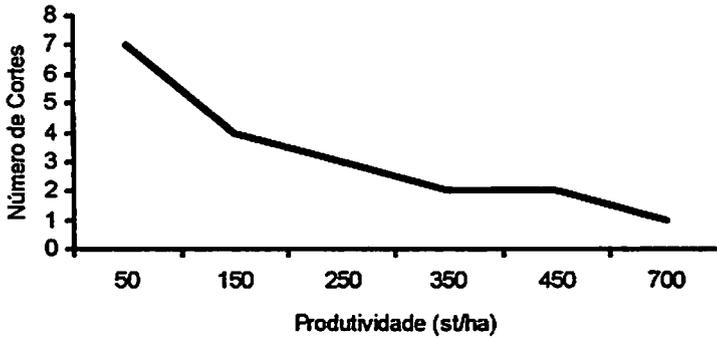


FIGURA 3. Representação Gráfica da Variação do Número de Cortes em Função da Produtividade.

Os aumentos nos custos de implantação e colheita causaram aumento diretamente proporcional nas idades de corte e no número de cortes (Figura 4). Até a substituição, esta tendência permanece com todos os custos, exceto os anuais.

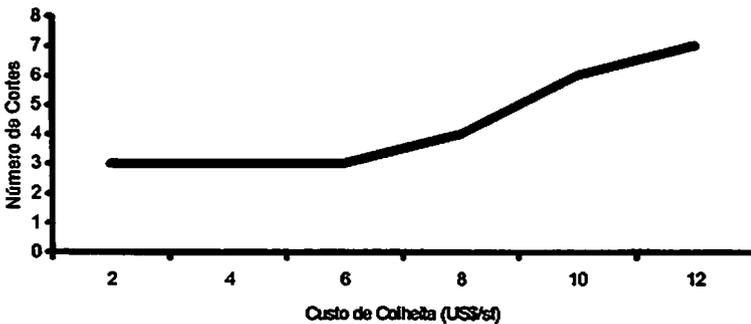


FIGURA 4. Representação Gráfica da Variação no Número de Cortes em Função do Custo de Colheita.

5. CONCLUSÕES

Os resultados alcançados e as análises realizadas, permitiram as seguintes conclusões:

- A rotação florestal atualmente é no 7º ano, enquanto na década de 60, a idade de corte era aos 13 anos;
- Aumentos em fatores como taxa de desconto, preço da madeira e produtividade causaram redução nas idades de corte dos povoamentos;
- Aumentos no custo da terra não afetaram as idades de corte;
- Aumentos nos custos de colheita causaram aumentos na idades de corte dos povoamentos;
- O ciclo terminal no caso estudado poderá chegar até aos 13 cortes, porém, se for considerada a melhor opção de mercado, após o 3º corte a terra deverá ser alugada;
- A substituição do povoamento, atualmente, é feita após 3 cortes, enquanto na década de 60 se substituiu após 2 cortes em função do menor prejuízo;
- Aumentos em fatores como taxa de desconto, custo de exploração e produtividade das talhadas causaram aumentos no número de cortes antes da substituição;
- Aumentos no preço da madeira e na produtividade causaram redução no número de cortes antes da substituição.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONTADOR, C.R. Projetos Sociais - Avaliação e Prática. 3ª ed. Atlas, São Paulo. 1996. 375p.

LOPES, H.V.S.; Análise Econômica dos Fatores que Afetam a Rotação de Povoamentos de Eucaliptos. Viçosa, U.F.V., 1990. 188p. (Tese M.S.).

REZENDE, J.L.P., PAULA Jr., G.G., RIBEIRO, G.A., Técnicas de Análise Econômicas Usadas na Tomada de Decisão Referentes à Reforma de Eucaliptais. In: Seminário Sobre Aspectos Técnicos e Econômicos da Reforma de Eucaliptais. Belo Horizonte, U.F.V./S.I.F., 1987.

REZENDE, J.L.P., OLIVEIRA, A.D. de, Projetos Florestais - Matemática Financeira, Análise de Custo, Formulação de Projetos. 360p. (No Prelo).

SILVA, A.A.L., Análise Econômica da Substituição de Povoamentos de *Eucalyptus* spp. Viçosa, U.F.V., 1990. 109p. (Tese M.S.).

SIMÕES, J.W. Formação, Manejo e Exploração de Florestas com Espécies de Rápido Crescimento. Brasília, IBDF, 1981.

CAPÍTULO 2

ESTUDO DO MOMENTO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* spp – O CASO DA TECNOLOGIA AUMENTANDO AS RECEITAS

RESUMO

SOUZA, A.N. Estudo do momento ótimo de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp – O caso da tecnologia aumentando as receitas. Lavras: UFLA, 1999. Cap.2, p. 48-76. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).¹

A reforma ou substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp demanda anualmente alto investimento. Vários projetos são conduzidos paralelamente para atender às demandas da unidade industrial. O aumento nas receitas de uma empresa, não havendo mudança nos preços da madeira e na área plantada, se dá via aumento de produtividade. O aumento da produtividade se dá devido ao progresso tecnológico do Setor, devendo ser estudado e entendido a fim de que os recursos investidos alcancem maior retorno. O progresso tecnológico pode se dar de várias formas, mas seus efeitos se resumem no aumento de produtividade e na redução dos custos. Este trabalho objetivou estudar os efeitos do aumento da produtividade sobre a época ótima de substituir povoamentos de *Eucalyptus* spp; determinar o momento de corte do povoamento sendo a receita crescente e o custo constante; propor e verificar a eficiência de um modelo matemático; determinar o momento de substituir se os custos estivessem constantes desde a década de 60 e projetar o momento de substituir o povoamento no futuro, considerando a produtividade crescente e os custos constantes a valores de hoje, utilizando-se dados médios de grandes empresas florestais que atuam no Cerrado do Estado de Minas Gerais. Para a determinação do volume e da produtividade, foi utilizada a Função Gompertz. O critério econômico utilizado para a avaliação da viabilidade dos projetos foi o Valor Presente

¹ Comitê Orientador: José Luiz Pereira de Rezende (Orientador) – UFLA, Antônio Donizette de Oliveira – UFLA, José Roberto Soares Scolforo – UFLA.

Líquido. O estudo proposto constou da modelagem do aumento da produtividade e da determinação da taxa desse aumento, bem como da determinação de uma taxa que serviu como um moderador para que a produtividade não atingisse valores irrealistas. Os custos foram considerados constantes ao longo do tempo. Concluiu-se que: A rotação florestal com valores atuais é aos 7 anos de idade; mantidos os custos da década de 60, a idade ótima de substituição estaria após 6 cortes; o modelo se mostrou eficiente para estimativas para um período de até 40 anos; o estudo da cadeia de substituição mostrou que as idades ótimas de substituição caíram ao longo dos anos, passando dos 6 cortes na década de 60, quando havia prejuízo, para 3 cortes na década de 80, quando se começou a obter lucro com a atividade. Atualmente, a substituição deve ser realizada após 2 cortes; para os futuros plantios, verificou-se uma tendência de permanecer nos 2 cortes antes da substituição, porém pequena melhora tecnológica na produtividade das talhadas passa o ponto ótimo de substituição para após o 3º corte.

CHAPTER 2

STUDY OF THE OPTIMAL MOMENT FOR SUBSTITUTION OF *Eucalyptus* spp. POPULATIONS – THE CASE OF TECHNOLOGY INCREASING INCOME

ABSTRACT

SOUZA, A.N. Study of the optimal moment for substitution of *Eucalyptus* spp. populations – The case of technology increasing income. Lavras: UFLA, 1999. Cap.2, p. 48-76. (Dissertation – Masters in Forest Engineering).¹

The renewal or substitution of *Eucalyptus* spp. populations demands high yearly investment. Several projects are carried out simultaneously to fulfill the demands of the industrial unit. The increase in a company's income when there is no change in the wood price and cultivated area occurs through yield increase. The yield increase occurs with technological progress in the Sector, which should be studied and understood so that the resources invested reach a higher return. Technological progress happens in various ways, but its effects summarize into yield increase and cost reduction. This study aimed to study the effects of yield increase on the optimal time to substitute *Eucalyptus* spp. populations; to determine the cutting time of the population with the income being crescent and the cost being constant; to propose and verify the efficiency of a mathematical model; to determine the time of substitution if the costs have been constant since the sixties and to project the time in the future to substitute the population, considering the yield crescent and the costs constant at today's values, employing average data of large forest companies that act in the Cerrado of the state of Minas Gerais. The Gompertz Function was employed to determine the volume and yield. The economical criterion employed to evaluate the viability of the projects was the Current Net Value. The proposed study consisted of the modeling of the yield increase and the determination of this increment's rate, as well as the determination of a rate which served as a moderator so that the yield would not have unreal values. The costs were

¹Advising committee: José Luiz Pereira de Rezende (Major Professor) – UFLA, Antônio Donizette de Oliveira – UFLA, José Roberto Soares Scolforo – UFLA.

considered constant through time. It was concluded that: The forest rotation with current values is at 7 years of age; keeping the costs from the sixties, the optimal age for substitution would be after 6 cuttings; the model proved to be efficient for estimates for a period of up to 40 years; the study of the substitution chain showed that the optimal ages for substitution have gone down along the years, going from 6 cuttings in the sixties, when there was loss, to 3 cuttings in the eighties, when the activity started to be profitable. Nowadays the substitution should be done after 2 cuttings; a tendency to stick with 2 cuttings after the substitution was verified for future cultivations, although little technological improvement in the coppice yield brings the optimal point of substitution to after the third cutting.

1. INTRODUÇÃO

Altos investimentos são aplicados na reforma ou substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp anualmente. Vários projetos são conduzidos paralelamente, de maneira que a unidade florestal sempre possa atender às demandas da unidade industrial.

Os investidores esperam que as receitas geradas ao final do projeto, possam ser superiores aos custos de produção da madeira, de tal forma que paguem estes custos e permitam novos investimentos.

O aumento nas receitas de uma empresa, não havendo mudança nos preços de mercado da madeira, se dá via aumento de produtividade. Este aumento na produtividade, por sua vez, é possível devido ao progresso tecnológico do Setor Florestal. Steindl (1980) definiu progresso tecnológico como um processo que acarreta a longo prazo o aumento do produto por trabalhador e que possa, experimentalmente, ser medido por ele, porém esta definição simples não traduz a complexidade do fenômeno. O autor mostrou que o progresso tecnológico pode proporcionar a economia do fator terra e recursos naturais e, conseqüentemente, de capital, além de produzir novos bens e afetar a qualidade de vida. Uma outra característica é o estímulo ao investimento.

Recentemente, tem sido observado um aumento de produtividade nos novos plantios devido aos trabalhos de melhoramento florestal realizados pelas empresas. O aumento gradativo dos preços de terras utilizadas para o plantio de florestas forçam as empresas a obterem maior produtividade por unidade de área.

O efeito do progresso tecnológico na empresa florestal pode, entre outros critérios, ser verificado pelo aumento na produtividade dos talhões. Com a introdução de clones melhorados e adaptados aos sítios, a utilização de novas técnicas de plantios e tratos culturais, as florestas têm produzido mais a cada

ciclo. Este ganho em produtividade pode ser observado na Figura 1, que mostra o aumento da produtividade de uma empresa florestal de grande porte do Estado de Minas Gerais.

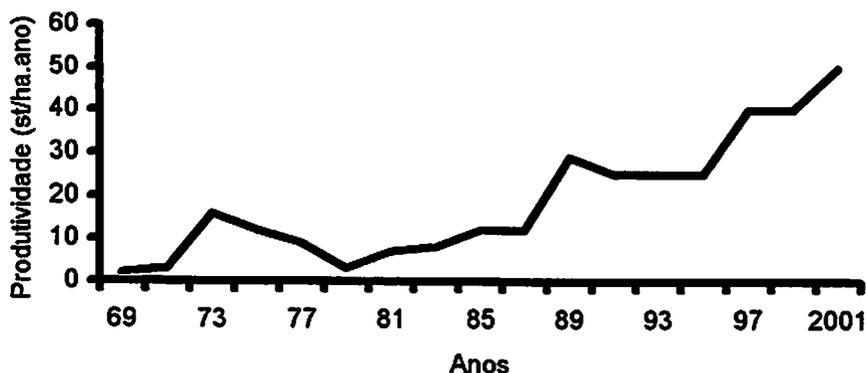


FIGURA 1 – Evolução da produtividade (st/ha.ano) em plantações de *Eucalyptus* spp.

O efeito do progresso tecnológico sobre os custos neste mesmo período foi menos pronunciado. Tal fato esteve relacionado às altas taxas de inflação, que, associadas à correção monetária, mascaravam os níveis de custos e seu controle.

Dentre as atividades de manejo, a reforma é uma das mais importantes porque proporciona a continuidade da atividade florestal.

A reforma pode ser implementada a qualquer tempo, porém, para se estabelecer uma regulação da floresta com o objetivo de manter um fluxo constante de produção de madeira, é necessário definir qual o intervalo entre os

cortes de um determinado talhão, ou seja, qual a idade ótima de se fazer o corte do alto fuste e das talhadias.

Davis (1966) definiu rotação como sendo o tempo passado entre o estabelecimento e o crescimento de uma floresta até o momento de ser explorada. Para ele, o problema maior envolvendo o assunto está em determinar este tempo.

Silva(1990) definiu reforma como sendo a substituição total do povoamento de baixo potencial produtivo, ou com produtividade abaixo da esperada, por um novo povoamento originado do plantio de mudas.

Rezende (1987) comparou um povoamento florestal a uma máquina que produz o produto madeira, chamando a atenção para o fato de que a época ótima de substituir a floresta poderia ser encontrada da mesma maneira que se encontrava a época de substituir uma máquina qualquer.

De acordo com os conceitos da Engenharia Econômica, Massé (1962) diferenciou substituição de reforma quando se trata de máquinas e equipamentos. Para ele, uma substituição é efetuada quando o equipamento se torna incapaz de exercer a função para a qual foi designado e construído e reforma seria um “reparo” no equipamento para que continue a produzir dentro do esperado.

Rezende (1987) definiu reforma e substituição para o caso de um povoamento florestal, sendo a substituição considerada quando o povoamento não produz de maneira satisfatória.

A reforma se refere a uma situação na qual um povoamento ainda é capaz de executar suas funções, mas pode ser alterado (interplântio, adensamento) ou mesmo ser substituído por outro mais eficiente.

2. OBJETIVOS

- O objetivo geral deste trabalho foi estudar os efeitos do progresso tecnológico (aumento da produtividade) sobre a época ótima de substituir povoamentos de *Eucalyptus* spp.

Especificamente, pretendeu-se:

- Conhecer o momento de corte do povoamento sendo a receita crescente e o custo constante;
- Propor e verificar a eficiência de um modelo matemático;
- Verificar qual seria o momento de substituir se os custos estivessem constantes desde o início dos incentivos fiscais, ou seja, na década de 60;
- Projetar o momento de substituir o povoamento no futuro, considerando a produtividade crescente e os custos constantes a valores de hoje.

3.MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Método de Avaliação Econômica Utilizado

O critério do valor presente líquido (VPL) é o mais adotado na avaliação de projetos florestais e foi utilizado neste trabalho. Este critério é rigoroso e isento de falhas, o que lhe confere credibilidade (Contador, 1996). O critério do VPL consiste em trazer para o ano zero do projeto todos os valores constantes no seu fluxo de caixa e subtrair as receitas dos custos. Algebricamente tem-se:

$$VPL = \sum_{x=0}^{nt} R_x (1 + r)^{-x} - \sum_{x=0}^{nt} C_x (1 + r)^{-x}$$

onde:

C_x = custos efetuados no ano x ;

R_x = receitas auferidas no ano x ;

r = taxa anual unitária de desconto;

t = rotação em anos;

n = número de cortes;

x = ponto no tempo, em anos, em que ocorrem custos e receitas

3.2. Função de Produção

Para estimar a produção de madeira foi utilizada a Função Gompertz, que é dada por:

$$Y = K \left(1 - e^{-a \cdot e^{b \cdot m}} \right) \quad (2.1)$$

onde:

K, a e b = coeficientes;

m = Idade do povoamento em meses;

e = Base dos logaritmos neperianos;

Y = Produção de madeira em st/ha.

Contudo, nessa forma a função é “fixa”, isto é, o volume será sempre o mesmo para a mesma idade projetada do povoamento de qualquer implantação. Para retratar uma situação dinâmica (progresso tecnológico) que se quer, é preciso adaptá-la adequadamente. Uma possibilidade é determinar uma taxa de crescimento volumétrico que explique o aumento da produtividade com o tempo. Haverá sempre progresso tecnológico. Assim, a partir da equação (2.1), se Y é constante, a produtividade do alto fuste seria a mesma a cada rotação. Mas se Y cresce com o progresso tecnológico, na próxima rotação não será Y e sim $Y + \Delta Y$. Este ΔY pode ser reduzido a uma taxa anual de aumento de produtividade, facilitando a manipulação. Assim:

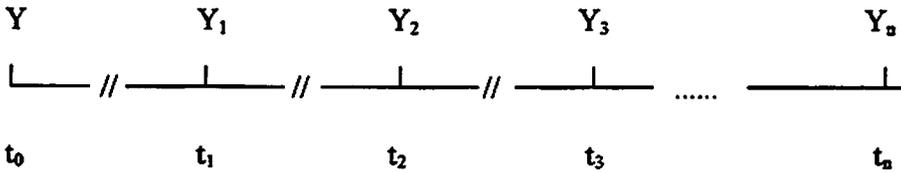
$Y_i = Y + \Delta Y$ = produção do próximo ciclo;

j_i = taxa anual de crescimento de Y no período t_i (rotação);

t_i = rotação em anos.

$$Y_i = Y (1 + j_i)^{t_i} \tag{2.2}$$

O esquema a seguir ilustra a situação em que o volume é crescente ao longo do tempo:



Onde:

$$Y_1 = Y(1+j_1)^{t_1};$$

$$Y_2 = Y(1+j_1)^{t_1}(1+j_2)^{t_2};$$

$$Y_3 = Y(1+j_1)^{t_1}(1+j_2)^{t_2}(1+j_3)^{t_3};$$

⋮

$$Y_n = Y(1+j_1)^{t_1} \dots (1+j_n)^{t_n}.$$

Em que: Y_1, Y_2, \dots, Y_n são as produtividades dos alto fustes das várias implantações.

Considerando o período de ocorrência das parcelas como sendo igual a cada rotação, para simplificar e permitir a modelagem tem-se:

$$j_1 = j_2 = j_3 = \dots = j_n = j$$

$$t_1 = t_2 = t_3 = \dots = t_n = t$$

Assim:

$$Y_1 = Y(1+j)^t;$$

$$\begin{aligned}
 Y_2 &= Y(1+j)^{2t}, \\
 &\vdots \\
 Y_n &= Y(1+j)^{nt}
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

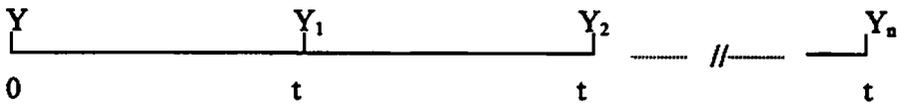
onde:

n = número de implantações;

nt = número de anos decorridos entre o primeiro plantio e o corte final.

Há ainda que se considerar que as talhadas não se beneficiam do progresso tecnológico. Cada talhadia se relaciona com o volume do alto fuste que lhe deu origem, sendo sempre uma percentagem deste volume. Por este motivo, quando a taxa de progresso tecnológico é alta, espera-se que o número de cortes que antecedem a reforma, em princípio, diminua a fim de que o volume do novo plantio incorpore o ganho da nova tecnologia.

Para a reforma após cada corte e “ n ” implantações, tem-se o seguinte esquema:



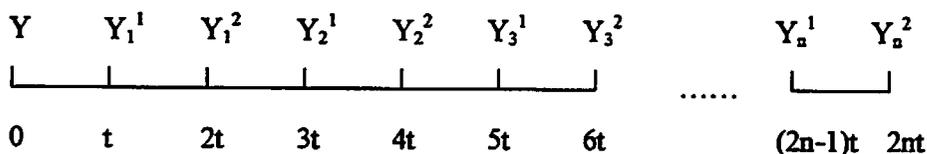
Onde:

$$Y_1 = Y(1+j)^t$$

$$Y_2 = Y(1+j)^{2t}$$

$$Y_n = Y(1+j)^{nt}$$

Para a reforma após 2 cortes e “ n ” implantações tem-se.



Onde:

$$Y_1^1 = Y(1+j)^t$$

$$Y_1^2 = Y.\beta(1+j)^t$$

$$Y_2^1 = Y(1+j)^{3t}$$

$$Y_2^2 = Y.\beta(1+j)^{3t}$$

$$Y_3^1 = Y(1+j)^{5t}$$

$$Y_3^2 = Y.\beta(1+j)^{5t}$$

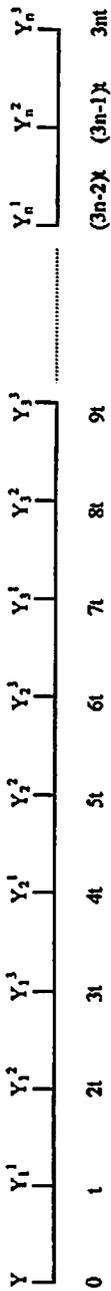
\vdots

$$Y_n^1 = Y(1+j)^{(2n-1)t}$$

$$Y_n^2 = Y.\beta(1+j)^{(2n-1)t}$$

Em que “ β ” é o fator que corrige o volume da primeira talhadia em relação ao volume do alto fuste e das demais talhadias em relação à talhadia anterior. O valor de “ β ” foi considerado como sendo 0,90 (90%) do volume anterior.

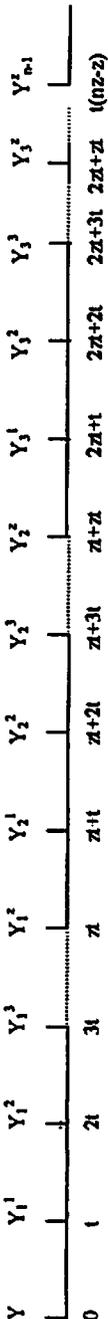
Para reforma após 3 cortes e "n" implantações, tem-se:



Onde:

$$\begin{aligned}
 Y_1^1 &= Y(1+j)^t \\
 Y_1^2 &= Y \cdot \beta(1+j)^t \\
 Y_1^3 &= Y \cdot \beta^2(1+j)^t \\
 Y_2^1 &= Y(1+j)^{4t} \\
 Y_2^2 &= Y \cdot \beta(1+j)^{4t} \\
 Y_2^3 &= Y \cdot \beta^2(1+j)^{4t} \\
 &\vdots \\
 Y_n^1 &= Y(1+j)^{(3n-2)t} \\
 Y_n^2 &= Y \cdot \beta(1+j)^{(3n-2)t} \\
 Y_n^3 &= Y \cdot \beta^2(1+j)^{(3n-2)t}
 \end{aligned}$$

Para a reforma após "z" cortes e "n" implantações, tem-se:



Continuação

$$\begin{array}{ccccccc}
 Y_n^1 & & Y_n^2 & & Y_n^3 & & Y_n^z \\
 \hline
 t[(n-1)z + 1] & & t[(n-1)z + 2] & & t[(n-1)z + 3] & & nzt
 \end{array}$$

Onde:

$$Y_1^1 = Y(1+j)^t$$

$$Y_1^2 = Y \cdot \beta(1+j)^t$$

$$Y_1^3 = Y \cdot \beta^2(1+j)^t$$

⋮

$$Y_1^z = Y \cdot \beta^{z-1}(1+j)^t$$

$$Y_2^1 = Y(1+j)^{(z+1)t}$$

$$Y_2^2 = Y \cdot \beta(1+j)^{(z+1)t}$$

$$Y_2^3 = Y \cdot \beta^2(1+j)^{(z+1)t}$$

⋮

$$Y_2^z = Y \cdot \beta^{z-1}(1+j)^{(z+1)t}$$

$$Y_1^z = Y(1+f)^{(2z+1)}$$

$$Y_2^z = Y \cdot \beta(1+f)^{(2z+1)}$$

$$Y_3^z = Y \cdot \beta^2(1+f)^{(2z+1)}$$

⋮

$$Y_z^z = Y \cdot \beta^{z-1}(1+f)^{(2z+1)}$$

⋮

$$Y_1^a = Y(1+f)^{(a-1)z+1}$$

$$Y_2^a = Y \cdot \beta(1+f)^{(a-1)z+1}$$

$$Y_3^a = Y \cdot \beta^2(1+f)^{(a-1)z+1}$$

⋮

$$Y \cdot \beta^{z-1}(1+f)^{(a-1)z+1}$$

Em que:

$Y_1^1 =$ Volume do primeiro corte da primeira implantação;

$Y_2^1 =$ Volume do segundo corte da primeira implantação;

⋮

$Y_n^z =$ Volume do z-ésimo corte da n-ésima implantação.

Da maneira como foi colocada, a equação (2.3) não retratará a realidade, uma vez que a taxa “j” não apresenta o mesmo comportamento ao longo do tempo. Para contornar isto, tornou-se necessária a entrada de um moderador que, aplicado à taxa “j”, proporcionasse ao volume crescer a uma taxa decrescente, evitando valores irreais.

No esquema acima, partiu-se de um volume Y referente a uma implantação anterior ao estudo. Como trata-se de dois cortes, o primeiro valor Y_1^1 representa o volume do primeiro corte da primeira implantação, Y_1^2 representa o segundo corte da primeira implantação e assim sucessivamente. Para modelar o crescimento de Y no caso de reforma após 2 cortes e “n” implantações que retrate a realidade, tem-se em cada ponto no tempo as seguintes expressões:

$$Y_1^1 = Y \left[1 + j(1-u)^t \right]^t$$

$$Y_1^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^t \right]^t$$

$$Y_2^1 = Y \cdot \left[1 + j(1-u)^{3t} \right]^{\beta t}$$

$$Y_2^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^{3t} \right]^{\beta t}$$

$$Y_3^1 = Y \cdot \left[1 + j(1-u)^{5t} \right]^{\beta t}$$

$$Y_3^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^{5t} \right]^{\beta t}$$

⋮
⋮
⋮

$$Y_n^1 = Y \cdot [1 + j(1-u)^{(2n-1)t}]^{(2n-1)t}$$

$$Y_n^2 = Y \cdot \beta [1 + j(1-u)^{(2n-1)t}]^{(2n-1)t}$$

onde “u” representa a taxa de decréscimo de “j”.

Para o caso de reforma após 3 cortes e “n” implantações com a taxa “j” decrescendo à taxa “u”, têm-se as seguintes expressões:

$$Y_1^1 = Y [1 + j(1-u)^t]^t$$

$$Y_1^2 = Y \cdot \beta [1 + j(1-u)^t]^t$$

$$Y_1^3 = Y \cdot \beta^2 [1 + j(1-u)^t]^t$$

$$Y_2^1 = Y [1 + j(1-u)^{4t}]^{4t}$$

$$Y_2^2 = Y \cdot \beta [1 + j(1-u)^{4t}]^{4t}$$

$$Y_2^3 = Y \cdot \beta^2 [1 + j(1-u)^{4t}]^{4t}$$

⋮
⋮

$$Y_n^1 = Y [1 + j(1-u)^{(3n-2)t}]^{(3n-2)t}$$

$$Y_n^2 = Y \cdot \beta [1 + j(1-u)^{(3n-2)t}]^{(3n-2)t}$$

$$Y_n^3 = Y \cdot \beta^2 \left[1 + j(1-u)^{(3n-2)t} \right]^{(3n-2)t}$$

Para o caso de “z” cortes e “n” implantações, têm-se as seguintes expressões:

$$Y_1^1 = Y \left[1 + j(1-u)^t \right]^t$$

$$Y_1^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^t \right]^t$$

$$Y_1^3 = Y \cdot \beta^2 \left[1 + j(1-u)^t \right]^t$$

⋮

$$Y_1^z = Y \cdot \beta^{z-1} \left[1 + j(1-u)^t \right]^t$$

$$Y_2^1 = Y \left[1 + j(1-u)^{t(z+1)} \right]^{t(z+1)}$$

$$Y_2^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^{t(z+1)} \right]^{t(z+1)}$$

$$Y_2^3 = Y \cdot \beta^2 \left[1 + j(1-u)^{t(z+1)} \right]^{t(z+1)}$$

⋮

$$Y_2^z = Y \cdot \beta^{z-1} \left[1 + j(1-u)^{t(z+1)} \right]^{t(z+1)}$$

$$Y_3^1 = Y \left[1 + j(1-u)^{t(2z+1)} \right]^{t(2z+1)}$$

$$Y_3^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^{t(2z+1)} \right]^{t(2z+1)}$$

$$Y_3^3 = Y \cdot \beta^2 \left[1 + j(1-u)^{t(2z+1)} \right]^{t(2z+1)}$$

⋮

$$Y_3^z = Y \cdot \beta^{z-1} \left[1 + j(1-u)^{t(2z+1)} \right]^{t(2z+1)}$$

⋮

$$Y_n^1 = Y \left[1 + j(1-u)^{t[(n-1)z+1]} \right]^{t[(n-1)z+1]}$$

$$Y_n^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^{t[(n-1)z+1]} \right]^{t[(n-1)z+1]}$$

$$Y_n^3 = Y \cdot \beta^2 \left[1 + j(1-u)^{t[(n-1)z+1]} \right]^{t[(n-1)z+1]}$$

⋮

$$Y_n^z = Y \cdot \beta^{z-1} \left[1 + j(1-u)^{t[(n-1)z+1]} \right]^{t[(n-1)z+1]} \quad (2.4)$$

A equação (2.4) representa o modelo proposto para a determinação da produção, considerando o progresso tecnológico.

3.3. Receitas

As receitas brutas (RB) são obtidas com a venda da produção (Y) ao preço de mercado (P). Logo, RB é dada por:

$$RB = Y * P \quad (2.5)$$

Para o cálculo do Valor Presente da RB, tem-se a seguinte expressão para “z” cortes e “n” implantações:

$$\begin{aligned}
VF(RB) = P * \{ & Y_1^1(1+r)^{-t} + Y_1^2(1+r)^{-2t} + \dots + Y_1^z(1+r)^{-zt} + Y_2^1(1+r)^{-t(z+1)} + \\
& + Y_2^2(1+r)^{-t(z+2)} + \dots + Y_2^z(1+r)^{-2zt} + \dots + Y_{n-1}^z(1+r)^{-t(nz-z)} + Y_n^2(1+r)^{-t[(n-1)z+1]} + \dots \\
& + Y_n^2(1+r)^{-t[(n-1)z+1]} + \dots + Y_n^z(1+r)^{-znt} \} \quad (2.6)
\end{aligned}$$

O valor entre chaves representa o volume equivalente no período considerado.

3.4. Custos

3.4.1. Planilha de Custos e Demais Valores Considerados para os Cálculos

A planilha de custos utilizada para os cálculos, em valores atuais (1999), está representada na Tabela 2.1. Os custos foram divididos em três grupos. O 1º grupo foi composto pelos custos operacionais de plantio (ano zero), o 2º grupo foi composto por custos operacionais da manutenção florestal (1º ano ao ano de corte) e o 3º grupo foi composto pelos custos operacionais da regeneração florestal (1º ano após o corte ao ano de corte das talhadas). Além desses custos, foram considerados os seguintes valores:

- Taxa de desconto: 8% ao ano;
- Preço atual da madeira: US\$15.00/st;
- Preço da madeira na década de 60: US\$12.00/st;
- Produtividade das talhadas (β): 90% do volume do corte anterior;
- Custo de colheita na década de 60: US\$/st 6.00;
- Custo atual de colheita: US\$/st 2.00.

TABELA 2.1 – Planilha de custos (US\$/ha) com valores da década de 60 e atuais (final da década de 90).

Custos operacionais de plantio	Custo efetivo década de 60 3,480.48	Custo efetivo atual 1,160.16
Custos operacionais da manutenção florestal	Custo efetivo década de 60 965.43	Custo efetivo atual 321.81
Custos operacionais da regeneração florestal	Custo efetivo década de 60 1,206.68	Custo efetivo atual 402.23

OBS.: Custos de grandes empresas que atuam na área de cerrado em Minas Gerais.

Como o presente trabalho considerou os custos constantes ao longo do tempo, o cálculo do valor presente dos custos será semelhante ao das receitas.

Assim:

$$VPC = \sum_{x=0}^m (C_x)^{-x} \quad (2.7)$$

onde VPC representa o valor presente dos custos e C representa as parcelas de custos consideradas iguais ao longo do tempo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. O Modelo

Para se testar a validade do modelo, ou seja, para modelar o crescimento da produtividade ao longo do tempo, foram utilizados dados de produtividade provenientes da década de 1960 até os dados atuais. O primeiro passo foi calcular a taxa média de crescimento da produtividade ao longo destes anos.

Dados citados por IBDF (1974), mais os dados atuais, proporcionaram a obtenção da taxa média de crescimento da produtividade (“j”), que foi de 15%

a.a. entre as décadas de 1960 e 1990. Porém, este valor médio, por si só, não resolveria a questão, pois se esta taxa fosse considerada sempre de 15% a.a., a produtividade calculada pelo modelo chegaria a valores irreais. Neste sentido, foi notada a necessidade de um moderador que permitisse a modelagem com valores reais. Assim, de posse dos valores antigos e atuais de produtividade foi calculado o valor da taxa de decréscimo da taxa de aumento da produtividade (“u”), que foi de 2,3% a.a.

O próximo passo foi determinar as produtividades ao longo do tempo aplicando-se a seguinte equação:

$$Y_n = Y * [1 + j(1 - u)^{nt}]^{nt}$$

Abaixo estão relacionadas as produtividades aos 7 anos, que vão de 1960 a 2000, e, de 2000 a 2040, bem como, os valores das taxas “j” e “u”. Estes dados originaram a Tabela 2.2, onde estão relacionadas as produtividades estimadas para as décadas de 1960 a 2040, beneficiadas pelo progresso tecnológico.

1960-2000	2000-2040
Y = 30 st/ha; (1960)	Y = 300 st/ha; (2000)
Y _n = 300 st/ha; (2000)	Y _n = 400 st/ha; (2040)
j = 0,15; ou 15% a.a.	j = 0,007218; ou 0,7218% a.a.
u = 0,023; ou 2,3% a.a.	u = 0,001; ou 0,1% a.a.

TABELA 2.2 - Produtividade estimada por década de 1960 à 2000 e de 2000 à 2040.

Época	Volume (st/ha)	Época	Volume (st/ha)
1960	30,00	2000	300,00
1970	92,23	2010	322,14
1980	181,52	2020	345,43
1990	259,99	2030	369,88
2000	300,00	2040	395,53

O volume foi estimado dentro de um horizonte de 40 anos. Tal fato se deve às próprias limitações apresentadas pelo modelo. A parte da equação:

$$\left[1 + j(1 - u)^{nt} \right]^{nt}$$

Cresce até um certo ponto com “nt”, posteriormente ela começa a cair, provocando reduções nos volumes. Estas restrições do modelo são mais pronunciadas quanto maiores forem os valores de “j” e “u”. A Figura 2 representa a evolução da produtividade ao longo do período considerado.

É importante lembrar que a função de produção utilizada para estimar a produtividade é uma função ajustada para o cerrado do Estado de Minas Gerais, mas em outras regiões a produtividade atual (1999) pode chegar até a 600 st/ha.

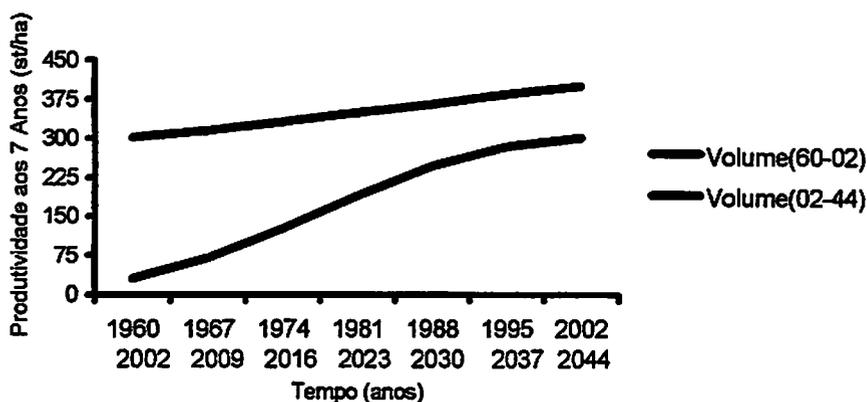


FIGURA 2. Evolução da Produtividade de 1960 até 2000 e Projeção de 2000 à 2040.

Nos primeiros 40 anos do estudo, a produtividade teve um impulso maior com o progresso tecnológico, mostrando o quanto se estava longe do ideal. Na segunda metade do estudo, observou-se que os aumentos na produtividade foram menores, chegando a um ponto em que tenderam à estabilidade.

4.2. Rotação

Toda base de cálculo foi elaborada a partir do prévio conhecimento da idade ótima de corte, pois quando se altera qualquer variável, tem-se efeito nas condições técnicas e econômicas da rotação, portanto, é necessário recalcular a idade de corte e verificar o efeito no número de cortes que antecedem a substituição. A Tabela 2.3 mostra o VPL em diversas idades de corte para uma taxa de desconto de 8% e horizonte de planejamento infinito. Os coeficientes usados para o cálculo do volume foram:

$$K = 300 \text{ st/ha};$$

$$a = -0,07849;$$

$$b = 0,037.$$

TABELA 2.3 - VPL e Volume para Diversas Idades de um Povoamento de *Eucalyptus* spp para uma Taxa de Desconto de 8%.

Idade (anos)	Volume (st/ha)	VPL (US\$/ha)
1	28,16	-6,923.19
2	44,18	-3,316.87
3	68,10	-1,696.42
4	12,11	-638.,0
5	146,86	181.01
6	198,80	792.64
7	248,19	1,123.57
8	282,44	1,123.32
9	296,94	875.53
10	299,82	557.63

A época ótima de corte do povoamento foi aos 7 anos de idade, quando o VPL foi maior. Os dados da Tabela 2.3 foram considerados a base para outros cálculos.

Mesmo sabendo que do alto fuste para as talhadias a idade de corte pode mudar, neste estudo foi considerado que ela é a mesma. A variação entre alto fuste e talhadia pode ser desprezada para fins de cálculo (Lopes, 1990).

4.3. Cadeia de Substituição

O estudo da cadeia de substituição foi realizado em etapas, sendo que, na primeira, foi estudado o efeito do progresso tecnológico na época ótima de substituição considerando os custos da época em que se iniciou o estudo, ou seja, a década de 1960. Na segunda etapa foi estudado o efeito do progresso tecnológico com dados atuais, e na terceira foram projetadas as épocas ótimas de substituição para 40 anos no futuro, dada uma taxa de progresso tecnológico projetada pelo modelo.

Os dados de custos para a década de 60 foram considerados como três vezes maiores que os atuais, exceção feita ao custo da terra, que foi de US\$200.00/ha e considerado como o custo de oportunidade da terra à taxa de 8%a.a., sendo, portanto, um custo anual. A Tabela 2.4 mostra o momento ótimo de substituição para a década de 1960.

TABELA 2.4 - Momento ótimo de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp no Estado de Minas Gerais.

Número de cortes	Valor atual das receitas (US\$/ha)	Valor atual dos custos (US\$/ha)	VPL infinito (US\$/ha)
1	1,938.08	2,559.39	-621.31
2	1,866.67	2,092.65	-225.98
3	1,814.14	1,946.98	-132.48
4	1,776.59	1,881.61	-105.03
5	1,750.44	1,847.85	-97.42
6	1,732.66	1,829.23	-96.57
7	1,720.84	1,818.60	-97.76

Houve uma queda no valor atual dos custos com o aumento do número de cortes. Este fato, a princípio, pode parecer paradoxal, uma vez que os custos de manutenção e condução das brotações continuam existindo, porém, quanto maior for o número de cortes, menos implantações, que representam custos pesados, serão necessárias, conseqüentemente os custos totais atualizados serão menores, pois considera-se horizonte infinito.

Um outro fato importante é em relação ao VPL na idade ótima de substituição, que seria após 6 cortes. Estes valores negativos demonstram que os projetos florestais naquelas condições eram avaliados pelo menor prejuízo e não pelo maior lucro. Esta situação, por si só, justificou a ação governamental que concedeu os incentivos fiscais ao reflorestamento. O que se esperava era um desenvolvimento tecnológico no Setor que mudasse aquela situação.

A Tabela 2.5 mostra o comportamento da época ótima de substituição dos povoamentos de eucalipto ao longo das décadas de 1960 a 2000. No período 1960/1970, o VPL ainda era negativo e o número de cortes alto (6). Quando o VPL passou a ser positivo, o reflorestamento tornou-se lucrativo e o número de cortes caiu rapidamente de 6 para 3, permanecendo inalterado até 1990, quando se reduziu para 2 cortes. A redução dos incentivos fiscais pelo governo e sua total extinção em 1985 parece ter seguido trajetória perfeitamente justificada do ponto de vista econômico.

TABELA 2.5 - Efeito do Progresso Tecnológico no número de cortes que antecederam à substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp.

Década	Volume (st/ha)	VPL (US\$/ha)	Nº de Cortes
1960-1970	92,23	-97.57	6
1970-1980	181,53	1,189.47	3
1980-1990	259,97	2,426.65	3
1990-2000	298,70	2,995.65	2

A situação projetada para o período 2000/2040 pode ser observada na Tabela 2.6.

TABELA 2.6 - Efeito do Progresso Tecnológico no número de cortes que antecederão à substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp, projetado para o período 2000/2040.

Década	Volume (st/ha)	VPL (US\$/ha)	Nº de cortes
2000-2010	322,14	3,406.80	2
2010-2020	345,43	3,815.32	2
2020-2030	369,88	4,244.19	2
2030-2040	395,53	4,694.11	2

Para as próximas 4 décadas haverá sempre 2 cortes antes de se substituir o povoamento. Este fato, porém, ocorre em uma situação onde β será sempre 90% em relação ao volume anterior. O número de cortes, por sua vez, é muito sensível a possíveis aumentos de β , de maneira que se o índice passar de 90% para 94%, o número de cortes subirá para 3, passando para 96% conforme a Figura 3, o número de cortes chegará a quatro antes da substituição.

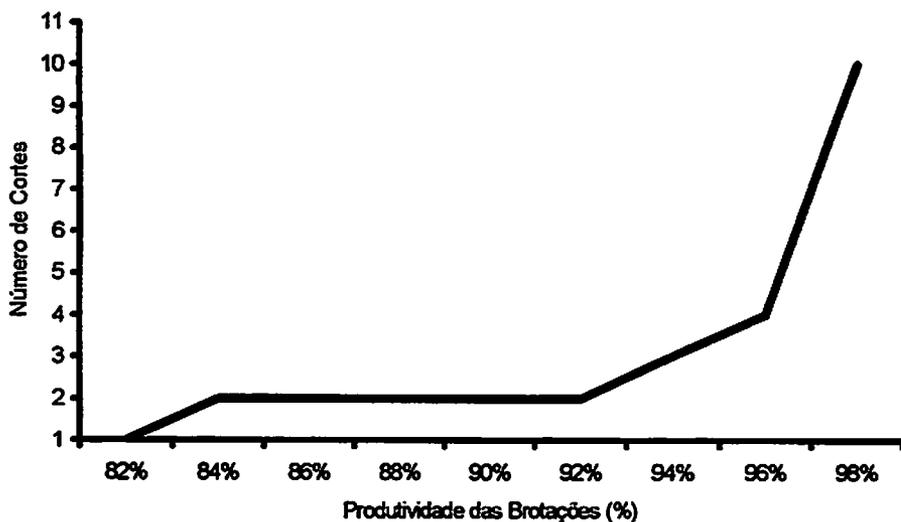


FIGURA 3. Representação gráfica da variação no número de cortes que antecederão à substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp, em função de aumentos na produtividade das brotações.

O número de cortes nunca será menor que 1, em outras palavras, para qualquer β menor que 82% sempre ocorrerá substituição após um corte. Para

qualquer valor de β entre 84% e 93%, o número de cortes será sempre 2 antes da substituição. Quando a produtividade das talhadias tender a 100%, o número de cortes tenderá ao infinito, conforme o último seguimento da Figura 3. Para a situação onde β permite 4 cortes (96%), observou-se que no quarto corte o volume já chegaria a 83% do volume inicial, o que implicaria na necessidade de outra implantação.

A busca do aumento da produtividade nas talhadias não vinha sendo considerada como prioridade nas pesquisas. Um dos motivos era a combinação de fatores mecânicos, ecológicos e silviculturais (Rezende, 1987). Porém, com a elevação dos custos, as empresas já se posicionam de maneira a buscar aumentos significativos, postergando o momento da substituição.

5. CONCLUSÕES

Os resultados alcançados e as análises realizadas, permitiram as seguintes conclusões:

- A rotação florestal com valores atuais se encontra aos 7 anos de idade;
- Mantidos os custos da década de 60, a idade ótima de substituição seria após 6 cortes;
- O modelo se mostrou eficiente para estimativas e previsões em horizontes de até 40 anos;
- As épocas ótimas de substituição caíram ao longo dos anos, passando de 6 cortes na década de 60 para 3 na década de 80 e chegando a 2 nos dias atuais;
- Para os futuros plantios, a tendência é que a substituição seja feita após 2 cortes. Porém, pequena melhora tecnológica na produtividade das cortes passa o ponto ótimo de substituição para após o 3º corte.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONTADOR, C.R. **Projetos Sociais - Avaliação e Prática**. 3^a ed. Atlas, São Paulo. 1996. 375p.
- DAVIS, K.P. **Forest Management: Regulation and Valuation**. 2nd ed. New York, McGraw-Hill, 1966. 519p.
- IBDF. **Zoneamento Econômico Florestal do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte -MG, 1974. 182p.
- LOPES, H.V.S.; **Análise Econômica dos Fatores que Afetam a Rotação de Povoamentos de Eucaliptos**. Viçosa, U.F.V., 1990. 188p. (Tese M.S.).
- REZENDE, J.L.P., PAULA Jr., G.G., RIBEIRO, G.A., **Técnicas de Análise Econômicas Usadas na Tomada de Decisão Referentes à Reforma de Eucaliptais**. In: **Seminário Sobre Aspectos Técnicos e Econômicos da Reforma de Eucaliptais**. Belo Horizonte, U.F.V./S.I.F., 1987.
- SILVA, A.A.L., **Análise Econômica da Substituição de Povoamentos de *Eucalyptus* spp.** Viçosa, U.F.V., 1990. 109p. (Tese M.S.).
- STEINDL, J. **Progresso Técnico, distribuição e crescimento**, IN: **Progresso Técnico e Teoria Econômica**. (GAREGNANI, P.). São Paulo: Hucitec, 1980. 183p. (Economia e Planejamento. Série Técnica Contemporânea).

CAPÍTULO 3

ESTUDO DO MOMENTO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* spp – O CASO DA TECNOLOGIA REDUZINDO OS CUSTOS.

RESUMO

SOUZA, A.N. Estudo do momento ótimo de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp – O caso da tecnologia reduzindo os custos. Lavras: UFLA, 1999. Cap.3, p. 77-102. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).¹

O caminho natural de qualquer empreendimento que busque a maximização do lucro sobre o capital investido passa obrigatoriamente por pesquisas onde o aumento da produtividade e a redução dos custos são o objetivo principal. Os componentes do custo de produção de madeira incorridos à época dos incentivos fiscais eram, em média, três vezes maiores que os custos atuais. O custo de implantação, por exemplo, era de US\$ 1,800.00 na década de 60 e hoje está em torno de US\$ 600.00/ha. A tendência atual do Setor é investir na redução dos custos, uma vez que a produtividade dos plantios atuais já alcança altos índices. Neste sentido, procurar conhecer o comportamento dos custos em um empreendimento florestal é uma das variantes mais importantes no caminho que leva às decisões no que tange a questão da reforma ou substituição de um povoamento, que ao longo dos anos vem sofrendo modificações nos seus custos em função do progresso tecnológico evidente que ocorre no Setor. Este trabalho teve como objetivo estudar os efeitos da redução nos custos sobre a época ótima de substituir povoamentos de *Eucalyptus* spp; conhecer o momento de corte do povoamento sendo a receita constante e o custo decrescente; propor e verificar a eficiência de um modelo matemático que permita modelar os efeitos do progresso tecnológico; verificar qual seria o momento de substituir se as receitas estivessem constantes desde o início dos incentivos fiscais, ou seja, na década de 60; projetar o momento de

¹ Comitê Orientador: José Luiz Pereira de Rezende (Orientador) – UFLA, Antônio Donizette de Oliveira – UFLA, José Roberto Soares Scolforo – UFLA.

substituir o povoamento no futuro considerando os custos decrescente e a produtividade constante a valores de hoje, utilizando-se dados médios de grandes empresas florestais que atuam na região do Cerrado do Estado de Minas Gerais. Utilizou-se a Função Gompertz para o cálculo da produtividade. O critério utilizado para a avaliação econômica da viabilidade dos projetos foi o Valor Presente Líquido. O modelo proposto permitiu calcular o efeito do progresso tecnológico nos custos no período entre 1960 e 2000 e projetar os valores dos custos para o período entre 2000 e 2040. Concluiu-se que: A rotação, com valores atuais, se encontra em 7 anos, mantidas as receitas da década de 60; a idade ótima de substituição estaria em 6 cortes; o modelo se mostrou eficiente para estimativas em um horizonte de até 40 anos; o estudo da cadeia de substituição mostrou que as épocas ótimas de substituição caíram ao longo dos anos, passando dos 6 cortes na década de 60 para 3 cortes na década de 80, chegando, atualmente, a 2 cortes; no futuro há tendência de permanecer nos 2 cortes antes da substituição, passando a 3 cortes com um pequeno aumento na produtividade das talhadas.

CHAPTER 3

STUDY OF THE OPTIMAL TIME FOR SUBSTITUTION OF *Eucalyptus* spp. POPULATIONS – THE CASE OF TECHNOLOGY REDUCING COSTS

ABSTRACT

SOUZA, A.N. Study of the optimal time for substitution of *Eucalyptus* spp. populations – The case of technology reducing costs. Lavras: UFLA, 1999. Cap.3, p.77-102. (Dissertation – Masters in Forest Engineering).¹

The natural course for any business looking for a maximization of profit on the invested capital obligatorily goes through research in which the the yield increase and cost reduction are the main objective. The components of the cost of wood production incurred at the time of the fiscal incentives were, in average, three times larger than the current costs. The implantation cost, for example, was of US\$ 1,800.00 in the sixties and today it is around US\$ 600.00/ha. The current tendency in the Sector is to invest in cost reduction since the yield in current cultivations has achieved high indexes. Thus, getting to know the behavior of costs in a forest business is one of the most important variants in the path leading to decisions refering to the subject of renewal or substitution of a population which, along the years, has been suffering changes in its costs in function of the evident technological progress that occurs in the Sector. This study had as objective to study the effects of cost reduction on the optimal time to substitute *Eucalyptus* spp. populations; to get to know the cutting time of the population, the income being constant and the cost being decrescent; to propose and verify the efficiency of a mathematical model which allows the modeling of technological progress effects; to verify which would be the substitution time if the income had been constant since the beginning of the fiscal incentives, that is, the sixties; to project the time to substitute the populations in the future, considering the costs decrescent and the yield constant at today's values, employing average data from large forest companies which act in the Cerrado region in the state of Minas Gerais. The Gompertz Function was

¹Advising commitee: José Luiz Pereira de Rezende (Major Professor) – UFLA, Antônio Donizette de Oliveira – UFLA, José Roberto Soares Scolforo – UFLA.

employed to calculate yield. The criterion employed for economical evaluation of the projects' viability was the Current Net Value. The proposed model allowed the calculation of the effect of technological progress on the costs in the period between 1960 and 2000 and to project the cost values for the period between 2000 and 2040. It was concluded that: The rotation, with current values, is at 7 years, maintaining the income from the sixties, the optimal age for substitution would be at 6 cuttings; the model proved to be efficient for estimates in a horizon of up to 40 years; the study of the substitution chain showed that the optimal times for substitution went down along the years, going from 6 cuttings in the sixties to 3 cuttings in the eighties, currently getting to 2 cuttings; there is a tendency to stick with 2 cuttings before the substitution in the future, getting to 3 cuttings with a small increase in the coppice yield.

1. INTRODUÇÃO

O caminho natural de qualquer empreendimento que busque a maximização do lucro sobre o capital investido passa obrigatoriamente por pesquisas em que o aumento da produtividade e a redução dos custos são os objetivos principais. A tendência atual, no Setor Florestal, é trabalhar na redução dos custos, uma vez que a produtividade dos plantios atuais já alcança altos índices e qualquer ganho neste campo será pequeno, principalmente para o caso do Estado de Minas Gerais, onde os plantios se localizam em áreas com capacidade produtiva limitada.

Neste sentido, procurar conhecer o comportamento dos custos em um empreendimento florestal é uma das variantes mais importantes no caminho que leva a decisões em relação à questão da reforma ou substituição de um povoamento, que ao longo dos anos vem sofrendo modificações nos seus custos, dado um progresso tecnológico evidente dentro do Setor.

Steindl (1980) considerou progresso tecnológico como um processo que acarreta, a longo prazo, o aumento do produto por trabalhador, e que possa experimentalmente ser medido por ele, porém esta definição simples não traduz a complexidade deste fenômeno. O autor mostra que o progresso tecnológico pode proporcionar a economia do fator terra e recursos naturais, e conseqüentemente de capital, além de produzir novos bens e afetar a qualidade de vida. Uma outra característica é o estímulo ao investimento.

O progresso tecnológico no setor florestal ocorre de forma lenta, porém constante. Ele é evidenciado no aumento da produtividade e na redução dos custos, bem como nos dois casos simultaneamente. A tendência atual aponta para esforços na redução dos custos. A Figura 1 mostra o efeito do progresso tecnológico nos custos médios de implantação de 1 ha de floresta, na região do cerrado em Minas Gerais.

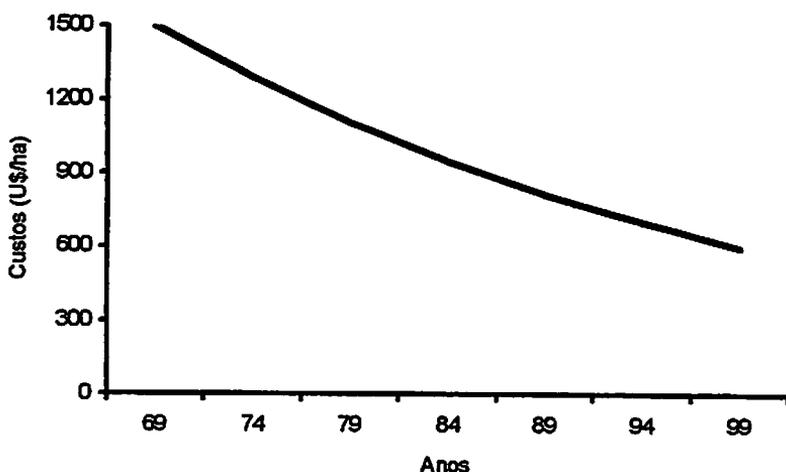


FIGURA 1. Curva média do decréscimo do custo de implantação de 1 ha de floresta de *Eucalyptus* nos últimos 30 anos.

A Figura 1 mostra apenas um dos custos que compõe o custo de produção do m³ de madeira que, no geral, teve uma queda mais acentuada do que o custo de implantação porque vários itens do custo de produção foram diferentemente beneficiados pelo progresso tecnológico.

Para que o aumento na produtividade possa ser acompanhado, o setor florestal demanda investimentos em pesquisa por parte do setor privado. Tais investimentos são ainda muito tímidos diante da posição que o setor ocupa na economia nacional, sendo considerado um dos mais competitivos.

Dentre as atividades de manejo, a reforma é uma das mais importantes porque proporciona a continuidade da atividade florestal.

A reforma pode ser implementada a qualquer tempo, porém, para se estabelecer uma regulação da floresta com o objetivo de manter um fluxo constante de produção de madeira, é necessário definir qual o intervalo entre os cortes de um determinado talhão, ou seja, qual a idade ótima de se fazer o corte do alto fuste e das talhadas.

Davis (1966) definiu rotação como sendo o tempo passado entre o estabelecimento e o crescimento de uma floresta até o momento de ser explorada. Para ele, o problema maior envolvendo o assunto está em determinar este tempo.

Silva(1990) definiu reforma como sendo a substituição total do povoamento de baixo potencial produtivo, ou com produtividade abaixo da esperada, por um novo povoamento originado do plantio de mudas.

Rezende (1987) comparou um povoamento florestal a uma máquina que produz o produto madeira, chamando a atenção para o fato de que a época ótima de substituir a floresta poderia ser encontrada da mesma maneira que se encontrava a época de substituir uma máquina qualquer.

De acordo com os conceitos da Engenharia Econômica, Massé (1962) diferenciou substituição de reforma quando se trata de máquinas e equipamentos. Para ele, uma substituição é efetuada quando o equipamento se torna incapaz de exercer a função para a qual foi designado e construído, e reforma seria um “reparo” no equipamento para que continue a produzir dentro do esperado.

Rezende (1987) definiu reforma e substituição para o caso de um povoamento florestal, sendo a substituição considerada quando o povoamento não produz de maneira satisfatória.

A reforma se refere a uma situação na qual um povoamento ainda é capaz de executar suas funções, mas pode ser alterado (interplântio, adensamento) ou mesmo ser substituído por outro mais eficiente.

2. OBJETIVOS

- O objetivo geral deste trabalho foi estudar os efeitos do progresso tecnológico (redução dos custos) sobre a época ótima de substituir povoamentos de *Eucalyptus* spp.

Especificamente pretendeu-se:

- Conhecer o momento de corte do povoamento sendo a receita constante e o custo decrescente;
- Propor e verificar a eficiência de um modelo matemático;
- Verificar qual seria o momento de substituir se as receitas estivessem constantes desde o início dos incentivos fiscais, ou seja, na década de 60;
- Projetar o momento de substituir o povoamento no futuro, considerando os custos decrescente e a produtividade constante a valores de hoje.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Método de Avaliação Econômica Utilizado

O critério do valor presente líquido (VPL) é o mais adotado na avaliação de projetos florestais e foi utilizado neste trabalho. Este critério é rigoroso e isento de falhas, o que lhe confere credibilidade (Contador, 1996).

O critério do VPL consiste em trazer para o ano zero do projeto todos os valores constantes no seu fluxo de caixa e subtrair as receitas dos custos. Algebricamente tem-se:

$$VPL = \sum_{x=0}^{nt} R_x (1 + r)^{-x} - \sum_{x=0}^{nt} C_x (1 + r)^{-x}$$

onde:

C_x = custos efetuados no ano x ;

R_x = receitas auferidas no ano x ;

r = taxa anual unitária de desconto;

t = rotação em anos;

n = número de cortes;

x = ponto no tempo, em anos, em que ocorrem custos e receitas

3.2. Função de Produção

Para estimar a produção de madeira foi utilizada a Função Gompertz, que é dada por:

$$Y = K \left(1 - e^{-a \cdot e^{b \cdot m}} \right) \quad (3.1)$$

onde:

- K, a e b = coeficientes;
- m = Idade do povoamento em meses;
- e = Base dos logaritmos neperianos;
- Y = Produção de madeira em st/ha.

3.3. Custos

Os custos que ocorrem durante um ciclo de produção de madeira podem ser divididos da seguinte forma:

- Custos iniciais: são aqueles que ocorrem no ano zero do projeto, ou seja, no ano de sua implantação. Podem ser subdividido em preparo da área, preparo do solo, controle de pragas, capina química, adubação, produção de mudas, plantio, supervisão técnica e diversos;

- Custo de manutenção florestal: são os necessários para manter a floresta, indo do ano 1 ao ano de corte. Porém, nem todos se repetem ao longo dos anos. Estes custos estão subdivididos em tratos culturais, adubação, controle de pragas, controle de incêndios florestais, inventário florestal, supervisão técnica, custo da terra, bateção pré-corte, colheita e diversos;

- Custos da regeneração florestal: são os gastos que as empresas tem para conduzir a brotação dos plantios originais para uma ou mais talhadas. Podem ser subdivididos em tratos culturais, adubação, controle de pragas, controle de incêndios florestais, inventário florestal, supervisão técnica, custo da terra, bateção pré-corte, colheita e supervisão técnica.

A planilha de custos utilizada para os cálculos está representada na Tabela 3.1. Os custos foram divididos em três grupos. O primeiro grupo foi

composto pelos custos operacionais de plantio (ano zero), o segundo grupo foi composto por custos operacionais da manutenção florestal (1º ano ao ano de corte) e o terceiro, pelos custos operacionais da regeneração florestal (1º ano após o corte ao ano de corte das talhadas). Além desses custos, foram considerados os seguintes valores:

- Taxa de desconto: 8% ao ano;
- Preço atual da madeira: US\$15.00/st;
- Preço da madeira na década de 60: US\$12.00/st;
- Produtividade das talhadas (β): 90% do volume anterior;
- Custo de colheita na década de 60: US\$/st 6.00;
- Custo atual de colheita: US\$/st 2.00.

TABELA 3.1 – Planilha de Custos.

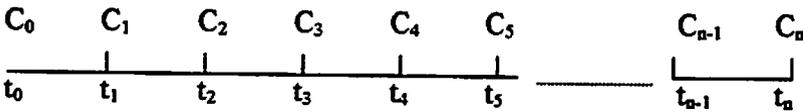
Custos operacionais de plantio	Custo efetivo (US\$/ha) década de 60	Custo efetivo (US\$/ha) atual	Ano de ocorrência
Preparo da área	682,92	227,64	0
Capina química	134,19	44,73	0
Adução	192,60	64,20	0
Produção de mudas	357,54	119,18	0
Plantio	87,72	29,24	0
Diversos	225,51	75,17	1 a t
Custos operacionais da manutenção florestal	Custo efetivo (US\$/ha) década de 60	Custo efetivo (US\$/ha) atual	Ano de ocorrência
Tratos culturais	429,96	143,32	1 a t
Adução	115,59	38,53	1 a 2
Controle de pragas	172,35	57,45	1 a t
Controle de incêndios florestais	71,40	23,80	1 a t
Inventário florestal	43,05	14,35	1 a t
Diversos	127,44	42,48	1 a t
Custos operacionais da regeneração florestal	Custo efetivo (US\$/ha) década de 60	Custo efetivo (US\$/ha) atual	Ano de ocorrência *
Tratos culturais	183,96	61,32	1 a 2
Adução	561,06	187,02	1
Controle de pragas	185,31	61,77	1 a t
Controle de incêndios florestais	71,40	23,80	1 a t
Inventário florestal	42,63	14,21	1 a t
Diversos	161,88	53,96	1 a t

* Anos que sucedem aos cortes.

OBS.: Custos de grandes empresas que atuam na área de cerrado em Minas Gerais.

Os custos ao longo do tempo precisam ser estudados de maneira diferente do que as receitas, pois enquanto estas ocorrem somente a cada rotação, aqueles ocorrem ao longo de todo o horizonte de planejamento.

Para facilitar o estudo do efeito do progresso tecnológico nos custos, será mostrado, para fins de modelagem, apenas o custo médio de implantação de 1 ha de floresta de *Eucalyptus* spp nas empresas que atuam na região do Cerrado do Estado de Minas Gerais. Estes custos ocorrerão ao longo do tempo como no seguinte esquema:



Onde: C = custo de implantação de 1 ha de floresta de *Eucalyptus* spp;
 n = número de implantações;
 t = rotação em anos.

Porém, da forma como os custos estão dispostos, eles não retratam a realidade porque são constantes. Sabe-se que isto na prática não ocorreu. Beneficiados pelo progresso tecnológico, os custos sofreram redução ao longo do tempo.

Para retratar uma situação dinâmica (progresso tecnológico) que se quer, é preciso determinar a que taxa os custos vão ser reduzidos ao longo do tempo. Se eles caem a cada implantação, não serão sempre constantes ($C_0 = C_1 = C_2 = C_n$) e sim $C_1 = C_0 - \Delta C_0$. Este ΔC_0 pode ser reduzido a uma taxa anual de redução no custo. Assim:

$$C_1 = C_0 (1 - h_i)^t \quad (3.2)$$

onde:

C_1 = custo da 1ª implantação após o plantio original;

C_0 = custo de implantação original;

h_i = taxa anual de decréscimo de C no período t_i (rotação);

Assim, tem-se:

$$C_1 = C_0 (1 - h_1)^{t_1}$$

$$C_2 = C_0 (1 - h_1)^{t_1} (1 - h_2)^{t_2}$$

$$C_3 = C_0 (1 - h_1)^{t_1} (1 - h_2)^{t_2} (1 - h_3)^{t_3}$$

⋮

$$C_n = C_0 (1 - h_1)^{t_1} (1 - h_2)^{t_2} (1 - h_3)^{t_3} \dots (1 - h_n)^{t_n}$$

Para simplificar e permitir a modelagem, assume-se que:

$$h_1 = h_2 = h_3 = \dots = h_n = h$$

$$t_1 = t_2 = t_3 = \dots = t_n = t$$

Assim:

$$C_1 = C_0 (1 - h)^t$$

$$C_2 = C_0 (1 - h)^{2t}$$

⋮

$$C_n = C_0 (1 - h)^{nt}$$

Embora os demais custos não estejam listados, o raciocínio é idêntico. As várias situações possíveis em que podem ocorrer as reformas são explicitadas a seguir.

Para o caso de reforma após 1 corte, têm-se as seguintes expressões:



Onde:

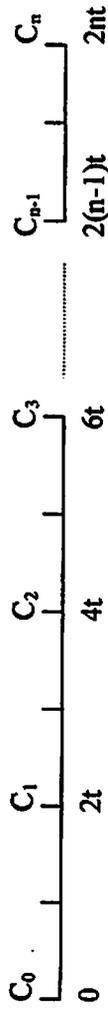
$$C_1 = C_0(1-h)^t$$

$$C_2 = C_0(1-h)^{2t}$$

$$C_{n-1} = C_0(1-h)^{(n-1)t}$$

$$C_n = C_n(1-h)^{nt}$$

Para o caso de reforma após 2 cortes, têm-se as seguintes expressões:



Onde:

$$C_1 = C_0 (1-h)^{2t}$$

$$C_2 = C_0 (1-h)^{4t}$$

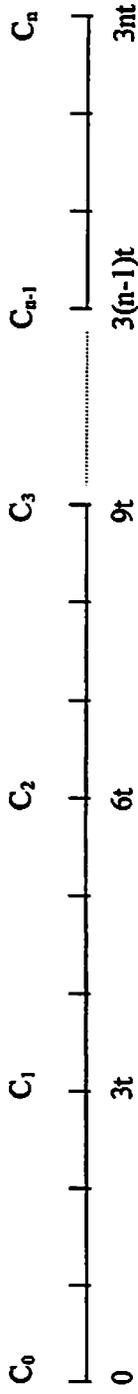
$$C_3 = C_0 (1-h)^{6t}$$

⋮

$$C_{n-1} = C_0 (1-h)^{2(n-1)t}$$

$$C_n = C_0 (1-h)^{2nt}$$

Para o caso de reforma após 3 cortes, têm-se as seguintes expressões:



Onde:

$$C_1 = C_0 (1-h)^{3t}$$

$$C_2 = C_0 (1-h)^{6t}$$

$$C_3 = C_0 (1-h)^{9t}$$

⋮

$$C_{n-1} = C_0 (1-h)^{3(n-1)t}$$

$$C_n = C_0 (1-h)^{3nt}$$

Para o caso de reforma após “z” cortes, têm-se as seguintes expressões:

$$\begin{array}{cccccccc}
 C_0 & \dots & C_1 & \dots & C_2 & \dots & C_3 & \dots & C_{(n-1)} & \dots & C_n \\
 \underbrace{\hspace{1.5cm}} & & \underbrace{\hspace{1.5cm}} \\
 0 & & zt & & 2zt & & 3zt & & (n-1)zt & & nzt
 \end{array}$$

Onde:

$$C_1 = C_0 (1-h)^{zt}$$

$$C_2 = C_0 (1-h)^{2zt}$$

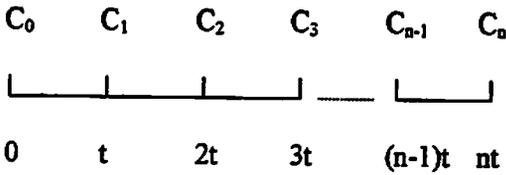
$$C_3 = C_0 (1-h)^{3zt}$$

⋮

$$C_{n-1} = C_0 (1-h)^{(n-1)zt}$$

$$C_n = C_0 (1-h)^{nzt}$$

Da maneira como foi colocada, a equação (3.2) não retratará com fidelidade o decréscimo do custo, uma vez que a taxa “h” não apresenta o mesmo comportamento ao longo do tempo. Para resolver a situação, o uso de um moderador, que aplicado à taxa “h”, permita aos custos decrescerem a uma taxa decrescente, se fez necessário. Esta providência evita que o custo de implantação atinja valores irreais. Assim, para o caso de reforma após um corte:



Onde:

$$C_1 = C_0 [1 - h(1 - w)^1]$$

$$C_2 = C_0 [1 - h(1 - w)^{2t}]^{2t}$$

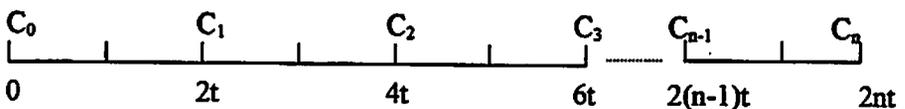
$$C_3 = C_0 [1 - h(1 - w)^{3t}]^{3t}$$

⋮

$$C_{n-1} = C_0 [1 - h(1 - w)^{(n-1)t}]^{(n-1)t}$$

$$C_n = C_0 [1 - h(1 - w)^{nt}]^{nt}$$

Para o caso de reforma após 2 cortes, têm-se:



Onde:

$$C_1 = C_0 \left[1 - h(1-w)^{2t} \right]^{2t}$$

$$C_2 = C_0 \left[1 - h(1-w)^{4t} \right]^{4t}$$

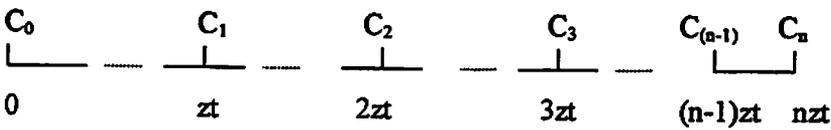
$$C_3 = C_0 \left[1 - h(1-w)^{6t} \right]^{6t}$$

⋮

$$C_{n-1} = C_0 \left[1 - h(1-w)^{2(n-1)t} \right]^{2(n-1)t}$$

$$C_n = C_0 \left[1 - h(1-w)^{2nt} \right]^{2nt}$$

Para o caso de reforma após “z” cortes, têm-se:



Onde:

$$C_1 = C_0 \left[1 - h(1-w)^{zt} \right]^{zt}$$

$$C_2 = C_0 \left[1 - h(1-w)^{2zt} \right]^{2zt}$$

$$C_3 = C_0 \left[1 - h(1-w)^{3zt} \right]^{3zt}$$

⋮

$$C_{n-1} = C_0 \left[1 - h(1-w)^{(n-1)zt} \right]^{(n-1)zt}$$

$$C_n = C_0 \left[1 - h(1-w)^{nzt} \right]^{nzt} \quad (3.3)$$

Onde “z” = número de cortes por implantação.

A equação 3.3 é o modelo proposto.

Para o cálculo do valor presente dos custos, têm-se a seguinte expressão:

$$VPC = C_0 + C_1(1+r)^{-zt} + C_2(1+r)^{-2zt} + C_3(1+r)^{-3zt} + \dots + C_n(1+r)^{-nzt}$$

Para testar a validade do modelo, serão calculados, como exemplo, os valores dos custos de implantação em 1 ha de florestas de *Eucalyptus* spp na região do cerrado de Minas Gerais, ao longo das décadas de 60 a 90, e posteriormente projetados para o período entre 2000 e 2040. Como ponto de partida será considerado o custo de implantação adotado pelo IBDF à época dos incentivos fiscais, que era de US\$1,800.00/ha. De posse desta informação e com os valores atuais, será calculada a taxa média de decréscimo “h” dos custos ao longo do período considerado. Porém, como já foi comentado, a taxa “h” não diminuirá indefinidamente e de modo constante ao longo do tempo. A queda será cada vez menor, havendo uma estabilização no futuro. Assim, será introduzida a taxa “w”, que suavizará a queda de “h” no tempo. Para o cálculo do demais custos o raciocínio é idêntico.

3.4. Receitas

As receitas são obtidas com a venda da produção (Y) ao preço de mercado (P). Logo, a receita (R) em cada corte é dada por:

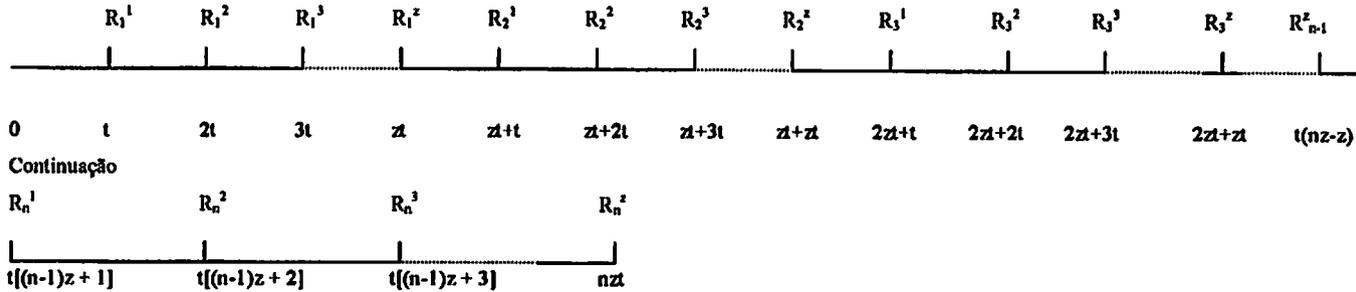
$$R = Y * P \quad (3.4)$$

Substituindo (3.1) em (3.4) tem-se:

$$R = K \left(1 - e^{-a \cdot e^{b \cdot m}} \right) * P \quad (3.5)$$

Considerando a produtividade constante, é o mesmo que pressupor que as receitas serão sempre iguais. Se o preço permanecer constante, sucessivas receitas ao longo do tempo podem ser expressas, para “z” cortes e “n” implantações, como no esquema a seguir:

constante, então sucessivas receitas ao longo do tempo podem ser expressas, para "z" cortes e "n" implantações, como no esquema a seguir:



Onde:

$$R_1^2 = \beta \cdot R_1^1;$$

$$R_1^3 = \beta \cdot R_1^2 = R_1^1 \cdot \beta^2;$$

E assim sucessivamente.

O fator "β" é o fator que corrige o volume da primeira talhadia em relação ao volume do alto fuste e das demais talhadias em relação à talhadia anterior. O valor de "β" foi considerado como sendo 0,90 (90%) do volume anterior.

O valor atual da série representada anteriormente pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\begin{aligned}
 V(RB) = & \left\{ R_1^1 (1+r)^{-t} + R_1^2 (1+r)^{-2t} + \dots + R_1^z (1+r)^{-zt} + R_2^1 (1+r)^{-t(z+1)} + \right. \\
 & + R_2^2 (1+r)^{-t(z+2)} + \dots + R_2^z (1+r)^{-2zt} + \dots + R_{n-1}^z (1+r)^{-t(nz-z)} + R_n^z (1+r)^{-t[(n-1)z+1]} + \dots \\
 & \left. + R_n^2 (1+r)^{-t[(n-1)z+1]} + \dots + R_n^z (1+r)^{-znt} \right\}
 \end{aligned}$$

R_1^1 é a receita bruta do 1º corte da 1ª implantação.

R_1^2 é a receita bruta do 2º corte da 1ª implantação.

⋮

R_n^z é a receita bruta do z-ésimo corte da n-ésima implantação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Rotação

Toda base de cálculo foi elaborada a partir do prévio conhecimento da idade ótima de corte, pois quando se altera qualquer variável, tem-se, quase sempre, alterações nas condições técnicas e econômicas da rotação. Portanto, é necessário recalcular a idade de corte e verificar seu efeito no número de cortes que antecede a substituição. A Tabela 3.2 mostra o VPL e o volume para diversas idades para uma taxa de desconto de 8%a.a., considerando os custos e produtividades atuais. Os coeficientes usados para o cálculo do volume foram:

$K = 300 \text{ st/ha};$

$a = -0,07849;$

$b = 0,037.$

TABELA 3.2 - VPL e Volume para Diversas Idades de um Povoamento de *Eucalyptus spp*, para uma Taxa de Desconto de 8%.

Idade (anos)	Volume (st/ha)	VPL (US\$/ha)
1	28,16	-6,923.19
2	44,18	-3,316.87
3	68,10	-1,696.42
4	12,11	-638.80
5	146,86	181.01
6	198,80	792.64
7	248,19	1,123.57
8	282,44	1,123.32
9	296,94	875.53
10	299,82	557.63

A época ótima de corte do povoamento foi aos 7 anos de idade, quando o VPL foi maior. Os dados da Tabela 3.2 foram considerados a base

para outros cálculos. Mesmo sabendo que do alto fuste para as talhadas a idade de corte pode mudar, neste estudo foi considerado que ela é a mesma. A variação entre alto fuste e talhadia pode ser desprezada para fins de cálculo (Lopes, 1990). O VPL positivo indica que o projeto é economicamente viável.

4.2. O Modelo

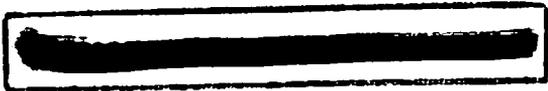
A partir do modelo proposto, foram calculados os custos de implantação representados na Tabela 3.3, onde foi observado que os custos tiveram quedas mais bruscas na primeira parte do estudo, ou seja, entre 1960 e 2000.

TABELA 3.3 - Redução do Custo de Implantação do ha de Florestas de *Eucalyptus* spp na Região do Cerrado do Estado de Minas Gerais.

1ª Parte do Estudo		2ª Parte do Estudo	
Década	Custo (US\$/ha)	Década	Custo (US\$/ha)
1960	1,800.00	2000	600.00
1970	1,337.75	2010	542.89
1980	1,009.42	2020	491.67
1990	772.86	2030	445.71
2000	600.00	2040	404.42

A própria trajetória do progresso tecnológico explica as diferenças maiores nos primeiros 40 anos estudados. As taxas de progresso tecnológico vão sendo cada vez menores ao longo do tempo. Quando se conseguem grandes reduções como no início do período considerado, pode-se dizer que a tecnologia anterior era, ainda, incipiente.

Observa-se que a queda nos custos foi estudada dentro de um horizonte de 40 anos. Tal fato se deve às próprias limitações apresentadas pelo modelo. A parte do modelo $[1 - h(1 - w)^z]^z$ cresce até um certo ponto com “zt”, posteriormente ela começa a cair, provocando aumentos nos custos. Estas restrições do modelo são mais pronunciadas quanto maiores forem os valores de “h” e “w”. Tais valores foram h = 3% e



1% e $w = 0,26\%$ e $0,05\%$ para o período de 1960/2000 e 2000/2040 respectivamente.

A Figura 2 mostra a tendência do comportamento dos custos nos dois períodos estudados.

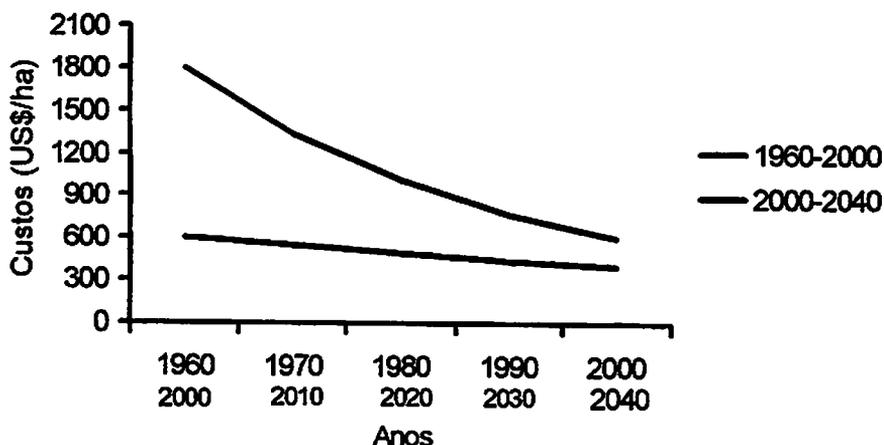


FIGURA 2. Decréscimo dos Custos de Implantação do ha de Florestas de *Eucalyptus spp* no Cerrado do Estado de Minas Gerais.

Embora os valores retratem a situação do Cerrado do Estado de Minas Gerais, não fogem muito da média de custos considerando o Brasil como um todo.

4.3. Cadeia de Substituição

O estudo da cadeia de substituição foi realizado em etapas. Na primeira foi estudado o efeito do progresso tecnológico na época ótima de substituição considerando os custos decrescentes e a receita constante desde a década de 60. Na segunda etapa foram projetadas as épocas ótimas de substituição para 40 anos, dada uma taxa de progresso tecnológico sobre os custos e as receitas mantidas constantes em valores atuais (1999).

4.3.1. Período de 1960-2000

Os dados de custos para a década de 60 foram considerados como três vezes maiores que os atuais, exceção feita ao valor da terra que foi de US\$200.00/ha, considerado como o custo de oportunidade da terra juros à taxa de 8%a.a., sendo, portanto, um custo anual. A Tabela 3.4 retrata como seria a cadeia de substituição se as receitas permanecessem as mesmas desde o início do período considerado, sendo apenas os custos beneficiados pelo progresso tecnológico.

TABELA 3.4 - Número de cortes que antecederiam à substituições de povoamentos de *Eucalyptus* spp se as receitas fossem as mesmas desde a década de 60.

Década	VPL (US\$/ha)	Nº de Cortes
1960-1970	-2,072.63	17
1970-1980	-1,369.49	11
1980-1990	-864.33	8
1990-2000	-496.69	6

Os valores mostram que se de fato somente os custos estivessem sido beneficiados pela tecnologia, até hoje as empresas trabalhariam com prejuízos, caminhando para uma condição em que se esperassem lucros na atividade. Na realidade, houve “progresso tecnológico” tanto nos custos (redução) quanto na produtividade (aumento). Observou-se que se o custo diminui, o número de cortes para o caso onde o VPL é negativo também diminui e quanto mais rápido o VPL se aproximar de valores positivos, mais rapidamente cairá o número de cortes.

4.3.2. Período de 2000-2040

Partindo do pressuposto de que as receitas estariam chegando a um ponto no tempo onde não mais aumentariam, e somente os custos seriam reduzidos pelo progresso tecnológico, a segunda parte do estudo procurou mostrar como seria a cadeia de substituição para os próximos 40 anos. A Tabela 3.5 apresenta os valores encontrados para este período.

TABELA 3.5 - Número de cortes que antecederão à substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp no Estado de Minas Gerais.

Década	VPL (US\$/ha)	Nº de Cortes
2000-2010	2,995.53	2
2010-2020	3,285.69	2
2020-2030	3,545.78	2
2030-2040	3,835.18	2

Observou-se que a substituição será após dois cortes nos próximos 40 anos. É importante ressaltar que os resultados se aplicam a uma situação de empresas que atuam em áreas de Cerrado do Estado de Minas Gerais.

Aumentos em variáveis como taxa de desconto, produtividade das talhadas (β), preço da madeira e custo de exploração tendem a elevar a idade de substituição, e aumentos na produtividade tendem a reduzi-la.

No caso estudado, havendo progresso tecnológico em β que permita elevar sua produtividade para 93% em relação ao alto fuste, o número de cortes passará para 3 e quando o valor de β tender a 1, o número de cortes tenderá ao infinito.

5. CONCLUSÕES

Os resultados alcançados e as análises realizadas permitiram as seguintes conclusões:

- A rotação florestal com valores atuais (1999) se encontra aos 7 anos de idade;
- Mantidas as receitas da década de 60, a idade ótima de substituição estaria após 6 cortes;
- O modelo se mostrou eficiente para estimativas e previsões em horizontes de até 40 anos;
- As épocas ótimas de substituição caíram ao longo dos anos, passando dos 6 cortes na década de 60 para 3 cortes na década de 80, chegando, atualmente, à substituição após 2 cortes;

- Para os futuros povoamentos, verificou-se uma tendência de permanecer nos 2 cortes antes da substituição, podendo passar a 3 cortes se a tecnologia conseguir um pequeno aumento na produtividade das talhadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONTADOR, C.R. Projetos Sociais - Avaliação e Prática. 3ª ed. Atlas, São Paulo. 1996. 375p.

DAVIS, K.P. Forest Management: Regulation and Valuation. 2ª ed. New York, McGraw-Hill, 1966. 519p.

IBDF. Zoneamento Econômico Florestal do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte -MG, 1974. 182p.

LOPES, H.V.S.; Análise Econômica dos Fatores que Afetam a Rotação de Povoamentos de Eucaliptos. Viçosa, U.F.V., 1990. 188p. (Tese M.S.).

MASSÉ, P. Optimal Investment Decisions Rules for Action and Criteria Choice. Prentice. Hall, Inc. 1962. 500p.

REZENDE, J.L.P., PAULA Jr., G.G., RIBEIRO, G.A., Técnicas de Análise Econômicas Usadas na Tomada de Decisão Referentes à Reforma de Eucaliptais. In: Seminário Sobre Aspectos Técnicos e Econômicos da Reforma de Eucaliptais. Belo Horizonte, U.F.V./S.I.F., 1987.

SILVA, A.A.L., Análise Econômica da Substituição de Povoamentos de *Eucalyptus* spp. Viçosa, U.F.V., 1990. 109p. (Tese M.S.).

STEINDL, J. Progresso Técnico, distribuição e crescimento, IN: Progresso Técnico e Teoria Econômica. (GAREGNANI, P.). São Paulo: Hucitec, 1980. 183p. (Economia e Planejamento. Série Técnica Contemporânea).

CAPÍTULO 4

ESTUDO DO MOMENTO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* spp – O CASO DO PROGRESSO TECNOLÓGICO

RESUMO

SOUZA, A.N. Estudo do momento ótimo de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp – O caso do progresso tecnológico. Lavras: UFLA, 1999. Cap.4, p. 103-140. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).¹

A importância do progresso tecnológico para as empresas florestais não pode ser negada. Sua influência abrange todas as atividades, mas pode ser resumida no aumento das receitas via aumento da produtividade ou na redução dos custos, bem como e principalmente nos dois casos ocorrendo conjuntamente. Os efeitos da tecnologia influenciam, entre outros aspectos, a idade de corte e o momento ótimo de reformar povoamentos de *Eucalyptus*. Estudos para determinar este momento não são muitos na literatura, uma vez que requerem conhecimentos silviculturais e econômicos. A reforma não pode ser efetuada a qualquer tempo, sendo necessário definir técnica e economicamente a idade ótima de se fazer o corte do alto fuste ou das talhadas e após quantos cortes se deve fazer a substituição do povoamento. Este trabalho objetivou estudar o momento ótimo de substituir povoamentos de *Eucalyptus* spp considerando os ganhos proporcionados pelo progresso tecnológico; determinar a idade de corte do povoamento sendo a receita crescente e o custo decrescente; propor e verificar a eficiência de um modelo matemático que permita modelar os efeitos do progresso tecnológico; estudar a cadeia de substituição entre 1960 e 2000 e entre 2000 e 2040, considerando o progresso tecnológico; testar os resultados em um estudo de caso. Para obtenção dos volumes nas várias idades, foi utilizada a Função

¹ Comitê Orientador: José Luiz Pereira de Rezende (Orientador) – UFLA, Antônio Donizette de Oliveira – UFLA, José Roberto Soares Scolforo – UFLA.

Gompertz . O critério utilizado para a avaliação econômica dos projetos foi o Valor Presente Líquido. O modelo proposto permitiu calcular as produtividades e os custos ao longo do tempo, estudando o efeito do aumento da produtividade e a redução dos custos e determinar as taxas desse aumento e dessa redução, bem como determinar taxas que serviram como moderadores para que a produtividade e os custos não atingisse valores irreais. Concluiu-se que: A rotação, com valores atuais, se encontra em 7 anos; o modelo se mostrou eficiente para estimativas de 40 anos; com as receitas e os custos da década de 60, considerando o progresso tecnológico a partir daquele ponto, o número de cortes antes da reforma, atualmente, é 2; o estudo da cadeia de substituição mostrou que as épocas ótimas de substituição caíram ao longo dos anos, passando dos 18 cortes na década de 60 para 4 cortes na década de 80, chegando, atualmente, a 2 cortes; para os futuros plantios, verificou-se uma tendência de permanecer nos 2 cortes antes da substituição, porém pequena melhora tecnológica na produtividade das talhadias passa o ponto ótimo de substituição para após o 3º corte.

CHAPTER 4

STUDY OF THE OPTIMAL TIME FOR SUBSTITUTION OF *Eucalyptus* spp. POPULATIONS – THE CASE OF TECHNOLOGICAL PROGRESS

ABSTRACT

SOUZA, A.N. Study of the optimal time for substitution of *Eucalyptus* spp. populations – The case of technological progress. Lavras: UFLA, 1999. Cap.4, p. 103-140. (Dissertation – Masters in Forest Engineering).¹

The importance of technological progress for the forest companies cannot be denied. Its influence comprehends all the activities, but can be summarized in the increase of income via yield increase or in the cost reduction as well as and , mainly, in the two cases occurring together. Technology effects influence, among other aspects, the cutting age and the optimal time to renewal *Eucalyptus* populations. Studies to determine this time are not many in the literature since it requires forestry and economic knowledge. The renewal cannot be done at any time, being necessary to technically and economically define the optimal age to do the cutting of the high bole or the coppice and after how many cuttings the substitution of the population should be done. This study aimed to study the optimal time to substitute *Eucalyptus* spp. populations considering the gains earned through technological progress; to determine the cutting age of the population, the income being crescent and the cost being decrescent; to propose and verify the efficiency of a mathematical model which allows to model the effects of technological progress; to study the substitution chain between 1960 and 2000 and between 2000 and 2040, considering technological progress; to test the results in a case study. The Gompertz Function was employed to obtain the volumes at the various ages. The criterion employed for the economic evaluation of the projects was the Current Net Value. The proposed model allowed to calculate the yields and costs through time, studying the effect of yield increase and cost reduction, and to determine the rates of this increase and this reduction as well as determining rates which served as moderators so that

¹Advising committee: José Luiz Pereira de Rezende (Major Professor) – UFLA, Antônio Donizette de Oliveira – UFLA, José Roberto Soares Scolforo – UFLA.

the yield and costs did not reach unreal values. It was concluded that: The rotation, with current values, is at 7 years of age; the model proved to be efficient for estimates of 40 years; with the income and costs from the sixties, considering technological progress from that point on, the number of cuttings before the renewal is currently 2; the study of the substitution chain showed that the optimal substitution time went down with time, going from 18 cuttings in the sixties to 4 cuttings in the eighties, currently getting to 2 cuttings; a tendency to stick with 2 cuttings before substitution was verified for future cultivation, although little technological improvement in the coppice yield brings the optimal substitution point to after the third cutting.

1. INTRODUÇÃO

A importância do progresso tecnológico para as empresas florestais não pode ser negada. Sua influência abrange todas as atividades, mas pode ser resumida no aumento das receitas via aumento da produtividade ou na redução dos custos, bem como e principalmente nos dois casos ocorrendo conjuntamente. Os efeitos da tecnologia são tão importantes que influenciam o momento ótimo de reformar um povoamento. Estudos para determinar este momento não são muitos na literatura, uma vez que requerem conhecimentos silviculturais e econômicos para obtenção de sucesso.

A reforma pode ser implementada a qualquer tempo, porém, para se estabelecer uma regulação da floresta com o objetivo de manter um fluxo constante de produção de madeira, é necessário definir qual o intervalo entre os cortes de um determinado talhão, ou seja, qual a idade ótima de se fazer o corte do alto fuste ou das talhadas.

Davis (1966) definiu rotação como sendo o tempo passado entre o estabelecimento e o crescimento de uma floresta até o momento de ser explorada. Para ele, o problema maior envolvendo o assunto está em determinar este tempo.

A observância da idade ótima de corte é de fundamental importância no resultado econômico final de um povoamento florestal, uma vez que, realizando esta operação fora desta idade, o manejador ou investidor florestal estará contribuindo para a elevação dos seus custos de produção, deixando de obter o máximo retorno sobre o investimento (Rezende et al, 1987).

Simões et al (1981) consideraram que um dos problemas mais comuns, após a execução do primeiro ou segundo corte em plantações de eucaliptos submetido ao regime de talhadia, era decidir qual seria a alternativa mais viável para a futura condução do povoamento. Geralmente, a empresa era levada a

decidir pela manutenção do povoamento, aproveitando a brotação das cepas remanescentes ou, então, pela reforma do mesmo.

Silva(1990) definiu reforma como sendo a substituição total do povoamento de baixo potencial produtivo, ou com produtividade abaixo da esperada, por um novo povoamento originado do plantio de mudas.

Os trabalhos específicos de análise econômica sobre a reforma dos povoamentos de eucaliptos são poucos na literatura especializada no Brasil. Porém, é preciso notar que a reforma de um eucaliptal no que tange o aspecto teórico da análise econômica é totalmente semelhante aos princípios econômicos que norteiam a teoria da substituição de máquinas e equipamentos.

Um povoamento florestal é uma máquina como outra qualquer que produz o produto madeira, e a decisão de manter ou substituir esta máquina se baseia nos mesmos princípios que ajudam a encontrar o ponto ótimo de substituição de um trator ou uma motosserra (Rezende, 1987). O trabalho deste autor chamou a atenção dos estudiosos em Economia Florestal para o fato de que a base teórica relacionada ao estudo da reforma era ampla e de fácil acesso nos livros de Engenharia Econômica, ao contrário do que se pensava, que tal base teórica inexistia.

De acordo com os conceitos da Engenharia Econômica, Massé (1962) diferenciou substituição de reforma quando se trata de máquinas e equipamentos. Para ele, uma substituição é efetuada quando o equipamento começa a ser incapaz de exercer a função para a qual foi designado e construído, e reforma seria um reparo nas unidades de maneira que continuassem a produzir dentro do esperado.

Utilizando os conceitos de Massé, Rezende (1987) definiu reforma e substituição para o caso de um povoamento florestal, sendo a substituição considerada quando o povoamento não produz de maneira satisfatória, o que acontece, normalmente, após três cortes.

A reforma se refere a uma situação na qual um povoamento ainda é capaz de executar suas funções, mas pode ser alterado (interplântio, adensamento) ou mesmo ser substituído por outro mais eficiente.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi determinar a época ótima de substituir povoamentos de *Eucalyptus* spp, considerando o progresso tecnológico.

Especificamente pretendeu-se:

- Conhecer o momento de corte do povoamento sendo a receita crescente e o custo decrescente;
- Propor e verificar a eficiência de um modelo matemático;
- Verificar qual o momento de substituir considerando as receitas e os custos desde o início dos incentivos fiscais, ou seja, na década de 60 até os dias de hoje, considerando o progresso tecnológico;
- Projetar o momento de substituir o povoamento no futuro, considerando a produtividade crescente e os custos decrescentes.
- Testar os resultados em um estudo de caso.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Método de Avaliação Econômica Utilizado

O critério do valor presente líquido (VPL) é o mais adotado na avaliação de projetos florestais e foi utilizado neste trabalho. Este critério é rigoroso e isento de falhas, o que lhe confere credibilidade (Contador, 1996). O critério do VPL consiste em trazer para o ano zero do projeto todos os valores constantes no seu fluxo de caixa e subtrair as receitas dos custos. Algebricamente tem-se:

$$VPL = \sum_{x=0}^{nt} R_x (1+r)^{-x} - \sum_{x=0}^{nt} C_x (1+r)^{-x}$$

onde:

C_x = custos efetuados no ano x ;

R_x = receitas auferidas no ano x ;

r = taxa anual unitária de desconto;

t = rotação em anos;

n = número de cortes;

x = ponto no tempo, em anos, em que ocorrem custos e receitas

3.2. Função de Produção

Para estimar a produção de madeira foi utilizada a Função Gompertz que é dada por:

$$Y = K \left(1 - e^{-a \cdot e^{b \cdot m}} \right) \quad (4.1)$$

onde:

K , a e b = coeficientes;

m = Idade do povoamento em meses;

e = Base dos logaritmos neperianos;

Y = Produção de madeira em st/ha.

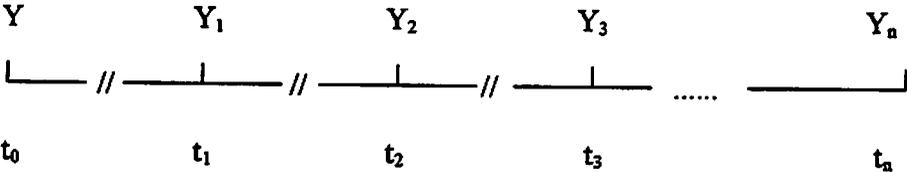
Contudo, nessa forma a função é “fixa”, isto é, o volume será sempre o mesmo para a mesma idade projetada do povoamento de qualquer implantação. Para retratar uma situação dinâmica (progresso tecnológico) que se quer, é preciso adaptá-la adequadamente. Uma possibilidade é determinar uma taxa de crescimento volumétrico que explique o aumento da produtividade com o tempo. Haverá sempre progresso tecnológico. Assim, a partir da equação (4.1), se Y é constante, a produtividade do alto fuste seria a mesma a cada rotação.

Mas, se Y cresce com o progresso tecnológico, na próxima rotação não será Y e sim $Y + \Delta Y$. Este ΔY pode ser reduzido a uma taxa anual de aumento de produtividade, facilitando a manipulação. Assim:

$Y_i = Y + \Delta Y =$ produção do próximo ciclo;
 $j_i =$ taxa anual de crescimento de Y no período t_i (rotação);
 $t_i =$ rotação em anos.

$$Y_i = Y (1 + j_i)^{t_i} \tag{4.2}$$

O esquema a seguir ilustra a situação em que o volume é crescente ao longo do tempo:



Onde:

$$Y_1 = Y(1+j_1)^{t_1};$$

$$Y_2 = Y(1+j_1)^{t_1}(1+j_2)^{t_2};$$

$$Y_3 = Y(1+j_1)^{t_1}(1+j_2)^{t_2}(1+j_3)^{t_3};$$

$$\vdots$$

$$Y_n = Y(1+j_1)^{t_1} \dots (1+j_n)^{t_n}.$$

Em que Y_1, Y_2, \dots, Y_n são as produtividades dos alto fustes das várias implantações.

Considerando o período de ocorrência das parcelas como sendo igual a cada rotação, para simplificar e permitir a modelagem, têm-se:

$$j_1 = j_2 = j_3 = \dots = j_n = j$$

$$t_1 = t_2 = t_3 = \dots = t_n = t$$

Assim:

$$Y_1 = Y(1+j)^t;$$

$$Y_2 = Y(1+j)^{2t};$$

⋮

$$Y_n = Y(1+j)^{nt} \tag{4.3}$$

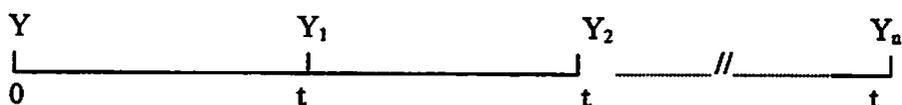
onde:

n = número de implantações;

nt = número de anos decorridos entre o primeiro plantio e o corte final.

Há ainda que se considerar que as talhadas não se beneficiam progresso tecnológico. Cada talhadia se relaciona com o volume do alto fuste que lhe deu origem, sendo sempre uma porcentagem deste volume. Por este motivo, quando a taxa de progresso tecnológico é alta, espera-se que o número de cortes que antecedem a reforma em princípio diminua a fim de que o volume do novo plantio incorpore o ganho da nova tecnologia.

Para a reforma após cada corte e “n” implantações, tem-se o seguinte esquema:

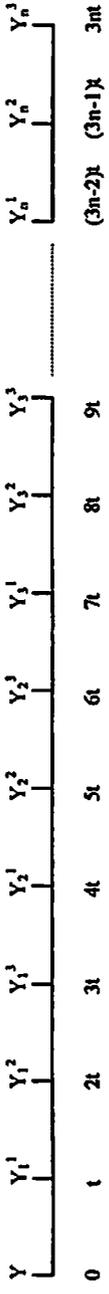


Onde:

$$Y_1 = Y(1+j)^t$$

$$Y_2 = Y(1+j)^{2t}$$

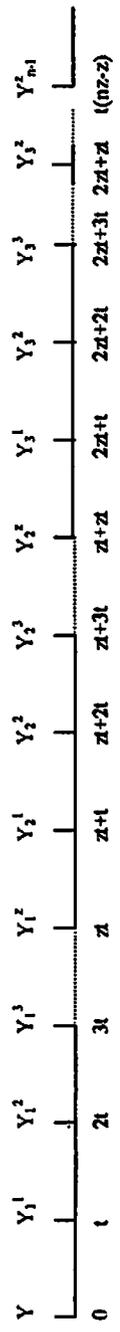
Para reforma após 3 cortes e "n" implantações, tem-se.



Onde:

$$\begin{aligned}
 Y_1^1 &= Y(1+j)^t \\
 Y_1^2 &= Y.\beta(1+j)^t \\
 Y_1^3 &= Y.\beta^2(1+j)^t \\
 Y_2^1 &= Y(1+j)^{4t} \\
 Y_2^2 &= Y.\beta(1+j)^{4t} \\
 Y_2^3 &= Y.\beta^2(1+j)^{4t} \\
 &\vdots \\
 Y_n^1 &= Y(1+j)^{(3n-2)t} \\
 Y_n^2 &= Y.\beta(1+j)^{(3n-2)t} \\
 Y_n^3 &= Y.\beta^2(1+j)^{(3n-2)t}
 \end{aligned}$$

Para a reforma após "z" cortes e "n" implantações, tem-se:



Continuação

$$\begin{array}{ccccccc}
 Y_n^1 & & Y_n^2 & & Y_n^3 & & Y_n^z \\
 \hline
 t[(n-1)z + 1] & & t[(n-1)z + 2] & & t[(n-1)z + 3] & & nzt
 \end{array}$$

Onde:

$$Y_1^1 = Y(1+j)^t$$

$$Y_1^2 = Y \cdot \beta(1+j)^t$$

$$Y_1^3 = Y \cdot \beta^2(1+j)^t$$

⋮

$$Y_1^z = Y \cdot \beta^{z-1}(1+j)^t$$

$$Y_2^1 = Y(1+j)^{t(z+1)}$$

$$Y_2^2 = Y \cdot \beta(1+j)^{t(z+1)}$$

$$Y_2^3 = Y \cdot \beta^2(1+j)^{t(z+1)}$$

⋮

$$Y_2^z = Y \cdot \beta^{z-1}(1+j)^{t(z+1)}$$

$$Y_3^1 = Y(1+j)^{(2z+1)}$$

$$Y_3^2 = Y \cdot \beta(1+j)^{(2z+1)}$$

$$Y_3^3 = Y \cdot \beta^2(1+j)^{(2z+1)}$$

∴

$$Y_3^z = Y \cdot \beta^{z-1} (1+j)^{(2z+1)}$$

∴

$$Y_n^1 = Y(1+j)^{\{(a-1)z+1\}}$$

$$Y_n^2 = Y \cdot \beta(1+j)^{\{(a-1)z+1\}}$$

$$Y_n^3 = Y \cdot \beta^2(1+j)^{\{(a-1)z+1\}}$$

∴

$$Y \cdot \beta^{z-1} (1+j)^{\{(a-1)z+1\}}$$

Em que:

Y_1^1 = Volume do primeiro corte da primeira implantação;

Y_1^2 = Volume do segundo corte da primeira implantação;

∴

Y_z^n = Volume do z-ésimo corte da n-ésima implantação.

Da maneira como foi colocada, a equação (4.3) não retratará a realidade, uma vez que a taxa “j” não apresenta o mesmo comportamento ao longo do tempo. Para contornar isto, tornou-se necessária a entrada de um moderador que, aplicado à taxa “j”, proporcionasse ao volume crescer a uma taxa decrescente, evitando valores irrealis.

No esquema anterior, partiu-se de um volume Y referente a uma implantação anterior ao estudo. Como trata-se de dois cortes, o primeiro valor Y_1^1 representa o volume do primeiro corte da primeira implantação e Y_1^2 representa o segundo corte da primeira implantação, e assim sucessivamente. Para modelar o crescimento de Y no caso de reforma após 2 cortes e “n” implantações que retrate a realidade, têm-se, em cada ponto no tempo, as seguintes expressões:

$$Y_1^1 = Y \left[1 + j(1-u)^t \right]^t$$

$$Y_1^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^t \right]^t$$

$$Y_2^1 = Y \cdot \left[1 + j(1-u)^{3t} \right]^{\beta t}$$

$$Y_2^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^{3t} \right]^{\beta t}$$

$$Y_3^1 = Y \cdot \left[1 + j(1-u)^{5t} \right]^{\beta t}$$

$$Y_3^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^{5t} \right]^{\beta t}$$

⋮
⋮
⋮

$$Y_n^1 = Y \cdot [1 + j(1-u)^{(2n-1)t}]^{(2n-1)t}$$

$$Y_n^2 = Y \cdot \beta [1 + j(1-u)^{(2n-1)t}]^{(2n-1)t}$$

onde “u” representa a taxa de decréscimo de “j”.

Para o caso de reforma após 3 cortes e “n” implantações com a taxa “j” decrescendo à taxa “u”, têm-se as seguintes expressões:

$$Y_1^1 = Y [1 + j(1-u)^t]^t$$

$$Y_1^2 = Y \cdot \beta [1 + j(1-u)^t]^t$$

$$Y_1^3 = Y \cdot \beta^2 [1 + j(1-u)^t]^t$$

$$Y_2^1 = Y [1 + j(1-u)^{4t}]^{4t}$$

$$Y_2^2 = Y \cdot \beta [1 + j(1-u)^{4t}]^{4t}$$

$$Y_2^3 = Y \cdot \beta^2 [1 + j(1-u)^{4t}]^{4t}$$

⋮
⋮

$$Y_n^1 = Y \cdot [1 + j(1-u)^{(3n-2)t}]^{(3n-2)t}$$

$$Y_n^2 = Y \cdot \beta [1 + j(1-u)^{(3n-2)t}]^{(3n-2)t}$$

$$Y_n^3 = Y \cdot \beta^2 \left[1 + j(1-u)^{(3n-2)t} \right]^{(3n-2)t}$$

Para o caso de “z” cortes e “n” implantações, têm-se as seguintes expressões:

$$Y_1^1 = Y \left[1 + j(1-u)^t \right]^t$$

$$Y_1^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^t \right]^t$$

$$Y_1^3 = Y \cdot \beta^2 \left[1 + j(1-u)^t \right]^t$$

⋮

$$Y_1^z = Y \cdot \beta^{z-1} \left[1 + j(1-u)^t \right]^t$$

$$Y_2^1 = Y \left[1 + j(1-u)^{t(z+1)} \right]^{t(z+1)}$$

$$Y_2^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^{t(z+1)} \right]^{t(z+1)}$$

$$Y_2^3 = Y \cdot \beta^2 \left[1 + j(1-u)^{t(z+1)} \right]^{t(z+1)}$$

⋮

$$Y_2^z = Y \cdot \beta^{z-1} \left[1 + j(1-u)^{t(z+1)} \right]^{t(z+1)}$$

$$Y_3^1 = Y \left[1 + j(1-u)^{t(2z+1)} \right]^{t(2z+1)}$$

$$Y_3^2 = Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^{t(2z+1)} \right]^{t(2z+1)}$$

$$Y_3^3 = Y \cdot \beta^2 \left[1 + j(1-u)^{t(2z+1)} \right]^{t(2z+1)}$$

$$\begin{aligned}
& \vdots \\
Y_3^z &= Y \cdot \beta^{z-1} \left[1 + j(1-u)^{t(2z+1)} \right]^{t(2z+1)} \\
& \vdots \\
Y_n^1 &= Y \left[1 + j(1-u)^{t[(n-1)z+1]} \right]^{t[(n-1)z+1]} \\
Y_n^2 &= Y \cdot \beta \left[1 + j(1-u)^{t[(n-1)z+1]} \right]^{t[(n-1)z+1]} \\
Y_n^3 &= Y \cdot \beta^2 \left[1 + j(1-u)^{t[(n-1)z+1]} \right]^{t[(n-1)z+1]} \\
& \vdots \\
Y_n^z &= Y \cdot \beta^{z-1} \left[1 + j(1-u)^{t[(n-1)z+1]} \right]^{t[(n-1)z+1]} \tag{4.4}
\end{aligned}$$

A equação (4.4) representa o modelo proposto para a determinação da produção, considerando o progresso tecnológico.

3.3. Receitas

As receitas brutas (RB) são obtidas com a venda da produção (Y) ao preço de mercado (P). Logo RB é dada por:

$$RB = Y * P \tag{4.5}$$

Para o cálculo do Valor Presente da RB, tem-se a seguinte expressão para “z” cortes e “n” implantações:

$$\begin{aligned}
VR(RB) = P * \{ & Y_1^1(1+r)^{-t} + Y_1^2(1+r)^{-2t} + \dots + Y_1^z(1+r)^{-zt} + Y_2^1(1+r)^{-t(z+1)} + \\
& + Y_2^2(1+r)^{-t(z+2)} + \dots + Y_2^z(1+r)^{-2zt} + \dots + Y_{n-1}^z(1+r)^{-t(nz-z)} + Y_n^2(1+r)^{-t[(n-1)z+1]} + \dots \\
& + Y_n^2(1+r)^{-t[(n-1)z+1]} + \dots + Y_n^z(1+r)^{-znt} \} \quad (4.6)
\end{aligned}$$

O valor entre chaves representa o volume equivalente no período considerado.

3.4. Custos

Os custos que ocorrem durante um ciclo de produção de madeira podem ser divididos da seguinte forma:

- Custos iniciais: são aqueles que ocorrem no ano zero do projeto, ou seja, no ano de sua implantação. Podem ser subdivididos em preparo da área, preparo do solo, controle de pragas, capina química, adubação, produção de mudas, plantio, supervisão técnica e diversos;

- Custo de manutenção florestal: são os necessários para manter a floresta, indo do ano 1 ao ano de corte. Porém, nem todos se repetem ao longo dos anos. Estes custos estão subdivididos em tratos culturais, adubação, controle de pragas, controle de incêndios florestais, inventário florestal, supervisão técnica, custo da terra, bateção pré-corte, colheita e diversos;

- Custos da regeneração florestal: são os gastos que as empresas têm para conduzir a brotação dos plantios originais para uma ou mais talhadias. Podem ser subdivididos em tratos culturais, adubação, controle de pragas, controle de incêndios florestais, inventário florestal, supervisão técnica, custo da terra, bateção pré-corte, colheita e supervisão técnica.

A planilha de custos utilizada para os cálculos está representada na Tabela 4.1. Os custos foram divididos em três grupos. O primeiro grupo foi

composto pelos custos operacionais de plantio (ano zero), o segundo grupo foi composto por custos operacionais da manutenção florestal (1º ano ao ano de corte), e, o terceiro, pelos custos operacionais da regeneração florestal (1º ano após o corte ao ano de corte das talhadas). Além desses custos, foram considerados os seguintes valores:

- Taxa de desconto: 8% ao ano;
- Preço atual da madeira: US\$15.00/st;
- Preço da madeira na década de 60: US\$12.00/st;
- Produtividade das talhadas (β): 90% do volume do corte anterior;
- Custo de colheita na década de 60: US\$/st 6.00;
- Custo atual de colheita: US\$/st 2.00.

TABELA 4.1 – Planilha de Custos.

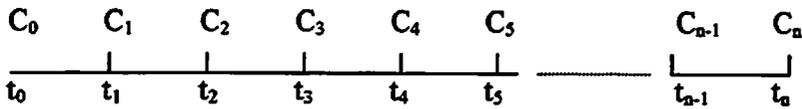
Custos operacionais de plantio	Custo efetivo (US\$/ha) década de 60	Custo efetivo (US\$/ha) atual	Ano de ocorrência
Preparo da área	682,92	227,64	0
Capina química	134,19	44,73	0
Adubação	192,60	64,20	0
Produção de mudas	357,54	119,18	0
Plantio	87,72	29,24	0
Diversos	225,51	75,17	1 a t
Custos operacionais da manutenção florestal	Custo efetivo (US\$/ha) década de 60	Custo efetivo (US\$/ha) atual	Ano de ocorrência
Tratos culturais	429,96	143,32	1 a t
Adubação	115,59	38,53	1 a 2
Controle de pragas	172,35	57,45	1 a t
Controle de incêndios florestais	71,40	23,80	1 a t
Inventário florestal	43,05	14,35	1 a t
Diversos	127,44	42,48	1 a t
Custos operacionais da regeneração florestal	Custo efetivo (US\$/ha) década de 60	Custo efetivo (US\$/ha) atual	Ano de ocorrência *
Tratos culturais	183,96	61,32	1 a 2
Adubação	561,06	187,02	1
Controle de pragas	185,31	61,77	1 a t
Controle de incêndios florestais	71,40	23,80	1 a t
Inventário florestal	42,63	14,21	1 a t
Diversos	161,88	53,96	1 a t

* Anos que sucedem aos cortes.

OBS.: Custos de grandes empresas que atuam na área de cerrado em Minas Gerais.

Os custos ao longo do tempo precisam ser estudados de maneira diferente do que as receitas, pois enquanto estas ocorrem somente a cada rotação, aqueles ocorrem ao longo de todo o horizonte de planejamento.

Para facilitar o estudo do efeito do progresso tecnológico nos custos, será mostrado, para fins de modelagem, apenas o custo médio de implantação de 1 ha de floresta de *Eucalyptus* spp nas empresas que atuam na região do Cerrado do Estado de Minas Gerais. Estes custos ocorrerão ao longo do tempo como no seguinte esquema:



Onde: C = custo de implantação de 1 ha de floresta de *Eucalyptus* spp;
 n = número de implantações;
 t = rotação em anos.

Porém, da forma como os custos estão dispostos, eles não retratam a realidade porque são constantes. Sabe-se que isto na prática não ocorreu. Beneficiados pelo progresso tecnológico, os custos sofreram redução ao longo do tempo.

Para retratar uma situação dinâmica (progresso tecnológico) que se quer, é preciso determinar a que taxa os custos vão ser reduzidos ao longo do tempo. Se eles caem a cada implantação, não serão sempre constantes ($C_0 = C_1 = C_2 = C_n$) e sim $C_1 = C_0 - \Delta C_0$. Este ΔC_0 pode ser reduzido a uma taxa anual de redução no custo. Assim:

$$C_1 = C_0 (1 - h_i)^{t_1} \quad (4.7)$$

onde:

- C_1 = custo da 1ª implantação após o plantio original;
- C_0 = custo de implantação original;
- h_i = taxa anual de decréscimo de C no período t_i (rotação);

Assim, tem-se:

$$C_1 = C_0 (1 - h_1)^{t_1}$$

$$C_2 = C_0 (1 - h_1)^{t_1} (1 - h_2)^{t_2}$$

$$C_3 = C_0 (1 - h_1)^{t_1} (1 - h_2)^{t_2} (1 - h_3)^{t_3}$$

⋮

$$C_n = C_0 (1 - h_1)^{t_1} (1 - h_2)^{t_2} (1 - h_3)^{t_3} \dots (1 - h_n)^{t_n}$$

Para simplificar e permitir a modelagem, assume-se que:

$$h_1 = h_2 = h_3 = \dots = h_n = h$$

$$t_1 = t_2 = t_3 = \dots = t_n = t$$

Assim:

$$C_1 = C_0 (1 - h)^t$$

$$C_2 = C_0 (1 - h)^{2t}$$

⋮

$$C_n = C_0 (1 - h)^{nt}$$

Embora os demais custos não estejam listados, o raciocínio é idêntico. As várias situações possíveis em que podem ocorrer as reformas são explicitadas a seguir.

Para o caso de reforma após 1 corte, têm-se as seguintes expressões:



Onde:

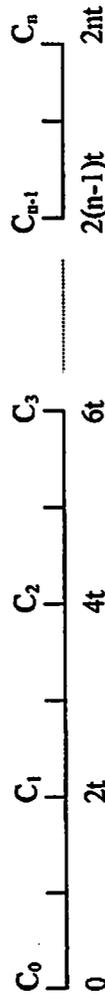
$$C_1 = C_0(1-h)^t$$

$$C_2 = C_0(1-h)^{2t}$$

$$C_{n-1} = C_0(1-h)^{(n-1)t}$$

$$C_n = C_n(1-h)^{nt}$$

Para o caso de reforma após 2 cortes, têm-se as seguintes expressões:



Onde:

$$C_1 = C_0(1-h)^{2t}$$

$$C_2 = C_0 (1-h)^{4t}$$

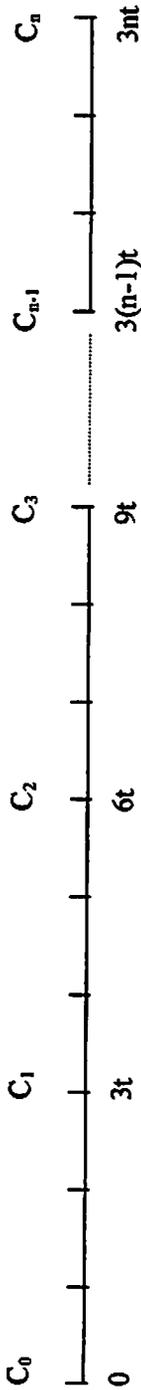
$$C_3 = C_0 (1-h)^{6t}$$

⋮

$$C_{n-1} = C_0 (1-h)^{2(n-1)t}$$

$$C_n = C_0 (1-h)^{2nt}$$

Para o caso de reforma após 3 cortes, têm-se as seguintes expressões:



Onde:

$$C_1 = C_0 (1-h)^{3t}$$

$$C_2 = C_0 (1-h)^{6t}$$

$$C_3 = C_0 (1-h)^{9t}$$

⋮

$$C_{n-1} = C_0 (1-h)^{3(n-1)t}$$

$$C_n = C_0 (1-h)^{3nt}$$

Para o caso de reforma após “z” cortes, têm-se as seguintes expressões:



Onde:

$$C_1 = C_0 (1-h)^{zt}$$

$$C_2 = C_0 (1-h)^{2zt}$$

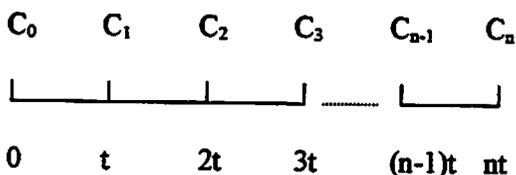
$$C_3 = C_0 (1-h)^{3zt}$$

⋮

$$C_{n-1} = C_0 (1-h)^{(n-1)zt}$$

$$C_n = C_0 (1-h)^{nzt}$$

Da maneira como foi colocada, a equação (4.7) não retratará com fidelidade o decréscimo do custo, uma vez que a taxa “h” não apresenta o mesmo comportamento ao longo do tempo. Para resolver a situação, o uso de um moderador, que aplicado à taxa “h” permita aos custos decrescerem a uma taxa decrescente, se fez necessário. Esta providência evita que o custo de implantação atinja valores irreais. Assim, para o caso de reforma após um corte:



Onde:

$$C_1 = C_0 [1 - h(1 - w)^t]$$

$$C_2 = C_0 [1 - h(1 - w)^{2t}]^{2t}$$

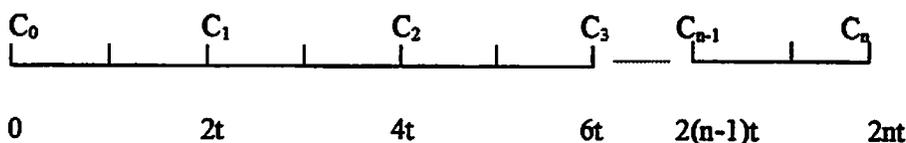
$$C_3 = C_0 [1 - h(1 - w)^{3t}]^{3t}$$

⋮

$$C_{n-1} = C_0 [1 - h(1 - w)^{(n-1)t}]^{(n-1)t}$$

$$C_n = C_0 [1 - h(1 - w)^{nt}]^{nt}$$

Para o caso de reforma após 2 cortes, tem-se:



Onde:

$$C_1 = C_0 [1 - h(1 - w)^{2t}]^{2t}$$

$$C_2 = C_0 [1 - h(1 - w)^{4t}]^{4t}$$

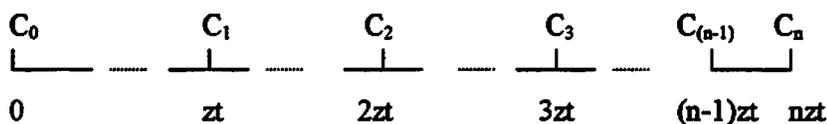
$$C_3 = C_0 [1 - h(1 - w)^{6t}]^{6t}$$

⋮

$$C_{n-1} = C_0 [1 - h(1 - w)^{2(n-1)t}]^{2(n-1)t}$$

$$C_n = C_0 [1 - h(1 - w)^{2nt}]^{2nt}$$

Para o caso de reforma após “z” cortes, tem-se:



Onde:

$$C_1 = C_0 [1 - h(1 - w)^{zt}]^{zt}$$

$$C_2 = C_0 \left[1 - h(1 - w)^{2zt} \right]^{2zt}$$

$$C_3 = C_0 \left[1 - h(1 - w)^{3zt} \right]^{3zt}$$

⋮

$$C_{n-1} = C_0 \left[1 - h(1 - w)^{(n-1)zt} \right]^{(n-1)zt}$$

$$C_n = C_0 \left[1 - h(1 - w)^{nzt} \right]^{nzt} \tag{4.8}$$

Onde “z” = número de cortes por implantação.

A equação (4.8) é o modelo proposto.

Para o cálculo do valor presente dos custos, tem-se a seguinte expressão:

$$VPG = C_0 + C_1(1+r)^{-zt} + C_2(1+r)^{-2zt} + C_3(1+r)^{-3zt} + \dots + C_n(1+r)^{-nzt}$$

Para testar a validade do modelo, serão calculados, como exemplo, os valores dos custos de implantação em 1 ha de florestas de *Eucalyptus* spp na região do cerrado de Minas Gerais, ao longo das décadas de 60 a 90 e, posteriormente, projetados para o período entre 2000 e 2040. Como ponto de partida será considerado o custo de implantação adotado pelo IBDF à época dos incentivos fiscais, que era de US\$1,800.00/ha. De posse desta informação e com os valores atuais, será calculada a taxa média de decréscimo “h” dos custos ao longo do período considerado. Porém, como já foi comentado, a taxa “h” não diminuirá indefinidamente e de modo constante ao longo do tempo. A queda será cada vez menor, havendo uma estabilização no futuro. Assim, será

introduzida a taxa “w”, que suavizará a queda de “h” no tempo. Para o cálculo do demais custos, o raciocínio é idêntico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. O Modelo

Para testar a validade do modelo, ou seja, para modelar o crescimento da produtividade e a redução dos custos de implantação ao longo do tempo (Tabela 4.2) foram utilizados dados de produtividade provenientes da década de 60 (IBDF, 1974) e dados atuais. O primeiro passo foi calcular a taxa média de crescimento da produtividade (“j”) e de redução dos custos (“h”) ao longo destes anos. Os valores encontrados foram de 15% a.a. para j e de 3% a.a. para h entre as décadas de 1960 e 1990. Porém, estes valores médios, por si só, não resolveriam a questão, pois se estas taxas fossem consideradas constantes, as produtividades e os custos chegariam a valores irrealistas. Por isso, foram calculados moderadores (“u”) para a taxa j e (“w”) para a taxa h. Assim, de posse dos valores antigos e atuais de produtividades e custos, chegou-se aos valores de 2,3 a.a. para u e de 0,26% a.a. para w. Para a projeção dos próximos 40 anos, foram recalculados os valores de todas as taxas j, u, h e w, que foram respectivamente 0,7218%a.a.; 0,1% a.a.; 1%a.a. e 0,05%a.a.

TABELA 4.2 - Efeito do Progresso Tecnológico na Produtividade e nos Custos de Implantação de 1 ha de Floresta de *Eucalyptus* spp Entre os Períodos de 1960 a 2000, e, de 2000 a 2040.

Década	Volume (st/ha)	Custo (US\$/ha)	Década	Volume (st/ha)	Custo (US\$/ha)
1960	30,00	1,800.00	2000	300,00	600.00
1970	92,23	1,337.75	2010	322,14	542.89
1980	181,52	1,009.42	2020	345,43	491.67
1990	259,99	772.86	2030	369,88	445.71
2000	300,00	600.00	2040	395,53	404.42

O volume foi estimado no horizonte de 40 anos. Tal fato se deve às próprias limitações apresentadas pelo modelo. As partes do modelo:

$$\left[1 + j(1 - u)^{nt} \right]^{nt} \text{ e } \left[1 - h(1 - w)^{zt} \right]^{zt} \text{ crescem até}$$

um certo ponto com “nt” e “zt” respectivamente, posteriormente elas começam a cair, provocando reduções nos volumes e aumentos nos custos. Estas restrições do modelo são mais pronunciadas quanto maiores forem os valores de “j” e “u” no caso da produtividade e “h” e “w” no caso dos custos. A Figura 1 representa a evolução da produtividade ao longo do período considerado. Na Figura 2 estão representados os custos ao longo do tempo.

É importante lembrar que a função de produção utilizada para estimar a produtividade é uma função ajustada para o cerrado do Estado de Minas Gerais, para outras regiões a produtividade pode chegar a até 600 st/ha.

A própria trajetória do progresso tecnológico explica as diferenças maiores nos primeiros 40 anos estudados. As taxas de progresso tecnológico vão sendo cada vez menores ao longo do tempo. Quando se conseguem grandes resultados como no início do período considerado, pode-se dizer que a tecnologia anterior era, ainda, incipiente.

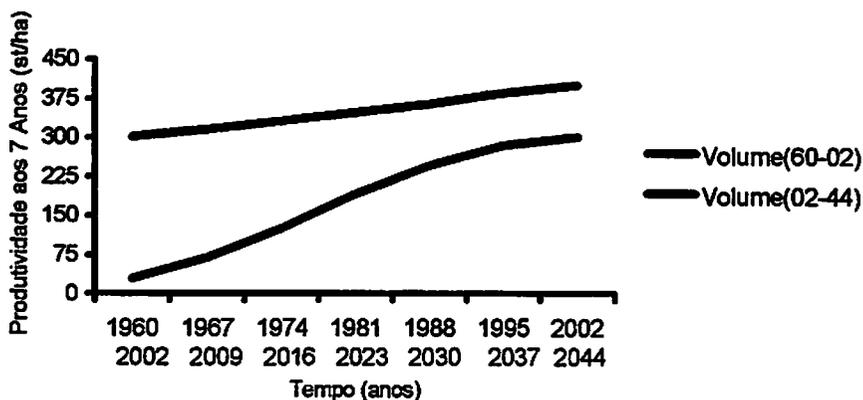


FIGURA 1. Evolução da Produtividade de 1960 até 2000 e Projeção de 2000 à 2040.

Nos primeiros 40 anos do estudo, a produtividade teve um impulso maior com o progresso tecnológico, isto prova o quanto se estava longe do ideal. Na segunda metade do estudo, observou-se que os aumentos na produtividade foram menores, chegando a um ponto onde tenderam à estabilidade.

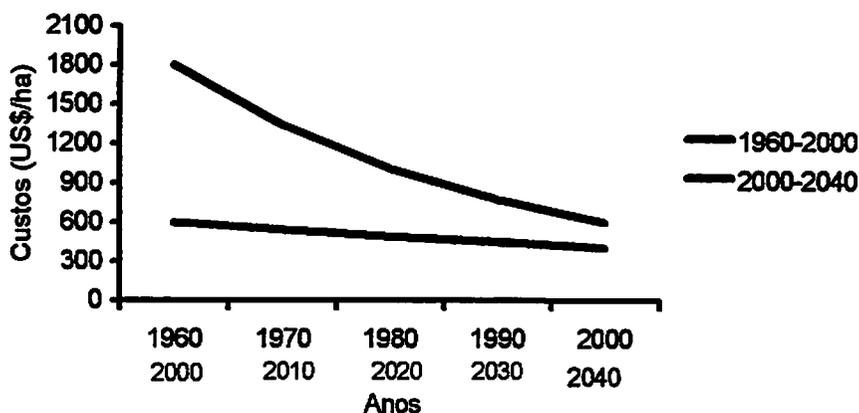


FIGURA 2. Decréscimo dos Custos de Implantação do ha de Florestas de *Eucalyptus* spp no Cerrado do Estado de Minas Gerais.

A Figura 2 mostrou que os custos se comportaram de maneira contrária à produtividade, ou seja, enquanto a produtividade ia aumentando os custos iam sendo reduzidos. A redução se deu de forma acentuada nos primeiros 40 anos estudados, pela maior taxa de progresso tecnológico, tendendo a se estabilizar no futuro.

4.2. Rotação

Toda base de cálculo foi elaborada a partir do prévio conhecimento da idade ótima de corte, pois quando se altera qualquer variável, tem-se efeito nas condições técnicas e econômicas da rotação. Portanto, é necessário recalcular a idade de corte e verificar o efeito no número de cortes que antecedem à substituição. A Tabela 4.3 mostra o cálculo da rotação à taxa de desconto de 8% e horizonte de planejamento infinito. Os coeficientes usados para o cálculo do volume foram:

$K = 300 \text{ st/ha}$;

$a = -0,07849$;

$b = 0,037$.

TABELA 4.3 – VPL e Volume para Diversas Idades de um Povoamento de *Eucalyptus* spp, para uma Taxa de Desconto de 8%.

Idade (anos)	Volume (st/ha)	VPL (US\$/ha)
1	28,16	-6,923.19
2	44,18	-3,316.87
3	68,10	-1,696.42
4	12,11	-638.,0
5	146,86	181.01
6	198,80	792.64
7	248,19	1,123.57
8	282,44	1,123.32
9	296,94	875.53
10	299,82	557.63

A época ótima de corte do povoamento foi aos 7 anos de idade, quando o VPL foi maior. Mesmo sabendo que do alto fuste para as talhadas a idade de corte pode mudar, neste estudo foi considerado que ela é a mesma. A variação entre alto fuste e talhadia pode ser desprezada para fins de cálculo (Lopes, 1990). A rotação considerada em todo o trabalho foi aos 7 anos de idade para facilitar a modelagem.

O VPL positivo indica que o projeto é economicamente viável.

4.3. Cadeia de Substituição

O estudo da cadeia de substituição foi realizado em etapas. Na primeira foi estudado o efeito do progresso tecnológico na época ótima de substituição considerando a produtividade e os custos da época em que se iniciou o estudo, ou seja, a década de 1960. Na segunda etapa foi estudado o efeito do progresso tecnológico com dados atuais, e na terceira foram projetadas as épocas ótimas de substituição para 40 anos, dada uma taxa de progresso tecnológico.

A produtividade na época de corte da década de 60 foi considerada como sendo de 92,23 st/ha. Os dados de custos para a década de 60 foram considerados como três vezes maiores que os atuais, exceção feita ao custo da terra, que foi de US\$200.00/ha, considerado como o custo de oportunidade da terra juros à taxa de 8%a.a., sendo, portanto, um custo anual. A Tabela 4.4 mostra como foi encontrado o momento ótimo de substituição para um povoamento implantado na década de 80.

TABELA 4.4 - Momento ótimo de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp implantados na década de 80 no Estado de Minas Gerais.

Número de cortes	Receitas (US\$/ha)	Custos (US\$/ha)	VPL infinito (US\$/ha)
1	5,462.89	5,091.74	371.23
2	5,261.59	4,301.91	959.62
3	5,261.59	4,042.90	1,070.63
4	5,007.67	3,920.88	1,086.78
5	4,933.98	3,855.07	1,078.90

Houve queda no valor atual dos custos com o aumento das rotações, este fato, a princípio, pode parecer paradoxal, uma vez que os custos de manutenção e condução das brotações continuam existindo. Porém, quanto maior for o número de cortes, menos implantações, que representam custos pesados, serão necessárias, conseqüentemente os custos serão menores, pois considera-se horizonte infinito.

A Tabela 4.5 mostra o comportamento da época ótima de substituição dos povoamentos de eucalipto ao longo das décadas de 1960 à 2000.

TABELA 4.5 - Efeito do Progresso Tecnológico no número de cortes que antecederam à substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp no Período de 1960 à 2000.

Década	Número de cortes	Receitas (US\$/ha)	Custos (US\$/ha)	VPL infinito (US\$/ha)
1960	19	1,699.90	5,011.24	-3,311.45
1970	8	3,326.52	4,227.73	-913.48
1980	4	4,427.22	3,466.40	1,086.80
1990	3	4,708.18	2,764.08	2,426.05
2000	2	3,987.22	2,011.55	2,995.53

O efeito do progresso tecnológico (aumento nas receitas provocado pelo aumento da produtividade e redução dos custos) foi observado ao longo de todo período analisado. Entre 60 e 70, o VPL ainda era negativo e o número de cortes alto (19). Quando o VPL passou a ser positivo, o reflorestamento passou a ser lucrativo e o número de cortes caiu rapidamente de 8 na década de 70 para 2 na década atual. A redução dos incentivos fiscais pelo governo e sua total extinção em 1985 parece ter seguido trajetória perfeitamente justificada do ponto de vista econômico.

A situação futura pode ser observada na Tabela 4.6, onde está representada a mesma situação mostrada na Tabela 4.5, porém, em projeção para os próximos 40 anos.

TABELA 4.6 - Efeito do Progresso Tecnológico no número de cortes que antecederão à substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp no Período de 2000 à 2040.

Década	Número de cortes	Receitas (US\$/ha)	Custos (US\$/ha)	VPL infinito (US\$/ha)
2000	2	3,987.22	2,011.55	2,995.53
2010	2	4,300.11	1,857.93	3,702.86
2020	2	4,611.00	1,716.84	4,388.15
2030	2	4,937.32	1,552.15	5,132.71
2040	2	5,279.76	1,472.15	5,773.15

Os cortes para as próximas 4 décadas serão sempre 2 antes de se substituir o povoamento. Este fato, porém, ocorre em uma situação onde β será sempre 90% em relação ao volume do corte anterior. O número de cortes, por sua vez, é muito sensível a possíveis aumentos de β , de maneira que, se o índice passar de 90% para 91%, o número atual de cortes subirá para 3; passando para 93%, o número de cortes para a década de 2010 subirá para 3; passando para 94%, o número de cortes das décadas de 2020 e 2030 passará para 3 e passando para 96%, o número de cortes para povoamentos implantados na década de 2040 será 3. Esta observação mostra que quanto maior o volume do alto fuste, maior terá que ser o volume da talhadia para justificar mais uma condução de brotação, porque o ganho com uma nova implantação mais que compensa os ganhos de adiar a substituição por mais uma rotação.

5. CONCLUSÕES

Os resultados alcançados e as análises realizadas permitiram as seguintes conclusões:

- A rotação florestal com valores atuais se encontra aos 7 anos de idade;
- O modelo se mostrou eficiente para estimativas e previsões em horizontes de até de 40 anos;

- Com as receitas e os custos da década de 60, considerando o progresso tecnológico a partir daquele ponto, o número de cortes chega atualmente a 2 antes da reforma;
- As épocas ótimas de substituição caíram ao longo dos anos, passando dos 18 cortes na década de 60 para 4 cortes na década de 80, chegando atualmente, para o caso estudado, à substituição após 2 cortes;
- Para os futuros plantios, verificou-se uma tendência de permanecer nos 2 cortes antes da substituição, porém pequena melhora tecnológica na produtividade das talhadias passa o ponto ótimo de substituição para após o 3º corte.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONTADOR, C.R. Projetos Sociais - Avaliação e Prática. 3ª ed. Atlas, São Paulo. 1996. 375p.**
- DAVIS, K.P. Forest Management: Regulation and Valuation. 2ª ed. New York, McGraw-Hill, 1966. 519p.**
- IBDF. Zoneamento Econômico Florestal do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte -MG, 1974. 182p.**
- LOPES, H.V.S.; Análise Econômica dos Fatores que Afetam a Rotação de Povoamentos de Eucaliptos. Viçosa, U.F.V., 1990. 188p. (Tese M.S.).**
- MASSÉ, P. Optimal Investment Decisions Rules for Action and Criteria Choice. Prentice. Hall, Inc. 1962. 500p.**
- REZENDE, J.L.P., PAULA Jr., G.G., RIBEIRO, G.A., Técnicas de Análise Econômicas Usadas na Tomada de Decisão Referentes à Reforma de Eucaliptais. In: Seminário Sobre Aspectos Técnicos e Econômicos da Reforma de Eucaliptais. Belo Horizonte, U.F.V./S.I.F., 1987.**

SILVA, A.A.L., Análise Econômica da Substituição de Povoamentos de *Eucalyptus* spp. Viçosa, U.F.V., 1990. 109p. (Tese M.S.).