

KAIO HENRIQUE ADAME DE CARVALHO

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS ECONÔMICAS EM MODELOS DE
REGULAÇÃO FLORESTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C331i
2012

Carvalho, Kaio Henrique Adame de, 1986-
Influência de variáveis econômicas em modelos de
regulação florestal / Kaio Henrique Adame de Carvalho.
– Viçosa, MG, 2012.
viii, 104f. : il. ; 29cm.

Orientador: Márcio Lopes da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Economia florestal. 2. Programação linear. 3. Florestas -
Administração. 4. Projeto de desenvolvimento florestal.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.968

KAIO HENRIQUE ADAME DE CARVALHO

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS ECONÔMICAS EM MODELOS DE
REGULAÇÃO FLORESTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 14 de fevereiro de 2012.

Márcio Leles Romarco de Oliveira

Carlos Antonio Álvares Soares Ribeiro

Helio Garcia Leite

Márcio Lopes da Silva
(Orientador)

A todos aqueles que
foram importantes
nesta jornada.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A minha família, pelo suporte e apoio durante toda minha vida.

Ao professor Márcio Lopes, pela oportunidade e pela confiança em mim depositada, pelo constante apoio e por me ajudar a ter uma visão mais ampla e abrangente da engenharia florestal e suas políticas.

A Naisy que apesar de não estar presente neste trabalho foi quem me ensinou e me inspirou a trabalhar com pesquisa.

Ao professor Helio Garcia que para mim sempre foi um exemplo de professor e pessoa, sempre disposto a ajudar e tirar dúvidas.

Ao Daniel Binoti pelo imenso apoio e ajuda, pela preocupação que demonstrou com o meu desempenho, pelos sábios conselhos, meu eterno agradecimento.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro e oportunidades oferecidas.

Aos grandes amigos que fiz em Viçosa que tornaram minha estadia mais prazerosa e interessante.

BIOGRAFIA

Kaio Henrique Adame de Carvalho é natural de Carmo da Mata, Minas Gerais. Filho de Flávia Adame de Carvalho, nascido em 8 de junho de 1986.

Iniciou o curso de Engenharia florestal em março de 2005 pela Universidade Federal de Viçosa onde se graduou em janeiro de 2010. Em março do mesmo ano ingressou no programa de pós-graduação em Ciência Florestal pela mesma universidade vindo a defender em fevereiro de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
CAPÍTULO 1	7
PESQUISA OPERACIONAL NO SETOR FLORESTAL E DIFERENÇA ENTRE FUNÇÕES OBJETIVO	7
1.1. Pesquisa operacional no setor florestal.	7
1.2. Programação linear	8
1.3. Regulação florestal e modelos de regulação	9
1.4. Formulação das funções objetivo:.....	14
1.5. Programa RPF - Regulação da Produção Florestal	19
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	29
CAPÍTULO 2	32
INFLUÊNCIA DA TAXA DE JUROS E DO PREÇO DA MADEIRA EM UM MODELO DE REGULAÇÃO FLORESTAL	32
INTRODUÇÃO	32
MATERIAL E METODOS	34
Caracterização da área de estudo	34
Formulação do problema	36
Estimativas de produção e custos.....	38
RESULTADOS.....	40
CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	50
CAPÍTULO 3	52
INFLUÊNCIA DE DIFERENTES FUNÇÕES OBJETIVO EM MODELOS DE REGULAÇÃO FLORESTAL	52
INTRODUÇÃO	52
MATERIAL E METODOS	54
Caracterização da área de estudo	54
Formulação do problema	56
Estimativas de produção e custos.....	58
RESULTADOS.....	60
CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

CAPÍTULO 4.....	67
INFLUÊNCIA DO CUSTO DE COLHEITA E TRANSPORTE EM MODELOS DE REGULAÇÃO FLORESTAL	67
INTRODUÇÃO	67
MATERIAL E METODOS	69
Caracterização da área de estudo	69
Formulação do problema	71
Estimativas de produção e custos.....	74
RESULTADOS.....	77
CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
CAPÍTULO 5.....	88
INFLUÊNCIA DO HORIZONTE DE PLANEJAMENTO EM MODELOS DE REGULAÇÃO FLORESTAL	88
INTRODUÇÃO	88
MATERIAL E METODOS	90
Caracterização da área de estudo	90
Formulação do problema	91
Estimativas de produção e custos.....	94
RESULTADOS.....	96
CONCLUSÃO	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
CONCLUSÃO GERAL.....	103

RESUMO

CARVALHO, Kaio Henrique Adame de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2012. **Influência de variáveis econômicas em modelos de regulação florestal.** Orientador: Márcio Lopes da Silva.

Este trabalho teve por objetivo analisar a influência de diferentes variáveis nos modelos de regulação florestal. Para a geração dos modelos foi utilizado dados de 10 florestas-modelo, cada floresta apresentando 100 unidades de manejo. Os modelos de regulação foram formulados de acordo com o modelo I, sendo todos resolvidos com programação linear. O sistema utilizado para a resolução dos problemas foi RPF (Regulação da Produção Florestal), sendo feita uma abordagem do mesmo no primeiro capítulo. No segundo capítulo analisou-se a influência da taxa de juros e do preço da madeira nos modelos de regulação, sendo a taxa de juros alternada em 8, 10 e 12% a.a., e o preço da madeira em 64, 80 e 96 R\$/m³. No terceiro capítulo foi analisada a influência de diferentes funções objetivo, sendo comparada a minimização do custo, a minimização do custo médio de produção (CMP), a maximização da produção e a maximização do valor presente líquido (VPL). No quarto capítulo foi analisada a influência da utilização de curvas de custos de colheita, curvas de custo de transporte e custos fixos nos modelos de regulação florestal. No quinto capítulo foi analisada a influência de diferentes horizontes de planejamento nos modelos de regulação florestal, sendo avaliado o intervalo de 7 a 21 anos. Como resultados teve-se que o programa Regulação da Produção Florestal (RPF) mostrou-se bastante eficiente para a resolução de modelos regulação utilizando o modelo I de programação linear, sendo gratuito, versátil e fácil de usar. O método de maximização do VPL foi mais influenciado pelo preço da madeira quando comparado a taxa de juros. Os métodos de maximização foram os mais dispendiosos, com maior área de corte anual e produção e menor idade de corte e produtividade. Os métodos de minimização foram eficientes para reduzir custos, sendo recomendado o uso dos dois. A utilização da curva de colheita reduziu custos e a área de corte anual, já a curva de transporte influenciou apenas nos custos. O horizonte de planejamento ideal para os métodos de minimização foi de 16 anos, enquanto para os métodos de maximização não foi encontrado um ideal no presente estudo.

ABSTRACT

CARVALHO, Kaio Henrique Adame de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2012. **Influence of economic variables in models of forest regulation.** Adviser: Márcio Lopes da Silva.

This study aimed to analyze the influence of different variables in the models of forest regulation. To develop the model we used data from 10 model forests, each with 100 forest management units. The regulation models have been formulated in accordance with model I, all solved by linear programming. The system used for solving the problems was the RPF (Regulação da Produção Florestal) an approach was made of it in the first chapter. In the second chapter was analyzed the influence of interest rates and the wood price in regulation models, where the interest rate was alternated in 8, 10 and 12% pa, and the wood price in 64, 80 and 96 R \$ / m³. In the third chapter was analyzed the influence of different objective functions, where was compared the cost minimization, the minimization of average cost of production (ACP), the production maximization and the maximization of net present value (NPV). In the fourth chapter was analyzed the influence of the use of harvest cost curve, transport cost curve and fixed costs in forestry regulation models. In the fifth chapter was analyzed the influence of different planning horizons in forestry regulation models, where was evaluated the range of 7 to 21 years. The results were that the program Regulação da Produção Florestal (RPF) was quite efficient for the resolution of regulatory models using model I of linear programming, that it is free, versatile and easy to use. The method of maximizing the NPV was more influenced by the wood price than by the interest rate. The methods of maximization were the most expensive, with higher cutting annual area and production and lower age of cut and productivity. The minimization methods were efficient to reduce costs, and recommended the use of two. The use of harvesting cost curve reduced the annual cutting area and production costs, already the transport cost curve influenced only in the production costs. The optimal planning horizon for the minimization methods was of 16 years, whereas in this study was not found an optimal horizon for maximization methods.

INTRODUÇÃO

O setor florestal desempenha um papel relevante na economia nacional e com isso, tem atraído vultuosos investimentos, tanto na área produtiva quanto em pesquisas (REZENDE et al, 2005). Porém notam-se as crescentes restrições impostas pela legislação florestal e ambiental, quando da utilização dos recursos florestais (BOLFE et al, 2001). Segundo Alves (2006), para as empresas sobreviverem elas necessitam de informações de qualidade e de capacidade empresarial para adaptarem-se as mudanças.

Ao longo das últimas décadas houve um aumento na utilização de produtos de origem florestal, em virtude do aumento populacional, da necessidade de se produzir energia a custos baixos, de matéria-prima para produção de celulose e papel e para a indústria moveleira (BOLFE et al, 2001). Barros Junior et al (2009), citam que as pressões mercadológicas e a globalização atualmente exigem que as empresas florestais se tornem mais competitivas, sendo necessária uma produção de alta qualidade e com custos baixos.

De acordo com Nobre (1999), o problema básico de manejo florestal consiste em elaborar um plano especificando as diversas intervenções silviculturais que atendem as demandas e restrições definidas para certo período de tempo. Já para Leite (1994), o manejo florestal moderno requer integração entre floresta, indústria e mercado, para maximizar o retorno financeiro e, ao mesmo tempo, garantir uma base sustentável do estoque de crescimento da floresta. Mas, além disso, o manejo florestal é também uma ferramenta que auxilia as tomadas de decisões e gera informações confiáveis que aumenta a capacidade das empresas em reagir às mudanças impostas pelo mercado e pela legislação.

Segundo Machado e Lopes (2008), para o planejamento eficiente das operações florestais, os principais aspectos a serem considerados em seu planejamento podem ser classificados em aspectos econômicos, operacionais, ambientais e sociais. Santos (2007), diz que o planejamento florestal envolve um grande número de variáveis, alto volume de recursos, o que torna o uso de ferramentas indispensáveis aos gestores florestais no processo de tomada de decisão.

Segundo Banhara (2009), uma das principais etapas do processo de tomada de decisão é analisar as possíveis alternativas disponíveis para elaborar os planos de manejo em longo prazo, bem como estabelecer as metas a serem atendidas em médio e

curto prazo. Já Santos (2007) cita que a tomada de decisão é marcada pela necessidade de buscas de soluções ótimas ou sub-ótimas para problemas complexos.

Para o processo de tomada de decisão tem-se como ferramenta utilizada no setor florestal a pesquisa operacional que pode ser descrita como uma abordagem científica que envolve operações de um sistema organizacional, buscando sempre o ótimo (RIBEIRO, 2007).

Vários são os métodos de pesquisa operacional utilizados na resolução de problemas florestais, sendo que o manejador encontra ao longo de suas atividades, vários problemas complexos. Assim, observa-se a importância da pesquisa operacional como ferramenta de tomada de decisão e de planejamento da produção florestal visto a gama de problemas que estas ferramentas podem resolver.

Carnieri (1989) exemplifica bem a dinâmica que as empresas florestais têm em seus plantios e as decisões que devem tomar. .

“As empresas florestais de médio ou grande porte possuem muitos lotes de plantio, por vezes espalhados em vários municípios. Cada lote é homogêneo quanto à idade de suas árvores, a curva de crescimento, custos, etc. Normalmente essas empresas estão associadas a indústrias que demanda madeira, tais como indústrias de papel e celulose, serrarias e siderúrgicas. Essas indústrias precisam ter garantia de suprimentos, sem depender do mercado. Consequentemente, a empresa florestal precisa fazer seu planejamento priorizando o atendimento daquela demanda ao longo dos anos. Ao fazer isso, a empresa se depara com uma gama enorme de variáveis que afetam o sistema. Há que se decidir sobre idades de corte, número e intensidade dos desbastes, densidade e variedades de plantio, compra e venda de terras, etc (Planejamento de longo prazo)”.

Sem uma ferramenta que auxilie no processo de tomada de decisão, poder-se-ia tomar decisões equivocadas ou até erradas durante o manejo das florestas. Tem-se então a programação linear como uma das primeiras ferramentas de pesquisa operacional a ser utilizada no setor florestal como suporte para as tomadas de decisões.

Segundo Rodrigues (1997), um dos trabalhos mais complexos no manejo florestal é a regulação. Uma floresta regulada é aquela em que todas as áreas da floresta estejam uniformemente distribuídas em classes de idade iguais, tendo periodicamente a mesma produção volumétrica, e qualidade técnica, sendo o objetivo assegurar uma produção contínua e a sustentabilidade de diversos produtos e de usos da floresta.

Porém hoje nota-se que a evolução tecnológica, principalmente em relação aos computadores com capacidade de processamento mais rápido, a evolução das

heurísticas, dos programas de modelagem e dos métodos utilizados na regulação facilitaram bastante o trabalho do manejador. Sendo que hoje a regulação em si não é tão complexa como era no passado, portanto, os desafios atuais são englobar outros aspectos na regulação que no passado não eram tão pertinentes, como os aspectos sociais e ambientais.

A regulação florestal abre uma gama enorme de variáveis em seu processo de implantação, porém a floresta regulada garante a sustentabilidade do empreendimento e também segue os novos padrões de mercado, já que se consegue uma floresta sustentável, com uma mesma produção periódica sem a necessidade de explorar novas áreas. O que para as empresas florestais se torna bastante interessante, visto que ocorre uma pressão ambiental e social além da própria legislação florestal que requer a utilização de terras de forma mais racional.

O mercado ainda não diferencia a madeira ou produtos oriundos de florestas reguladas dos produtos de florestas não reguladas. Entretanto para se chegar a uma estrutura regulada o custo é maior quando comparado aos custos de uma floresta não regulada, sendo este aumento devido às restrições dos modelos de regulação e ao próprio planejamento da floresta. Apesar disso nota-se a crescente manifestação da sociedade por produtos sustentáveis o que futuramente implicará em florestas reguladas, ou seja, se tornam cada vez mais importantes o estudo e o entendimento dos métodos e técnicas utilizadas para a regulação das florestas.

Ultimamente diversos estudos são conduzidos sobre regulação da produção das florestas, utilizando de técnicas mais modernas e robustas como o caso das heurísticas e metaheurísticas, como exemplo podemos citar os trabalhos de BINOTI (2010), BARROS JUNIOR et al (2009), RODRIGUES et al (2003). E mesmo trabalhos que utilizaram a programação linear observa-se uma gama enorme de enfoques como os trabalhos de RODRIGUES (1997), CARNIERI (1989), RODRIGUEZ (1985). Porém ainda há muito que se discutir sobre os modelos de programação linear e a influência de suas variáveis nos modelos de regulação. Sendo assim este trabalho teve por objetivo analisar a influência de diferentes variáveis em modelos de regulação florestal.

A dissertação foi dividida em cinco capítulos todos com enfoque no planejamento da produção florestal com base nos modelos de regulação Os objetivos específicos de cada capítulo estão listados abaixo:

1º - Fazer uma breve revisão de literatura sobre os temas pertinentes a regulação, discutir as diferentes funções objetivo utilizadas no estudo, discutir e apresentar o programa *Regulação da Produção Florestal (RPF)*;

- 2° - Avaliar a influência do preço da madeira e da taxa de juros nos modelos de regulação florestal cuja função objetivo foi maximizar o VPL;
- 3° - Avaliar as diferentes funções objetivo e suas influências nos modelos de regulação florestal;
- 4° - Avaliar a influência da utilização de curvas de custos de colheita, curvas de custo de transporte e custos fixos nos modelos de regulação florestal.
- 5° - Analisar a influência de diferentes horizontes de planejamento nos modelos de regulação florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M.V.G. **Sistema computacional para gestão de florestas plantadas**. 2006. 76p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.
- BANHARA, J.R. **Agendamento otimizado das atividades de colheita de madeira em plantios de eucalipto sob restrições operacionais, espaciais e de risco climático**. 2009. Escola Superior de Agricultura Luiz de Quiroz ESALQ/USP, Piracicaba. SP, 2009.
- BINOTI, D.H.B. **Estratégias de regulação de florestas equiâneas com vista ao manejo de paisagem**. 2010. 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- BOLFE, E.L., PEREIRA, R.S., MADRUGA, P.R.A., NUNES, G.M. Gerenciamento de unidades de produção florestal através de técnicas de geoprocessamento em logica nebulosa (Logic Fuzzy). Anais X **SBSR**, Foz do Iguacu, p. 921-923, abril 2001.
- CARNIERI, C. **Planejamento florestal otimizado via redes de manejo**. 1989. 144 p, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1989
- LEITE, H. G. **Conversão de troncos em multiprodutos da madeira, utilizando programação dinâmica**. 1994. 230 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.
- MACHADO, C.C.; LOPES, E.S. **Colheita florestal**. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. p.501.
- NOBRE, S. R., (1999), **A heurística da Razao-R aplicada a problemas de gestao florestal**. 1998. 98f. Dissertacao (Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- REZENDE, J.L.P., OLIVEIRA, A.D., RODRIGUES, C. Efeito dos tributos no custo de produção, na rotação e na reforma de *eucalyptus* spp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 70-83, jan./mar. 2005.
- RIBEIRO, C.A.A.S. **Otimização Florestal**. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Engenharia Florestal, 2007, 93p. (Notas de aula)
- RODRIGUES, F.L., **Regulação de florestas equianeas utilizando programação linear**. 1997. 117p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997
- RODRIGUES, F. L., LEITE, H. G., SANTOS, H. N., SOUZA, A. L. Solução de problemas de planejamento florestal com restrições de inteireza utilizando busca tabu. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.5, p.701-713, 2003.
- RODRIGUEZ, L.C.E., LIMA, A.B.N.P. A utilização da programação linear na determinação de uma estratégia ótima de reforma de um talhão florestal, **IPEF**, Piracicaba, v.1 , n. 31, p.47-53, 1985

SANTOS, B. B. Procedimentos híbridos na exploração de espaço de soluções de problemas de natureza combinatória: uma aplicação ao planejamento florestal. 2007. 50p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

CAPÍTULO 1

PESQUISA OPERACIONAL NO SETOR FLORESTAL E DIFERENÇA ENTRE FUNÇÕES OBJETIVO

1.1. Pesquisa operacional no setor florestal.

Segundo Ribeiro (2007), a pesquisa operacional pode ser descrita como uma abordagem científica para o processo de tomada de decisão que envolva operações de um sistema organizacional. Onde sempre se busca o ótimo para a resolução de um problema.

A pesquisa operacional foi desenvolvida para resolver problemas de recursos escassos, sendo que a ferramenta ou metodologia a ser utilizada dependerá da sua adequação ao problema em questão (SANTOS, 2008),

Para o planejamento do manejo florestal, principalmente quando se fala de regulação, os sistemas de suporte de decisão mais utilizados são os baseados na pesquisa operacional (PO). Entre as técnicas de PO com aplicações no manejo de recursos florestais, estão: a programação matemática onde se destacam a programação linear (PL), programação inteira (PI), programação com múltiplos objetivos (PMO), programação dinâmica (PD); as heurísticas onde se pode destacar o algoritmo genético, a busca tabu (TB), o simulated annealing.; ainda pode-se destacar os modelos estocásticos ou modelos de simulação.

Apesar de existir diversas técnicas que possibilitam o planejamento da regulação florestal, e vários trabalhos enfocando a utilização destes modelos nos processos de tomada de decisão, a solução de problemas de grande porte ainda é bastante limitada, principalmente no Brasil. Sendo que a complexidade dos problemas, o volume de dados envolvidos e a carência de tecnologias adequadas como computadores mais velozes são fatores que limitam a utilização destas ferramentas em larga escala (RODRIGUES et al, 2001).

Com o desenvolvimento da informática a Pesquisa Operacional também teve grandes avanços, pois os avanços tecnológicos possibilitaram o uso de computadores com maior capacidade e velocidade. Sendo assim facilitada a resolução de problemas com um número maior de restrições e variáveis. O que acarretou em um leque maior de

aplicações para a Pesquisa Operacional, tornando a mesma cada vez mais utilizada (ALONSO, 2003).

O interesse por inovações no planejamento florestal é constante, visto a complexidade do problema e a necessidade de ferramentas que ajudem nas tomadas de decisão (SANTOS, 2007). Vários estudos recentes utilizando a P.O. como ferramenta de tomada de decisão são encontrados, entre eles citam-se: BINOTI (2010), BARROS JUNIOR et al (2009), RODRIGUES et al (2003), que utilizaram as técnicas de heurísticas e os trabalhos de SILVA et al (2006), BANHARA et al (2010) e MELLO et al (2008), que utilizaram as técnicas de programação matemática.

Como observado vários são os métodos de pesquisa operacional utilizados na resolução de problemas florestais. E visto a complexidade dos problemas que o manejador pode encontrar ao longo de suas atividades. Assim, observa-se a importância da pesquisa operacional como ferramenta de tomada de decisão e de planejamento da produção florestal visto a gama de problemas que estas ferramentas podem resolver.

1.2. Programação linear

A programação linear é um tipo de programação matemática que envolve o uso de modelos matemáticos para resolver certos problemas de gerenciamento de recursos. Estes problemas podem ser simples e resolvidos com modelos clássicos de álgebra e cálculo, ou mais complexos sendo necessário o uso de algoritmos para sua solução. Um algoritmo é um conjunto de operações lógicas e matemáticas realizadas em uma sequência específica (DYKSTRA, 1984).

Segundo Ribeiro (2007), a programação linear é um algoritmo, ou seja, um conjunto formal de procedimentos a serem seguidos. Estes procedimentos são usados para encontrar a solução ótima de um problema a ser resolvido.

A PL é um problema de otimização matemática com um único objetivo com “n” variáveis de decisão $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ e “m” restrições. Onde a função objetivo pode ser maximizar ou minimizar, e está sujeita a um conjunto de restrições que definem o espaço “S” de soluções admissíveis (SILVA, 2004). Descritos por:

$$\begin{aligned} \text{Max} Z_1 &= f_1(x) \\ \text{s.a} : x &\in S \end{aligned} \tag{P.L.}$$

Em um problema de PL há somente uma solução ótima.

Segundo Ribeiro (2007) as justificativas encontradas para o uso da programação linear no planejamento florestal são as seguintes:

- A PL é uma das poucas técnicas que podem ser utilizadas para lidar com os problemas do porte comumente encontrado nessa área;
- É um técnica de otimização, podendo ser usada para satisfazer determinadas exigências legais;
- Existe uma considerável experiência acumulada na área de modelagem e manejo de recursos naturais em vários países;
- A existência de programas para microcomputadores e de interfaces específicas para determinadas classes de problemas.

Porém a grande vantagem dos modelos de PL na regulação florestal é que eles permitem uma análise conjunta dos objetivos e restrições que caracterizam o empreendimento florestal, ao passo que os métodos clássicos (regulação por área e por volume, principalmente), não permitem essa análise integrada (RODRIGUES, 1997).

Já Carnieri (1989) cita as seguintes críticas da PL aplicada aos problemas florestais:

- Assumir a linearidade de um problema real tem consequências nos resultados, que geralmente não são bem analisados;
- A PL é determinística enquanto que o problema florestal apresenta vários dados incertos, ou seja, é estocástico;
- As soluções geralmente fracionam as unidades de manejo, sendo este fracionamento muitas vezes difícil de implementar;
- A PL aplicada ao setor aumenta excessivamente o tamanho da matriz básica por causa das restrições. Isto causa grande dispersão da matriz.

Para resolução de problemas de programação linear (PPL) um dos métodos mais utilizados é o *simplex*, sendo o mesmo desenvolvido por George Dantzig em 1947, para resolver problemas de estratégias de abastecimento de tropas durante a Segunda Guerra Mundial (RIBEIRO, 2007). Sua vantagem é que o mesmo apresenta grande eficiência na resolução de problemas de grande porte, sendo que com até computadores pessoais podem-se resolver problemas com uma grande gama de variáveis (BETTINGER et al, 2009).

1.3. Regulação florestal e modelos de regulação

Obter uma estrutura regulada é um dos principais objetivos do manejo florestal. A regulação esta ligada a sustentabilidade das florestas, com a viabilização da produção continua dos produtos e usos da floresta. Entretanto a estrutura regulada não é

conseguida com facilidade, sendo que os principais motivos são: acréscimo ou redução da área de plantio ao longo do horizonte de planejamento, avanços tecnológicos e avanços na demanda anual (CASTRO, 2007).

Os modelos de regulação florestal clássicos são bem simples, sendo que suas formulações mais utilizadas são o controle por área e o controle por volume. Segundo Leuschner (1984), o controle por área é um método que determina a área anual a ser cortada dentro do horizonte de planejamento, sendo este a idade de corte. Já o controle por volume é um método que determina a quantidade de madeira a ser colhida anualmente dentro do horizonte de planejamento.

Sendo assim o controle por área se obtém uma floresta regulada mais rapidamente, porém o volume anual a ser colhido varia ao longo do horizonte de planejamento. Já o controle por volume se tem um fluxo fixo anual de madeira, porém ele não garante a regulação da floresta. Detalhes maiores sobre esses métodos de regulação podem ser encontrados nos trabalhos de MIRANDA (2003); LEUSCHNER (1984); LEUSCHNER (1990); RODRIGUES (1997).

Apesar dos modelos clássicos serem compatíveis com a programação matemática, esses modelos se focavam apenas na resolução dos problemas de planejamento que consideram apenas uma rotação (LEUSCHNER, 1990). Sendo assim surgem os modelos mais utilizados na regulação florestal, nomeados de modelo I e modelo II por JOHNSON e SCHEURMAN, (1977). Segundo Rodrigues (1997), estes dois modelos tem a grande vantagem de permitir uma análise conjunta dos objetivos e restrições que caracterizam o empreendimento florestal.

A partir do surgimento desses dois modelos, a maioria dos trabalhos de regulação florestal foi formulada de acordo com os mesmos. Apesar de já existirem vários trabalhos que utilizam outros métodos de resolução diferente da programação linear, a formulação dos problemas de regulação segue o mesmo padrão dos modelos I e II.

Os primeiros trabalhos utilizando o modelo I foi originalmente proposta por Kidd et. al. (1966); citado por DYKSTRA (1984). Sendo que estes primeiros trabalhos se focavam apenas na produção sustentada e na regulação da floresta.

O trabalho de Nautiyal e Pearse (1967) tinha por objetivo demonstrar como as técnicas de programação linear podem ser usadas para especificar o modelo econômico ótimo de colheita de uma floresta não regulada durante o período de sua conversão a uma floresta regulada. Os autores mostraram as variações que ocorrem no ótimo econômico quando se varia as idades de cortes e o horizonte de planejamento.

Ware e Clutter (1971) utilizaram em seu estudo o modelo I para a regulação de uma floresta de pinus no sudeste dos EUA. Este foi um dos primeiros estudos onde as rotações múltiplas foram consideradas e o custo de impor ou satisfazer qualquer restrição do modelo foi avaliado.

Johnson e Scheurman (1977), além de nomear o modelo I e II, também mostraram as diferenças básicas entre os dois modelos. Segundos os autores o modelo II demanda um menor esforço na formulação do problema, pois tem uma flexibilidade maior, entretanto a implementação de sua solução é mais trabalhosa, visto que as unidades de manejo não são constantes ao longo do horizonte de planejamento. No modelo I a floresta é subdividida em classes homogêneas de idades, portanto as unidades de manejo são as mesmas dentro do horizonte planejado.

No trabalho de Barros e Weintraub (1982), já se tem uma nova abordagem dos modelos de regulação, sendo estes formulados para obtenção de multiprodutos. Os autores desenvolveram um estudo envolvendo uma floresta de pinus no Chile que teria sua madeira destinada a produção de celulose ou a serraria. Os mesmos utilizaram o modelo I dentro de um sistema de informação.

Já Johnson e Tedder (1983), fazem uma comparação entre os métodos de programação linear e busca binária na regulação de florestas. Onde mostrou-se as vantagens e desvantagens dos dois métodos.

No Brasil a partir da década de 80 começam a surgir os trabalhos com a utilização do modelo I na regulação de florestas. Taube Netto (1984) apresentou um modelo de planejamento aplicado a uma empresa florestal. Muitas empresas florestais utilizam madeira para o próprio consumo, sendo, portanto interessante uma análise de custos. Rodriguez e Lima (1985) construíram modelos de maximização do VPL e de minimização dos custos de reforma de um talhão florestal, sendo escolhido como melhor modelo o de maximização do VPL. No trabalho ambos os modelos apresentaram resultados coerentes e com soluções ótimas, sendo a escolha específica para a situação estudada. Outros trabalhos no Brasil que seguem a mesmo padrão são o de RODRIGUEZ et al (1986), RODRIGUEZ e MOREIRA (1989); CARNIERI (1989).

Brun (2002) também avaliou cenários onde utilizou a maximização do VPL e a minimização dos custos para os planos de manejo florestal, porém seu objetivo foi avaliar o impacto das variações dos valores de compra de madeira de mercado nos modelos de regulação. Neste caso o autor observou que os modelos de minimização de custos foram mais sensíveis as variações do preço da madeira.

Outro trabalho interessante é o de Rodrigues (1997), este fez uma comparação entre o modelo I e o modelo II a fim de mostrar o potencial da Programação Linear nas tomadas de decisões em planejamento de florestas equiâneas sujeitas a vários regimes de colheita.

Mais recentemente, vem surgindo novas técnicas que auxiliam o manejador nos problemas de planejamento. Como exemplos têm-se as heurísticas. Barros Junior et al (2009), utilizaram a metaheurística GRASP associada com a técnica de intensificação *Path Relinking* para a solução de problemas de planejamento florestal. Os autores mostram o potencial da metaheurística para resolução de problemas de planejamento florestal.

Outra técnica utilizada na regulação florestal é a metaheurística conhecida como Busca Tabu. Rodrigues et al (2003), utilizou este algoritmo para a solução de problemas de gerenciamento florestal com restrições de inteireza. Este algoritmo foi comparado com o algoritmo de *branch and bound*, que é muito utilizado, porém não muito recomendado para resolução de problemas grandes e complexos já que gera muitas alternativas de solução. Para o problema de maior porte, a eficiência da Busca Tabu foi duas vezes superior ao algoritmo de *branch and bound*, mostrando a eficiência da metaheurística.

Silva et al (2006) formulou um problema via programação linear através do modelo I de regulação, depois transformou o mesmo em um modelo multiobjetivo. Assim os objetivos tratados foram de maximização dos lucros, minimização do desvio da demanda e maximização do uso de mão-de-obra. Após implementação do método das restrições, concluiu-se que, além de mais flexíveis e de apresentar uma gama maior de respostas, a tomada de decisão através de modelos multiobjetivos oferece um paradigma superior aos modelos tradicionais de Programação Linear para o problema de planejamento florestal apresentado.

Assim o enfoque da regulação da produção florestal vem mudando ao longo dos anos, se no começo o interesse era apenas ter uma floresta regulada onde se buscava uma produção contínua e sustentável de madeira, hoje as pressões sociais e ambientais também estão sendo levadas em consideração pelo manejador.

Um dos problemas ambientais que se tem na modelagem clássica de regulação é o corte de extensas áreas contínuas. Além do grande impacto visual, também facilita a propagação de fogo, entre outros. Porém para esta situação já existem estudos que contornam o problema. Como exemplo pode-se citar o trabalho de Gomide et al (2010), que aplicou restrições espaciais de adjacência no agendamento da colheita florestal em

um modelo tradicional de planejamento florestal, tendo como resultado o impedimento da formação de extensas áreas de corte.

Binoti (2010) formulou modelos de regulação florestal que incluem características ambientais e sociais visando o manejo de paisagens. Sendo utilizado o algoritmo genético como ferramenta para a resolução dos problemas. Para os cenários analisados esta ferramenta de heurística foi eficiente para solução de modelos de regulação florestal com restrições socioeconômicas e ambientais.

Segundo Borges (1999), restrições de corte que evitem a abertura de extensas clareiras beneficiam o manejo de bacias hidrográficas, a manutenção de fauna e flora e a preservação do solo. Sendo estes critérios de sustentabilidade ecológica utilizadas no manejo de recursos florestais.

Banhara et al (2010), utilizou os métodos de pesquisa operacional para aprimorar as técnicas de planejamento operacional de colheita em plantios de eucalipto em uma empresa uruguaia, através da elaboração de um modelo envolvendo as técnicas de programação linear inteira mista e programação por metas sob diferentes restrições operacionais, espaciais e ambientais.

Moreira (2008) estudou a incorporação de corredores de conectividades entre fragmentos de vegetação nativa utilizando unidades de manejo das florestas de produção. Para atingir os objetivos o autor utilizou duas técnicas de otimização a programação linear inteira mista e a heurística da RazãoR. Sendo que os dois métodos conseguiram alcançar resultados satisfatórios na elaboração do plano de manejo com a inclusão dos corredores de conectividade.

Já Mello et al (2008) utilizou a programação por metas no intuito de atingir metas pré-estabelecidas de manutenção da quantidade de carbono, de retorno econômico e também de demanda na área a ser regulada. Este estudo surgiu baseado nas crescentes discussões sobre o aquecimento global e a importância das florestas em capturar e armazenar carbono.

Na literatura observa-se a grande gama de trabalhos que existem abordando a regulação florestal, sendo observada a importância do mesmo para o setor. Nota-se que ao longo dos anos os trabalhos se tornam mais interessantes e robustos sendo de extrema importância para o desenvolvimento do setor. Se no passado as preocupações eram apenas de ordem econômica agora se tem as preocupações sociais e ambientais. Também não se pode esquecer a evolução dos computadores e softwares que permitiram a evolução dos estudos de regulação, bem como as técnicas de pesquisa operacional.

1.4. Formulação das funções objetivo:

Segundo Binoti (2010), a resolução dos modelos de planejamento florestal ocorre em um dado conjunto S de variáveis s e uma função objetivo $f : S \leftarrow R$, que associa a cada solução s existente no conjunto de soluções viáveis a um valor real $f(s)$, onde se encontra a solução s^* , dita ótima, para a qual $f(s)$ tem o valor mais favorável.

Porém antes de analisar as funções objetivo propriamente dita cabe enfatizar que algumas dessas funções são baseadas em indicadores econômicos utilizados em análises de projeto. Sendo assim toda distribuição financeira pode ser expressa e melhor visualizada pelo fluxo de caixa, conforme observado na Figura 1.1.

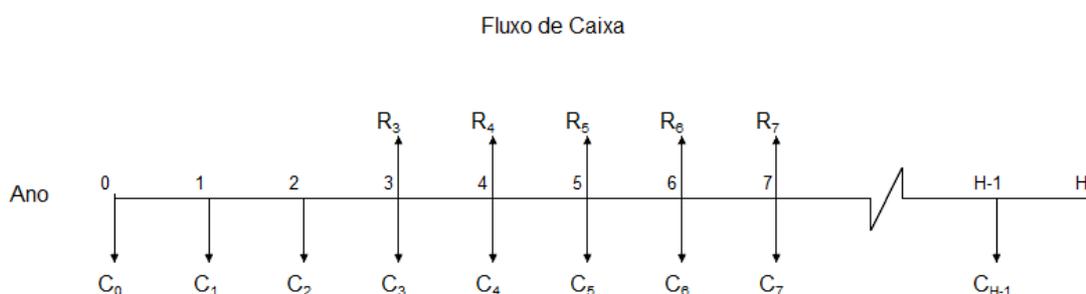


Figura 1.1: Fluxo de caixa de uma prescrição de um modelo de regulação florestal

Como observado temos que as ações tem como referencial o ano 0, sendo portanto as ações dos modelos de regulação sendo realizadas até um ano anterior do horizonte de planejamento ($H-1$). Os custos são anuais já as receitas são obtidas quando ocorre corte, sendo estes podendo ser realizados a partir do ano 3 até o ano 7, ou seja a receita é a multiplicação da produção “P” pelo preço da madeira “Pr”.

No presente trabalho serão descritas quatro funções objetivo diferentes formuladas de acordo com o modelo I de regulação florestal. Abaixo se encontram suas formulações:

Função Objetivo - 1: Maximização da Produção

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Esta função objetivo visa à maximização da produção florestal, ou seja, com esta formulação se terá a máxima produção de madeira possível dentro das restrições colocadas, conforme observado no fluxo de caixa seria a soma de toda a produção ocorrida durante o horizonte de planejamento. Nesta função objetivo não se tem influência das variáveis econômicas, o que poderia ser uma vantagem quando não se tem certeza sobre os valores reais dessas variáveis. Esta função objetivo não é muito utilizada no setor, mas se torna interessante quando comparada com outras funções objetivo principalmente com a maximização do VPL, visto que seria possível verificar se a máxima produção equivale ao máximo lucro.

Função Objetivo – 2: Maximização do valor presente líquido (VPL)

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N VPL_{ij} X_{ij} \quad (2)$$

$$VPL_{ij} = \sum_{k=1}^{H-1} R_k (1+r)^{-k} - C_k (1+r)^{-k} \quad (3)$$

A função objetivo mais utilizada nos modelos de regulação florestal. Nesta função objetivo diferentemente da anterior leva em consideração todas as variáveis econômicas. Sendo utilizado o fluxo de caixa de cada prescrição gerada no modelo e calculado seu valor presente líquido a ser usado como coeficiente na função objetivo, ou seja, neste caso todas as receitas e todos os custos são corrigidos pela taxa de juros. Assim tem-se o lucro do projeto ao longo de todo horizonte de planejamento corrigido para o instante inicial.

A diferença desse método para os outros é que este leva em consideração o preço de venda da madeira, bem como o preço da madeira em pé que não será cortada ao final do horizonte de planejamento, a taxa de juros e os custos envolvidos. Esta função objetivo seria interessante para a empresa que vende madeira, portanto pode-se buscar o máximo lucro.

Função objetivo - 3: Minimização do Custo

$$MinZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij} \quad (4)$$

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^{H-1} C_k (1+r)^{-k} \quad (5)$$

Ao contrario dos outros dois métodos que buscam a maximização este utiliza a minimização. Também é uma função objetivo bastante utilizada pelas empresas do setor florestal, levando em consideração as variáveis econômicas, sendo que o preço da madeira não tem influência nesta formulação. Neste caso se utiliza a soma dos custos corrigidos pela taxa de juros, conforme equação 5.

A vantagem dessa formulação seria a redução dos custos ao longo do horizonte de planejamento, também se espera que ocorra uma produção menor. Os custos envolvidos no projeto variam, mas os mais utilizados são os custos de colheita, de transporte e de manutenção e reformas. A lógica deste modelo seria o fato de que se a empresa produz sua própria matéria-prima e, portanto, não vende madeira poderia operar em um patamar de custo total mínimo.

Função Objetivo - 4: Minimização do Custo Médio de Produção (CMP)

$$MinZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N CMP_{ij} X_{ij} \quad (6)$$

$$CMP_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{H-1} C_k (1+r)^{-k}}{\sum_{k=1}^{H-1} P_k (1+r)^{-k}} \quad (7)$$

Tem o mesmo objetivo da função anterior, porém sua formulação é um pouco diferente. Enquanto que na minimização dos custos apenas os custos são corrigidos pela taxa de juros, no custo médio de produção a produção também é corrigida pela taxa de juros. Conforme Rezende e Oliveira (2008), o custo médio de produção (CMP) resulta da relação entre o custo total atualizado e a produção equivalente, que seria a produção real corrigida pela taxa de juros.

Apesar de parecer estranho a correção da produção pela taxa de juros, esta correção garante que o dispêndio de dinheiro que aconteceria no futuro seja equivalente

à produção, ou seja, o dinheiro que você gasta para produzir no futuro não produziria a mesma quantidade no presente, por isso a correção. Deste modo este método permite minimizar o custo médio de produção, ou seja, o custo de se produzir uma unidade do produto, no caso o metro cubico de madeira.

Este método não é muito utilizado no setor. Mas se torna interessante ao comparar com o método de minimização de custos, já que ambos têm o mesmo objetivo. Assim poder-se-á observar qual o melhor método para reduzir os custos, ou se ambos são iguais.

Abaixo encontrassem as legendas dos todas as funções objetivo.

VPL_{ij} = valor presente liquido do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j, calculado ao longo do horizonte de planejamento, mais o valor presente do estoque final; P_{ij} = Produção volumétrica (m^3) de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j; CMP_{ij} = Custo médio de produção do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j, calculado ao longo do horizonte de planejamento; C_{ij} = Custo de produção do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j, calculado ao longo do horizonte de planejamento; X_{ij} = área da unidade de manejo i assinalada a prescrição j; M = Número de unidades de manejo; N = Número de prescrições j aplicada a cada unidade de manejo i; R_k = Receita total no período k; C_k = Custo total no período k; P_k = Produção total no período k; r = Taxa de juros por período; H = Tamanho do horizonte de planejamento;

Todas as quatro funções objetivos estão sujeitas as mesmas restrições.

- **Restrições de área:**

As restrições de área garantem que a soma das áreas de cada prescrição j não sejam maiores que as áreas de cada unidade de manejo i.

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij} \leq A_i \tag{8}$$

Onde: A_i = área da unidade de manejo i, ($i = 1, 2, \dots, M$).

- **Restrições de Demanda:**

As empresas florestais têm uma demanda anual de madeira, sendo interessante para as mesmas que no processo de regulação de seus reflorestamentos a variação anual de volume produzido não seja muito grande. Para que dessa forma não ocorra falta de madeira ou um grande excesso ambos prejudiciais para as empresas. As restrições de demanda conseguem controlar essa variação anual de madeira.

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij(k+1)} X_{ij} \geq D \min_k \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij(k+1)} X_{ij} \leq D \max_k$$

Onde: $D \min_k$ = demanda mínima no ano k; $D \max_k$ = demanda máxima no período k;

V_{ijk} = Volume produzido pela unidade de manejo i sobre a prescrição j no tempo k;

- **Restrição de regulação:**

Essa restrição garante que ao final do horizonte de planejamento a floresta esteja regulada ou próxima da regulação.

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijt} = \frac{S}{NC} \quad (t=1,2,\dots,NC) \quad (10)$$

Onde:

X_{ijk} = área da i-ésima parcela manejada sobre a j-ésima prescrição, onde as árvores terão t anos no período final do horizonte de planejamento; S = área total do povoamento; NC = número de classes de idade;

Utilizando a restrição desta maneira, dificilmente se obterá uma floresta regulada ao final do horizonte, já que se exige uma perfeita regulação. Para contornar este problema utiliza-se uma inequação. Caso a regulação não ocorra ou não se obtenha um resultado viável pela programação linear, tem-se a alternativa de aumentar o horizonte de planejamento, ou permitir uma variação maior do corte anual.

No presente trabalho permitiu-se uma variação de 5% na área regulada. Sendo, portanto utilizada a seguinte inequação:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijt} \geq \frac{S}{NC} - \left(\frac{S}{NC} * 0,05 \right) \quad (t=1,2,\dots,NC) \quad (11)$$

1.5. Programa RPF - Regulação da Produção Florestal

O programa Regulação da Produção Florestal (RPF) foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar os gestores florestais, acadêmicos e extensionistas na construção de modelos de regulação da produção florestal, tendo como principal característica ser distribuído gratuitamente. O projeto RPF é formado de vários sistemas os quais são designados para a solução de situações específicas dos problemas de regulação da produção florestal. (BINOTI, 2011).

A versão utilizada no presente trabalho foi a versão 0.15 e permite trabalhar em modelos de regulação utilizando a programação linear ou a programação inteira mista. Como descrito nos itens anteriores as análises feitas nos capítulos posteriores desta dissertação foram todos utilizando a programação linear, sendo, portanto a mesma a ser descrita e analisada no corpo desta seção.

A estrutura básica do sistema computacional RPF está demonstrada na Figura 1.2. No topo da Figura estão representados todos os inputs, ou seja, todos os dados prévios necessários para que o sistema funcione e consiga atingir a regulação florestal. Logo abaixo está representado a dinâmica que será a forma de escrever o modelo e todas as suas possibilidades. Tendo os inputs e a dinâmica definida pode-se utilizar o gerador de prescrições que automaticamente gerará todas as tabelas relevantes as prescrições. Logo em sequência o modelo pode ser exportado com modelo de programação linear ou como de programação inteira mista, sendo utilizado um solver para a resolução do problema formulado. Em seguida importa-se a solução que é compilada e organizada pelo sistema RPF.

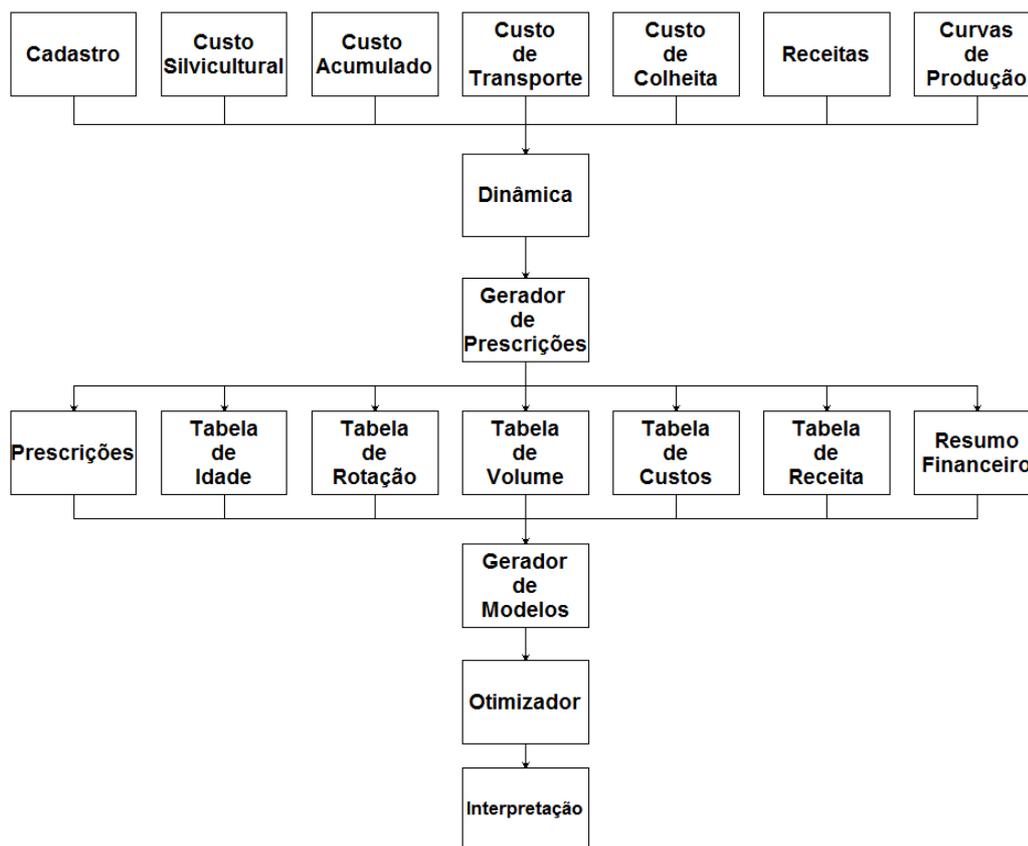


Figura 1.2: Estrutura básica do sistema RPF

Fonte: Binoti (2011)

Já na Figura 1.3 tem-se a tela inicial do programa. Onde na lateral podem ser observadas todas as abas presentes no mesmo. Já na parte superior temos as funcionalidades de exportação de resultados de modelos e importação de modelos prontos. Para se entender melhor o sistema na Figura 1.4 temos a aba de cadastro, o primeiro passo seria importar o cadastro no caso um arquivo no formato .txt separado por tabulação, este arquivo deve ser previamente preparado em uma planilha eletrônica e salvo sem os cabeçalhos, isto serve para todos os arquivos a serem importados para o programa.

Na mesma Figura também observamos os itens “adicionar registro” e “deletar registro” que podem ser utilizados para edição no próprio programa. Dentro desta aba os seguintes itens tem que ser preenchidos: Região, Fazenda, Unidade de Manejo, Idade, Área, Rotação, Custo Silvicultural, Custo Acumulado, Custo de Transporte, Custo de Colheita, Curva de Volume, Distância e Situação. Cada um desses itens é preenchido com valores ou códigos que são relacionados com as outras abas, por exemplo, se na unidade de manejo 1 temos um índice de curva de volume 2, significa que quando as prescrições forem geradas esta unidade 1 terá seu volume calculado pela

curva de índice 2. Isto permite uma grande possibilidade de alternativas para os planos de regulação florestal.

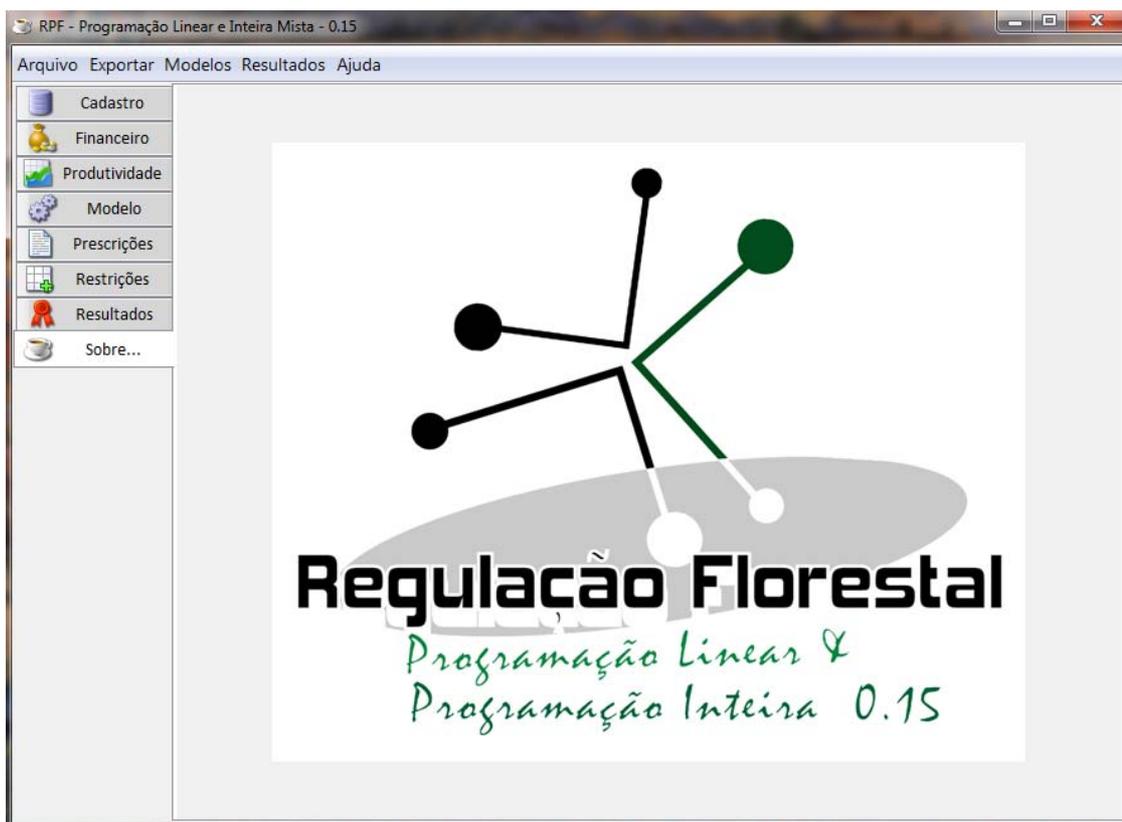


Figura 1.3: Tela inicial do RPF

A imagem mostra a tela de cadastro do sistema RPF. No topo, há uma barra de menu com as opções: Arquivo, Exportar, Modelos, Resultados e Ajuda. Abaixo do menu, há uma barra de ferramentas com os botões: Importar Cadastro, Adicionar Registro, Deletar Registro e Salvar Cadastro. À esquerda, há o mesmo menu vertical da tela inicial. O principal conteúdo da tela é uma tabela com 14 colunas e 33 linhas de dados. As colunas são: Região, Fazenda, Unidad..., Idade, Área, Rotação, Custo ..., Custo ..., Custo ..., Custo ..., Curva ..., Distância e Situação. As linhas representam registros de teste, com valores variando para cada coluna.

Região	Fazenda	Unidad...	Idade	Área	Rotação	Custo ...	Custo ...	Custo ...	Custo ...	Curva ...	Distância	Situação
A	Teste	1	1	30	1	1	1	5	1	1	5	1R
A	Teste	2	6	24	1	1	6	19	1	1	19	6R
A	Teste	3	5	49	1	1	5	10	1	1	10	5R
A	Teste	4	2	45	1	1	2	46	1	1	46	2R
A	Teste	5	1	14	1	1	1	1	1	1	1	1R
A	Teste	6	10	17	1	1	10	42	1	1	42	10R
A	Teste	7	5	43	1	1	5	12	1	1	12	5R
A	Teste	8	6	49	1	1	6	35	1	1	35	6R
A	Teste	9	2	41	1	1	2	11	1	1	11	2R
A	Teste	10	6	20	1	1	6	29	1	1	29	6R
A	Teste	11	1	31	1	1	1	11	1	1	11	1R
A	Teste	12	8	15	1	1	8	30	1	1	30	8R
A	Teste	13	10	46	1	1	10	19	1	1	19	10R
A	Teste	14	4	35	1	1	4	32	1	1	32	4R
A	Teste	15	8	49	1	1	8	37	1	1	37	8R
A	Teste	16	4	42	1	1	4	10	1	1	10	4R
A	Teste	17	4	22	1	1	4	11	1	1	11	4R
A	Teste	18	3	38	1	1	3	25	1	1	25	3R
A	Teste	19	3	22	1	1	3	28	1	1	28	3R
A	Teste	20	10	49	1	1	10	23	1	1	23	10R
A	Teste	21	2	10	1	1	2	38	1	1	38	2R
A	Teste	22	6	12	1	1	6	6	1	1	6	6R
A	Teste	23	4	26	1	1	4	2	1	1	2	4R
A	Teste	24	3	23	1	1	3	34	1	1	34	3R
A	Teste	25	1	47	1	1	1	39	1	1	39	1R
A	Teste	26	2	12	1	1	2	3	1	1	3	2R
A	Teste	27	10	39	1	1	10	23	1	1	23	10R
A	Teste	28	7	35	1	1	7	14	1	1	14	7R
A	Teste	29	7	15	1	1	7	24	1	1	24	7R
A	Teste	30	5	33	1	1	5	39	1	1	39	5R
A	Teste	31	10	22	1	1	10	39	1	1	39	10R
A	Teste	32	5	35	1	1	5	42	1	1	42	5R
A	Teste	33	5	16	1	1	5	25	1	1	25	5R

Figura 1.4: Tela de cadastro do sistema RPF

Na Figura 1.5 têm-se as abas de custos e receitas. Os custos são separados em custos silviculturais, custo acumulado, custo de transporte e custo de colheita, sendo que todos podem ser importados. Já para as receitas basta preencher os valores de madeira, de venda da terra e valor residual.

Índice	Situação	Valor (R\$/ha)
1	CR	4059.05
1	1R	1627.61
1	2R	757.95
1	3R	88.12
1	4R	88.12
1	5R	88.12
1	6R	88.12
1	7R	88.12
1	8R	88.12
1	9R	88.12
1	10R	88.12
1	11R	88.12
1	12R	88.12
1	13R	88.12
2	CR	4059.05
2	1R	1627.61
2	2R	757.95
2	3R	88.12
2	4R	88.12
2	5R	88.12
2	6R	88.12
2	7R	88.12
2	8R	88.12
2	9R	88.12
2	10R	88.12
2	11R	88.12
2	12R	88.12
2	13R	88.12
3	CR	4059.05
3	1R	1627.61
3	2R	757.95

Figura 1.5: Tela de custos e receitas

Na Figura 1.6 observa-se a tela onde se tem os dados das curvas de produção. Estas devem ser calculadas anteriormente pela equação mais adequada para a floresta em estudo. O arquivo a ser montado é mostrado na figura, no exemplo tem-se apenas uma curva para apenas uma rotação e varias idades.

Índice	Rotação	Idade (anos)	Produção (m³/ha)
1	1	1	81.65393861
1	1	2	113.0470894
1	1	3	151.9699886
1	1	4	197.2021071
1	1	5	245.9737578
1	1	6	294.493863
1	1	7	339.0474911
1	1	8	377.0483538
1	1	9	407.4726822
1	1	10	430.6203974
1	1	11	447.5578622
1	1	12	459.6005642
1	1	13	467.9893736

Figura 1.6: Tela das curvas de produção

Na Figura 1.7 observa-se a tela da montagem do modelo, esta talvez seja a mais importante e que talvez gere mais erros durante a utilização do programa, devido principalmente a matriz de transição e a descrição dos códigos do modelo. A matriz de transição indicará as possibilidades que podem ocorrer na floresta durante o horizonte de planejamento. Por exemplo, no caso do código 6R (idade 6 da primeira rotação), este pode ir pra 7R (idade 7 da primeira rotação) ou para CR (corte seguido de reforma imediata), e caso vá pra CR a ação será feita no ano atual conforme descrito pelo código S (sim) e não pelo N (não, neste caso a ação seria feita no ano posterior). Nesta aba também é definido o horizonte de planejamento a taxa de juros, o método a ser utilizado (maximização da produção ou do VPL, e minimização dos custos ou do CMP), a idade regulatória e a taxa de variação permitida na área de regulação.

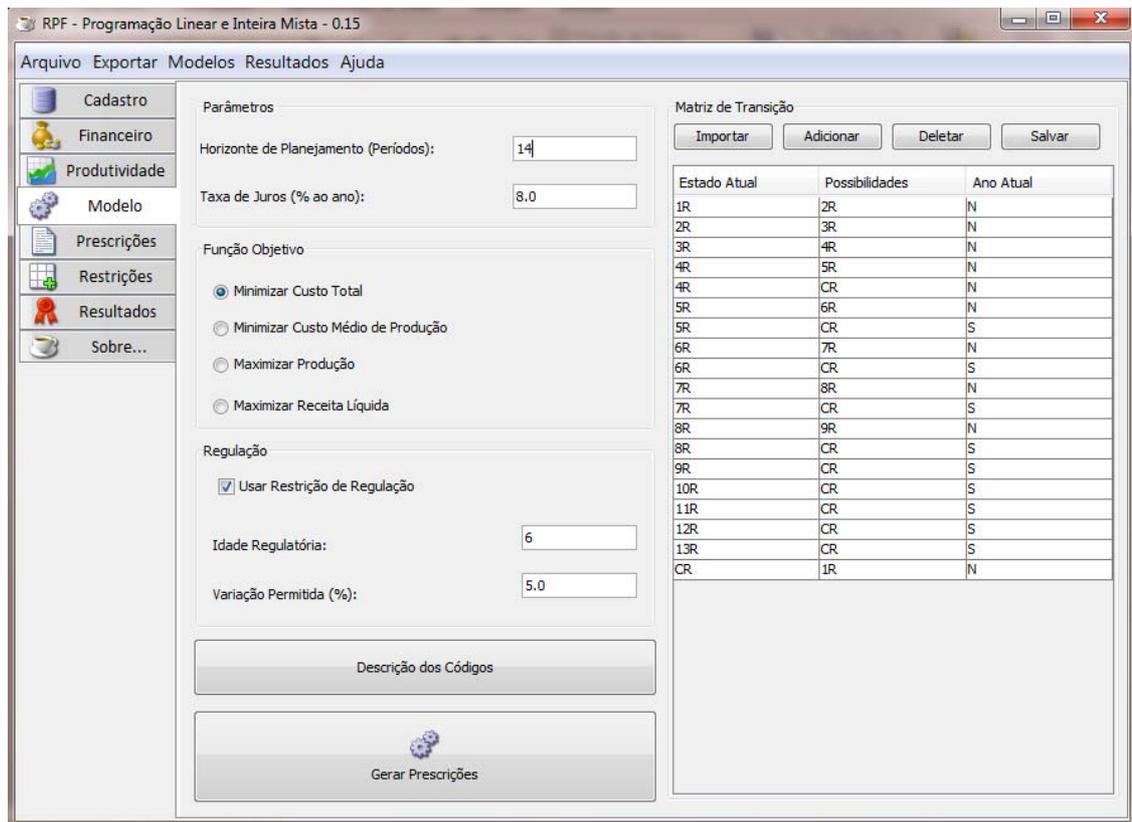


Figura 1.7: Tela de dinâmica

Na mesma aba ainda tem-se a descrição dos códigos do modelo conforme observado na Figura 1.8

Nesta parte que será definido o que cada código da matriz de transição e da situação da unidade de manejo da aba cadastro significam, o que significa cada dado esta descrito no paragrafo abaixo.

“A Coluna “Idade” é responsável pelas alterações na idade das unidades de manejo, caso seu valor seja “N”, a idade da unidade de manejo seja incrementada em 1 ano; caso seu valor seja “S”, a idade da unidade de manejo terá valor de 1 ano; caso seja “0” o valor da idade será 0. A coluna “Produção” representa a ocorrência de colheita, caso “S” a situação oferece colheita, caso “N” não ocorre produção. A coluna “Rotação” representa as alterações ocorridas na rotação, caso apresente valor “N” a rotação não é alterada, caso “S”, a rotação é incrementada e caso “1” a rotação passa a ter valor 1. A coluna “Venda de Terra” representa se a situação atual acarreta venda de terra, caso apresente valor “S” a unidade de manejo será vendida, caso “N” não.”(BINOTI, 2011)

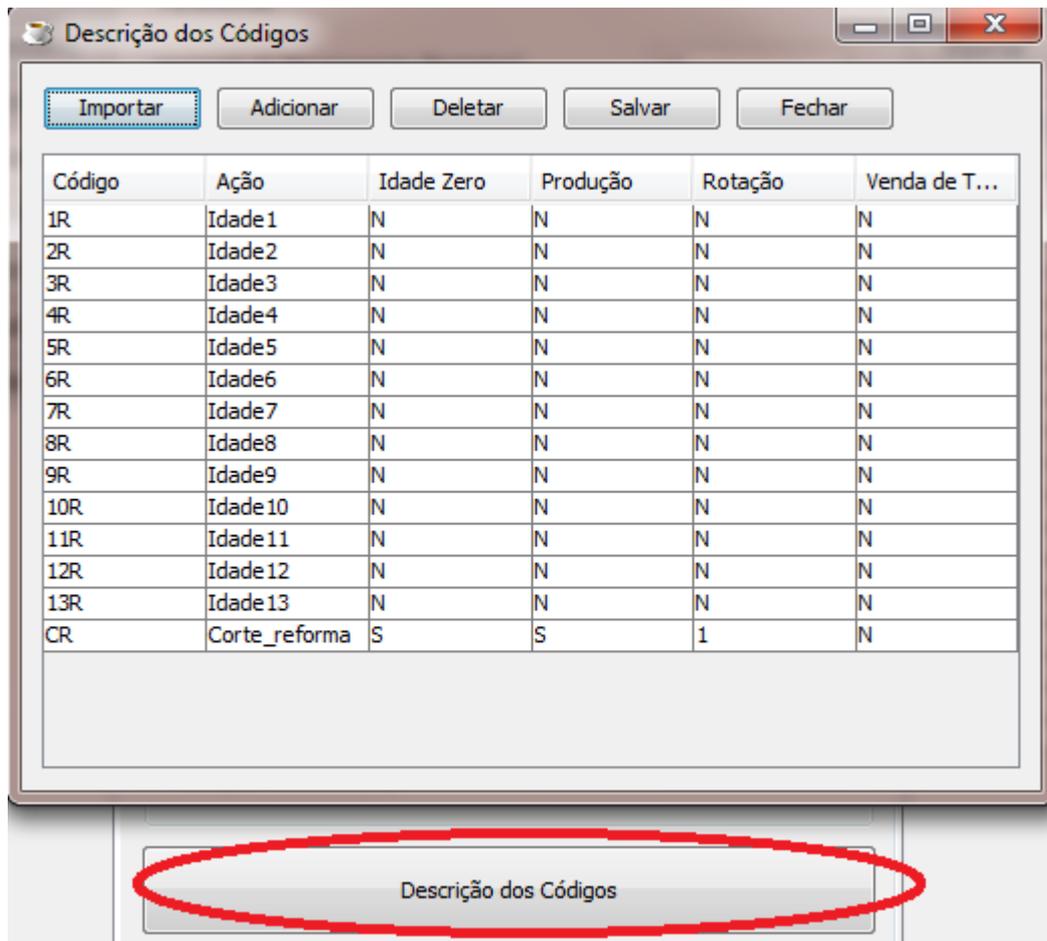


Figura 1.8: Tela da descrição dos códigos

Antes de se clicar em gerar prescrições e interessante verificar a aba de restrições, já que a mesma será integrada ao modelo. Esta aba é observada na Figura 1.9. O primeiro a se preencher é a “tabela de variável”, no caso vai se definir quais as regiões e fazendas terão restrições, no exemplo as restrições serão as mesmas para todas as fazendas e todas as regiões, neste caso basta colocar o código “TODOS” conforme observado, caso contrario colocar-se-ia os nomes presentes na aba do cadastro. No item “estado” tem-se uma referencia aos códigos da matriz da transição que gerem produção, ou seja, que sejam passíveis de restrição, no caso poder-se-ia ter outros códigos como, por exemplo, se houvesse áreas com talhadia, venda de terra e outros. Já o item “classe” como observado está presente nas três tabelas desta aba, sempre com o mesmo nome sendo este aleatório e igual em todas as três tabelas. No exemplo “corte” são as restrições de área e “volume” as restrições de volume.

Na tabela características apresenta o local onde o programa buscará as informações para gerar as restrições, no exemplo temos o item “tabela” com a palavra “PRESCRIÇÃO” que indica que na geração do modelo o programa procurará em toda a tabela de “prescrição” na aba “prescrições” o estado CR, colocando as unidades de

volume e área, conforme indicado na tabela. Já na tabela de “restrição” têm-se as restrições para cada ano do horizonte de planejamento sendo no item “limite” especificado o máximo e o mínimo de cada restrição. Antes de importar esta tabela deve-se clicar em ajustar para que dessa forma a “tabela restrição” se ajuste ao horizonte de planejamento escolhido na aba “modelo”.

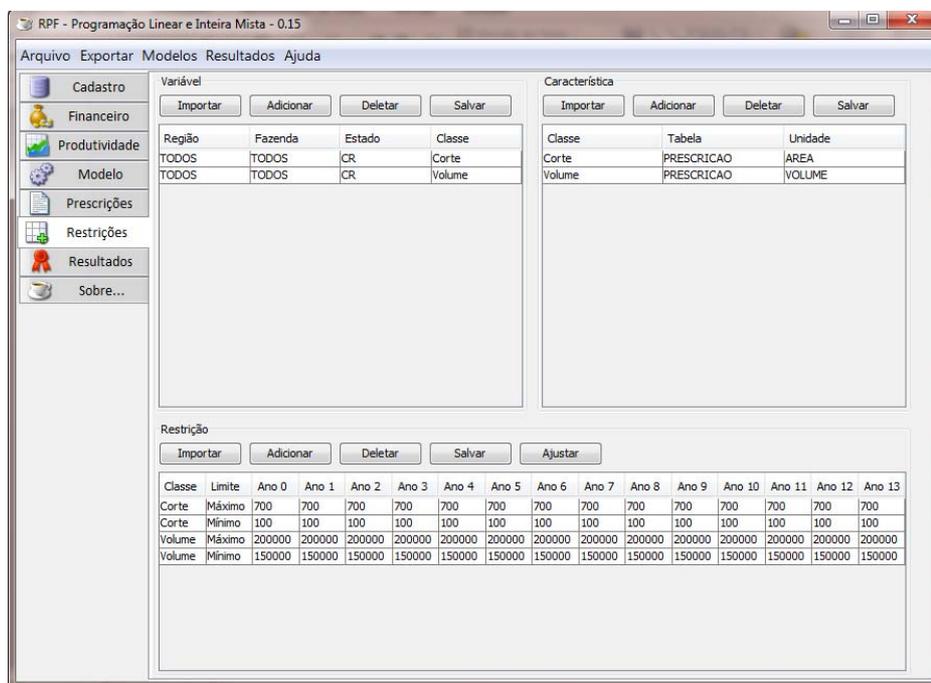


Figura 1.9: Tela de restrições

Outra funcionalidade do programa é que depois de importar todos esses inputs, não se precisa fazer o mesmo se quiser rodar o mesmo modelo novamente já que o programa permite salvar o modelo feito, para isto basta clicar em “arquivo” e “salvar modelo”, dessa forma sempre que se quiser rodar o modelo, o mesmo já estará salvo em apenas um arquivo. Este arquivo salvo ainda pode ser alterado em qualquer um dos inputs e ser salvo como um novo modelo o que facilita bastante o processo de geração de cenários e estudos de caso.

Depois de pronto o modelo para se gerar as prescrições basta apenas importar o mesmo e clicar em “gerar prescrições” na aba “modelo”. O que gerará as seguintes tabelas, observadas na Figura 1.10. Todas essas tabelas podem ser exportadas clicando em “exportar”, mas recomenda-se que ao invés de exportar se copie os dados e cole diretamente em uma planilha eletrônica evitando problemas de incompatibilidade, além de poder colocar todas as tabelas em um arquivo único, visto que o programa permite a exportação de cada uma individualmente.

Prescrições	Idade	Rotação	Volume	Custos	Receitas	Financeiro
A Teste 1	1	1R	0	1R	1R	1R
A Teste 1	2	2R	1	2R	2R	2R
A Teste 1	3	3R	2	3R	3R	3R
A Teste 1	4	4R	3	4R	4R	4R
A Teste 1	5	5R	4	5R	5R	5R
A Teste 1	6	6R	5	6R	6R	6R
A Teste 1	7	7R	6	7R	7R	7R
A Teste 1	8	8R	7	8R	8R	8R
A Teste 1	9	9R	8	9R	9R	9R
A Teste 1	10	1R	9	1R	1R	1R
A Teste 1	11	2R	10	2R	2R	2R
A Teste 1	12	3R	11	3R	3R	3R
A Teste 1	13	4R	12	4R	4R	4R
A Teste 1	14	5R	13	5R	5R	5R
A Teste 1	15	6R	14	6R	6R	6R
A Teste 1	16	7R	15	7R	7R	7R
A Teste 1	17	8R	16	8R	8R	8R
A Teste 1	18	9R	17	9R	9R	9R
A Teste 1	19	1R	18	1R	1R	1R
A Teste 1	20	2R	19	2R	2R	2R
A Teste 1	21	3R	20	3R	3R	3R
A Teste 2	22	4R	21	4R	4R	4R
A Teste 2	23	5R	22	5R	5R	5R
A Teste 2	24	6R	23	6R	6R	6R
A Teste 2	25	7R	24	7R	7R	7R
A Teste 2	26	8R	25	8R	8R	8R
A Teste 2	27	9R	26	9R	9R	9R
A Teste 2	28	1R	27	1R	1R	1R
A Teste 2	29	2R	28	2R	2R	2R
A Teste 2	30	3R	29	3R	3R	3R
A Teste 2	31	4R	30	4R	4R	4R
A Teste 2	32	5R	31	5R	5R	5R
A Teste 2	33	6R	32	6R	6R	6R

Figura 1.10: Tela de prescrições

Depois de geradas as prescrições o modelo pode ser exportado, durante este processo o arquivo pode ser salvo sem extensão, cabendo ao usuário colocar a mesma manualmente. Esta exportação pode ser feita clicando na aba modelo conforme Figura 1.11. Depois de exportado o modelo, o mesmo é resolvido utilizando um otimizador. O resultado do solver é importado para o sistema que compilará e organizará os resultados facilitando o trabalho de interpretação do manejador.

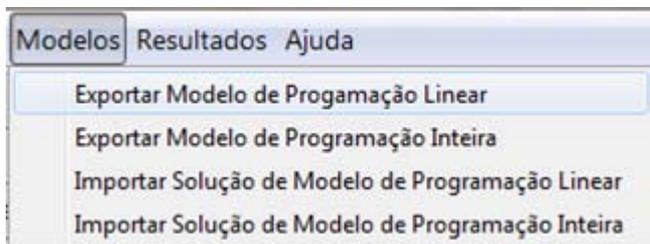


Figura 1.11: Exportando modelos no sistema RPF

Na Figura 1.12 têm-se os resultados importados e já organizados na aba de resultados, observa-se que há várias abas com várias tabelas que podem ser exportadas. A exportação é feita clicando na aba resultados, mas, como dito anteriormente, também há a possibilidade de copiar e colar diretamente em uma planilha eletrônica.

Prescrição	Idade	Rotação	Volume	Custos	Receitas	Financeiro	Resumo	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Idade ...	9.5607...	9.4616...	8.6623...	8.7108...	8.3380...	8.4013...	8.3117...	7.3330...	6.5488...	6.4900...	6.6612...	6.6457...	6.5547...	7.1874...							
Produt...	420.01...	415.25...	396.37...	397.55...	387.33...	389.25...	385.36...	351.70...	313.69...	313.69...	313.69...	313.69...	313.69...	335.98...							
Custo ...	11496...	31399...	30945...	32310...	26608...	23604...	29725...	21584...	27803...	31724...	30251...	36106...	26227...	28444...							
Volume...	14999...	15000...	14999...	14999...	15000...	15000...	15000...	15000...	15000...	14999...	15000...	15000...	15000...	16065...							
Receit...	40355...	59919...	56855...	57041...	46462...	40430...	55026...	39493...	43667...	54606...	52139...	60098...	43066...	52366...							

Figura 1.12: Tela de resultados do programa

Com todo o exposto fica evidente a funcionalidade do sistema RPF e de sua importância como ferramenta para análises de modelos de regulação florestal. Apesar de parecer complexo o programa é bem simples de trabalhar e permite uma gama muito grande de variações de modelos. Segundo Binoti (2011), o sistema ainda possui a vantagem de ser portátil, portanto permite sua utilização em diferentes sistemas operacionais como Linux, Windows e Mac OS.

Conforme consta no sistema do programa e observado na figura abaixo tem-se os desenvolvedores do mesmo juntamente com o e-mail de contato.



Figura 1.13: Desenvolvedores do sistema RPF.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALONSO, L.R.L. **O problema da consideração de restrições de adjacência em um planejamento florestal**. 2003. 114p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2003.

BANHARA, J. R., RODRIGUEZ, L. C. E., SEIXAS, F., MOREIRA, J. M. M. A. P., SILVA, L. M. S. da, COGSWELL, S. R. N. A. Agendamento otimizado da colheita de madeira de eucaliptos sob restrições operacionais, espaciais e climáticas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 85-95, mar. 2010

BARROS JUNIOR, A. A. de, ARROYO, J. E. C, SANTOS, H. N. Grasp com *path relinking* para um problema de planejamento florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 41., 2009, Porto Seguro, BA. **Anais do XLI SBPO**, 2009. v. 1. p. 1953-1964.

BARROS, O.E., WEINTRAUB, A. Planning for vertically integrated forest industry. **Operations Research**, Baltimore, v.30, n.6, p.1168-1182, 1982.

BETTINGER, P., BOSTON, K., SIRY, J.P., GREBNER, D.L. 2009. **Forest Management and Planning**. Academic Press, New York.331p.

BINOTI, D.H.B. **Estratégias de regulação de florestas equiâneas com vista ao manejo de paisagem**. 2010. 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

BINOTI, D.H.B. Qualificação de Doutorado, 2011. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BORGES, J. G. Paradigmas, tecnologias e equívocos em gestão de recursos florestais. **Revista Florestal**, Lisboa, Portugal, v. 12, n. 1, p. 27-34, 1999.

BRUN, F. L. **Influência do valor da madeira de mercado sobre o ordenamento de florestas plantadas para o suprimento parcial de uma indústria de celulose e papel: uma aplicação de programação linear**. 2002. 160p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2002

CAMPOS, J.C.C, LEITE, H.G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 3º Ed. Viçosa: Editora UFV, 2009, 548p

CARNIERI, C. **Planejamento florestal otimizado via redes de manejo**. 1989. 144 p, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1989

CARNIERI, C., GAVINHO, L.G., MAESTRI, R. Um sistema de planejamento florestal. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2, 1992, Curitiba. Anais. Curitiba: **Embrapa**, 1992. V.2, p333-346.

CASTRO, R.R. **Regulação de florestas equiâneas incluindo restrições de adjacência**. 2007. 64 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

DYKSTRA, D.P. **Mathematical programming for natural resource management**. New York: McGraw-Hill, 1984. 318p.

GOMIDE, L.R., ARCE, J.E., SILVA, A. L. Efeito das restrições espaciais de adjacência no planejamento florestal otimizado. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 3, p. 573-584, jul./set. 2010.

JOHNSON, K. N., SCHEURMAN, H. L. Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives - discussion and synthesis. **Forest Science**, Washington, v.18, n.1, p.1-31, 1977.

JOHNSON, K. N., TEDDER, P.L. Linear programming vs. binary search in periodic harvest level calculation. **Forest Science**, Washington, v.29, n.3, p.569-581, 1983.

LEUSCHNER, W.A. **Forest regulation, harvest scheduling, and planning techniques**. New York: John Willey & Sons, 1990. 281p.

LEUSCHNER, W.A. **Introduction to forest resource management**. New York: John Willey & Sons, 1984. 298p.

MELLO, A. A., CARNIERI, C., SANQUETA, C.R., WEBERS, K.S. Planejamento do suprimento de matéria-prima em uma indústria florestal utilizando programação em metas e considerando o estoque de carbono. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 341-350, out./dez. 2008

MIRANDA, G.M. **Regulação de florestas equianuais e implantação e regulação de povoamentos mistos**. 2003, 83p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

MOREIRA, J.M.M.A.P. **A incorporação de corredores de conectividade em problemas de otimização para o planejamento de florestas industriais**. 2008. 123p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Piracicaba, SP, 2008.

NAUTIYAL, J.C., PEARSE, P.H. Optimizing the conversion to sustained yield - A programming solution. **Forest Science**, Washington, v.13, n.2, p.131-139, 1967.

REZENDE, J. L. P. de, OLIVEIRA, A. D. de. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2º Ed. Viçosa: Editora UFV, 2008, 486p.

RIBEIRO, C.A.A.S. **Otimização Florestal**. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Engenharia Florestal, 2007, 93p. (Notas de aula).

RODRIGUES, F.L., **Regulação de florestas equianuais utilizando programação linear**. 1997. 117p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

RODRIGUES, F.L., **Metaheurística e sistema de suporte à decisão no gerenciamento de recursos florestais**. 2001. 255p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

RODRIGUES, F. L., LEITE, H. G., SANTOS, H. N., SOUZA, A. L. Solução de problemas de planejamento florestal com restrições de inteireza utilizando busca tabu. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.5, p.701-713, 2003.

RODRIGUEZ, L.C.E., LIMA, A.B.N.P., BUENO, A.D. et al. Programação Linear no planejamento florestal: uma aplicação prática. **Silvicultura**, São Paulo, v.11, n.41, p.163-168, 1986.

RODRIGUEZ, L.C.E., LIMA, A.B.N.P. A utilização da programação linear na determinação de uma estratégia ótima de reforma de um talhão florestal, **IPEF**, Piracicaba, v.1, n. 31, p.47-53, 1985.

RODRIGUEZ, L.C.E., MOREIRA, R.M. Gerenciamento de florestas de *Eucalyptus* com modelos de programação linear. **IPEF**, Piracicaba, v.6, n.19, p.1-15, 1989. (Série técnica).

SANTOS, B. B. **Procedimentos híbridos na exploração de espaço de soluções de problemas de natureza combinatória: uma aplicação ao planejamento florestal**. 2007. 50p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

SANTOS, F.L.. **Regulação da produção de florestas de eucalipto submetida a desbaste e destinada a multiprodutos**. 2008. 80p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

SILVA, R.T. **Planejamento florestal, modelos de programação inteira multiobjetivos e aplicações**. 2004. 120p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Economia, Coimbra, Portugal, 2004.

SILVA, G.F. da, GHISOLFI, E.M., TEIXEIRA, A.F., CABRINI, A.M., BARROS JUNIOR, A.A. de. O método das restrições na solução de um problema de planejamento florestal multiobjetivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.1, n.1, n.único, p.41-48, 2006

TAUBE NETTO, M. Um modelo de programação linear para planejamento de florestas de eucalipto. **Pesquisa Operacional**, Campinas, v.4, n.1, p.19-39, 1984.

WARE, G.O.; CLUTTER, J.L. A mathematical programming system for the management of industrial forests. **Forest Science**, Washington, v.17, n.3, p.428-445, 1971

CAPÍTULO 2

INFLUÊNCIA DA TAXA DE JUROS E DO PREÇO DA MADEIRA EM UM MODELO DE REGULAÇÃO FLORESTAL

INTRODUÇÃO

O planejamento florestal nas últimas décadas tornou-se um tema complexo e diversificado onde vários fatores além daqueles relacionados à dinâmica da floresta têm assumido papel central, como as políticas governamentais, a opinião pública, as preocupações ambientais, entre outros. À medida que novas preocupações surgiram, sentiu-se a necessidade de modelar os sistemas florestais de forma integrada, incluindo aspectos ambientais, sociais, produtivos e econômicos (SILVA, 2004). Ele é de fundamental importância para o desenvolvimento das atividades florestais, principalmente nos processos e sistemas de tomada de decisão. Segundo Lauschner (1984), esses sistemas são cada vez mais imprescindíveis, embora no Brasil o uso dos mesmos ainda seja incipiente.

Uma das maiores dificuldades encontradas dentro do manejo florestal é a regulação. Uma floresta regulada é aquela em que todas as áreas da floresta estejam uniformemente distribuídas em classes de idade iguais, tendo periodicamente a mesma produção volumétrica, e qualidade técnica, onde o objetivo é assegurar uma produção contínua e a sustentabilidade de diversos produtos e de usos da floresta (RODRIGUES, 1997).

Segundo Rodrigues (1997), a regulação da produção florestal é uma das atividades mais difíceis no planejamento florestal na qual o gerente ou manejador de floresta enfrenta no dia a dia. Além de demandar grande habilidade e experiência, a regulação da produção é extremamente complexa devido ao grande número de variáveis relacionadas ou envolvidas no processo. Essa regulação acontece quando a estrutura se transforma de tal forma que as classes de idade sejam uma progressão, onde a razão é o intervalo entre colheitas, obtendo assim idades variando de um até a idade de regulação. Esta estrutura com garantias de atendimento às restrições de demanda, sociais e ambientais é que irá garantir a sustentabilidade do empreendimento.

As indústrias do setor florestal tem a necessidade de organizar extensas áreas de plantio bem como planeja-las. Estas indústrias trabalham com uma grande quantidade de matéria-prima, que tem seus programas de abastecimentos dependendo fundamentalmente de prognoses. Ao longo do horizonte de planejamento o manejador tem que lidar com variáveis que podem afetar o manejo das florestas. Um desses fatores são as variáveis econômicas que mostram os desembolsos e lucros que as empresas terão ao longo do horizonte estudado, devendo ser, portanto uma preocupação do manejador na utilização de modelos de regulação (BRUN, 2002). O estudo dessas variáveis é importante já que as mesmas influenciam diretamente no valor ótimo dos modelos de programação linear.

Os dois principais modelos utilizados para regulação da produção florestal são conhecidos como modelo I e modelo II (JOHNSON e SCHEURMAN, 1977). Segundo Rodriguez e Moreira (1989), devido à sua maior simplicidade, o modelo tipo I tem sido mais intensamente difundido e utilizado no Brasil.

Vários trabalhos já foram realizados no Brasil utilizando o modelo I, como exemplo pode-se citar os trabalhos TAUBE NETTO (1984), RODRIGUES (1997), CASTRO (2007), MOREIRA (2008) e BINOTI (2010).

O modelo I de programação linear é na maioria das vezes formulado com uma função objetivo que maximiza o valor presente líquido global (VPL), que representa o lucro do projeto. Sendo assim, este trabalho tem por objetivo analisar a influência da taxa de juros e do preço da madeira em alguns modelos de regulação florestal.

MATERIAL E METODOS

Caracterização da área de estudo

O estudo de caso foi conduzido empregando dados de 10 florestas. Sendo os dados de uma das 10 florestas obtidos de uma empresa florestal, já as outras nove florestas foram obtidas a partir da floresta real simulando estruturas iniciais de povoamentos comumente encontrados no setor florestal.

Cada floresta tem uma área total e estrutura distintas, porém todas divididas em 100 unidades de manejo, outros dados pertinentes podem ser observados na Tabela 2.1. A madeira destina-se a manutenção de uma fábrica de celulose. A classe de idade atual de cada floresta está representada na Figura 2.1.

Tabela 2.1: Características das florestas

Florestas	Área Total (ha)	Área Média por talhão (ha)	Distância Média dos talhões a fábrica (Km)
1	3020	30,20	22,72
2	3108	31,08	26,34
3	2989	29,89	27,01
4	3005	30,05	22,97
5	2875	28,75	25,39
6	2899	28,99	26,05
7	2958	29,58	25,04
8	3010	30,10	25,42
9	3219	32,19	24,38
10	2848	28,48	25,70

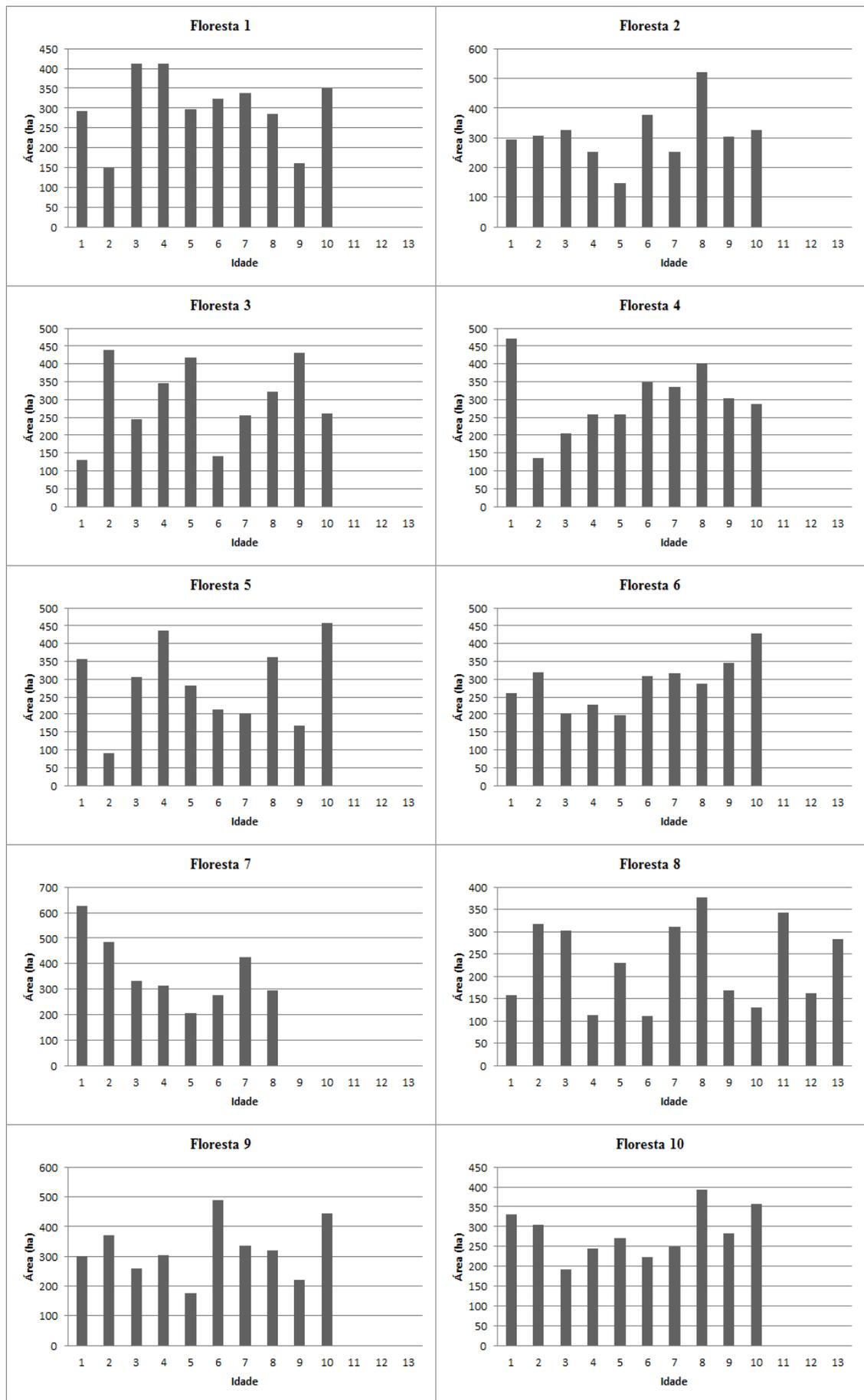


Figura 2.1: Distribuição inicial das classes de idade das 10 florestas analisadas.

Formulação do problema:

O modelo de programação linear foi formulado empregando a teoria do Modelo I conforme descrito por Johnson e Scheurman (1977). A sua solução foi obtida empregando o software RPF (BINOTI et al, 2011), que será utilizado também para simular cenários de manejo e planejamento. As configurações do computador utilizado para a resolução dos problemas foram: Sistema operacional Windows 7 Ultimate 32 bits; processador intel core i3 2,27 GHz 3 Mb cache, memória RAM 3Gb.

Função Objetivo -1: Maximização do VPL

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N VPL_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

$$VPL_{ij} = \sum_{k=1}^{H-1} R_k (1+r)^{-k} - C_k (1+r)^{-k} \quad (2)$$

Função Objetivo - 2: Maximização da produção

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} X_{ij} \quad (3)$$

Ambas sujeitas a:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij} \leq A_i \quad (i=1,2,\dots,M) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij(k+1)} X_{ij} \geq D \min_k \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij(k+1)} X_{ij} \leq D \max_k$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijt} > \frac{S}{NC} - \left(\frac{S}{NC} * 0,05 \right) \quad (t=1,2,\dots,NC) \quad (6)$$

Em que:

VPL_{ij} = valor presente líquido do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j , calculado ao longo do horizonte de planejamento, mais o valor presente do estoque final; X_{ij} = área da unidade de manejo i assinalada a prescrição j ; P_{ij} = Produção de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j ; M = Número de unidades de manejo; N = Número de prescrições j aplicada a cada unidade de manejo i ; R_k = Receita total no período k ; C_k = Custo total no período k ; r = Taxa de juros por

período; H = Tamanho do horizonte de planejamento; A_i = área da unidade de manejo i ; V_{ijk} = Volume produzido pela unidade de manejo i sobre a prescrição j no período k ; $D \min_k$ = demanda mínima no ano k ; $D \max_k$ = demanda máxima no período k ; X_{ijk} = área da i -ésima parcela manejada sobre a j -ésima prescrição, onde as árvores terão t períodos no período final do horizonte de planejamento; S = área total do povoamento; NC = número de classes de idade;

Este modelo foi rodado com três taxas de juros diferentes e três preços de madeira diferente, tendo, portanto nove combinações para cada floresta, como ao todo se tem 10 florestas serão rodados 90 modelos diferentes de maximização do VPL. As taxas de juros utilizadas foram 8% 10% e 12% e o preços de 64, 80 e 96 R\$/m³ (reais por metro cúbico). A comparação foi realizada para analisar se a maximização pelo VPL é igual à maximização pela produção, a fim de verificar as influências das variáveis econômicas.

O horizonte de planejamento deve ser escolhido com base em vários fatores como, por exemplo, o objetivo do projeto, sendo que horizontes muito grandes possibilitam maiores erros de análise já que várias mudanças podem ocorrer durante o período como: mudanças econômicas, alteração de custos, etc. Por outro lado, horizontes curtos podem não levar em consideração acontecimentos importantes que podem ocorrer após o período adotado (REZENDE e OLIVEIRA, 2008). No presente trabalho foi escolhido um horizonte de planejamento de 14 anos, a fim de se avaliar de duas a três rotações, sendo, portanto compatíveis com as opções de corte. As idades de corte utilizadas foram 4, 5, 6, 7, 8 anos, que representam as idades de máximo incremento médio anual (IMA) das plantações de eucalipto das empresas de celulose brasileiras.

A idade de regulação utilizada foi de 6 anos. A máxima produção permitida foi de 200.000 m³ de madeira e a produção mínima de 150.000 m³, sendo estes valores compatíveis com a curva de produção e com a idade regulatória de 6 anos. Como o objetivo é analisar a influência das variáveis econômicas se considerará apenas reforma imediata após o corte.

Estimativas de produção e custos:

As estimativas de produção futura, bem como os custos do projeto florestal e de colheita foram obtidas a partir do trabalho de Binoti (2010).

Para estas florestas foram considerados o plantio de apenas um clone híbrido (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*). A função logística utilizada para se calcular a produção futura encontra-se na equação 4. Já os custos podem ser observados na Tabela 2.2 e equação 5. O custo de colheita utilizado foi de R\$ 20,00 /m³, sendo o custo de transporte de 0,5 R\$/km/m³.

$$Volume(m^3 \cdot ha^{-1}) = \frac{485,68}{1 + 7,4275 e^{-0,4062 Idade(anos)}}$$

(4)

Tabela 2.2: Custos empregados para a avaliação econômica dos modelos de regulação florestal

Ano	Atividade	Rendimento (Un/ha)	Unidade	Custo Unitário	Aplicação (%)	Total (R\$/ha)
1º ano	Adubação Manual (Calcário)	20,00	hh	14,74	100%	294,58
1º ano	Adubação NPK 06-10-29	13,00	hh	14,34	100%	186,47
1º ano	Adubação NPK 06-30-06	10,00	hh	12,40	100%	123,95
1º ano	Ajudante Florestal	20,00	hh	11,39	100%	227,74
1º ano	Alinhamento/Marcação	10,00	hh	11,39	100%	113,87
1º ano	Capina Química Manual Total	11,00	hh	14,51	80%	127,68
1º ano	Capina Química Mecânica Total	0,95	hh	88,26	20%	16,77
1º ano	Combate à Formiga Sistemático	3,50	hh	11,93	100%	41,75
1º ano	Combate à Formiga Convencional	8,00	hh	11,93	110%	104,97
1º ano	Coveamento Motorizado	17,00	hh	22,99	80%	312,63
1º ano	Irrigação Caminhão Pipa	16,00	hh	18,57	100%	297,18
1º ano	Limpeza Manual	80,00	hh	11,39	30%	273,29
1º ano	Operador de Motosserra	2,00	hh	27,69	100%	55,38
1º ano	Planificação	5,00	hh	80,00	0%	-----
1º ano	Plantio com gel	17,00	hh	16,71	100%	284,00
1º ano	Replanteio com gel	7,00	hh	16,71	100%	116,94
1º ano	Roçada Manual	30,00	hh	11,39	70%	239,13
1º ano	Subsolagem/Fosfatagem	1,50	hh	135,70	20%	40,71
1º ano	Calcário	1,50	t	59,94	100%	89,91
1º ano	Cupinicida	0,03	Kg	845,13	100%	27,89
1º ano	Formicida	8,00	Kg	4,27	110%	37,58
1º ano	Frete Mudanças/Insumo	1,00	ha	132,00	100%	132,00
1º ano	Gel	3,00	Kg	6,69	100%	20,07
1º ano	Herbicida	6,00	I	9,53	100%	57,18
1º ano	Map	0,33	Kg	1,35	100%	0,45
1º ano	Mudas	1,20	Mil	231,40	100%	277,71
1º ano	NPK 06-10-29	0,40	t	949,95	100%	379,98
1º ano	NPK 06-30-06	12,00	t	939,71	100%	113,57
1º ano	Topografia	1,00	ha	65,67	100%	65,67
TOTAL ANO 1						4059,05
2º ano	Adubação NPK 06-10-29	13,00	hh	14,34	100%	186,47
2º ano	Ajudante Florestal	10,00	hh	11,14	100%	111,40
2º ano	Capina Química Manual Total	15,00	hh	14,51	100%	217,64
2º ano	Combate à Formiga Convencional	6,00	hh	11,93	110%	78,73
2º ano	Construção Manual de Aceiros	200,00	hh	11,39	10%	227,74
2º ano	Coroamento	16,00	hh	11,39	100%	182,19
2º ano	Roçada Manual - Pós-plantio	16,00	hh	11,39	100%	182,19
2º ano	Formicida	7,00	Kg	4,27	110%	32,88
2º ano	Herbicida	3,00	I	9,53	100%	28,59
2º ano	NPK 06-10-29	0,40	t	949,95	100%	379,98
TOTAL ANO 2						1627,05
3º ano	Capina Química Manual Total	13,00	hh	14,51	100%	188,62
3º ano	Combate à Formiga Convencional	6,00	hh	11,93	110%	78,73
3º ano	Manutenção Manual de Aceiro	200,00	hh	11,39	10%	227,74
3º ano	Roçada Manual	16,00	hh	11,39	100%	182,19
3º ano	Formicida	5,00	Kg	4,27	110%	23,49
3º ano	Herbicida	6,00	Kg	9,53	100%	57,18
TOTAL ANO 3						757,95
4º ao 14º ano	Capina Química Manual Total	6,00	hh	11,93	110%	78,73
4º ao 14º ano	Formicida	2,00	Kg	4,27	110%	9,39
TOTAL ANO 4 AO 14						88,12

Fonte: Binoti (2010)

RESULTADOS

Os modelos testados apresentaram soluções viáveis para todos os cenários avaliados sendo que se implementou alterações nos modelos de regulação apenas nas florestas 7 e 8, já que as mesmas não apresentaram solução viável. A floresta 7 sendo muito jovem não conseguiu suprir a demanda mínima de madeira para alguns anos, sendo que a estratégia utilizada para regulação foi diminuir a demanda de madeira do ano 4 para 100.000 m³. Outra possibilidade seria aumentar o número de alternativas para cada unidade de manejo. Já a floresta 8 é mais velha, portanto a demanda de madeira nos anos iniciais extrapolava a demanda máxima, neste caso permitiu-se que as idades de corte variassem de 5 a 10 anos, sendo que assim conseguiu-se regular a florestas com um prazo de 14 anos.

Um dos principais parâmetros de qualidade da madeira definidos como importantes na fabricação de celulose é a densidade básica. A densidade básica da madeira influencia nos custos da madeira produzida, no rendimento do processo industrial e na qualidade das polpas e dos papéis. Com uma maior densidade básica tem-se um menor manuseio de volume de toras e cavacos, sendo assim a capacidade do digestor que é limitada em volume, passa a receber mais massa, o que pode ser aumentada até a saturação da caldeira de recuperação. Por outro lado esse aumento tem como consequência maior dificuldade de picagem das toras, obtendo cavacos maiores que dificulta a impregnação dos mesmos levando a uma menor produção de polpa depurada, com um maior teor de rejeitos na polpação (REMADE, 2001).

Segundo Gomide et al (2005) quando se tem densidades mais altas as cargas de álcali requeridas são elevadas para obtenção do kappa objetivo. Porém os autores citam também que densidades muito baixas tem um consumo mais elevado o que seria uma desvantagem para as empresas que possuem fornecimento limitado de matéria-prima.

Sendo assim nota-se que apesar da floresta 8 ser regulada, sua madeira produzida talvez não seja a mais indicada para a produção de celulose, devido principalmente a idade, que reflete diretamente no diâmetro e densidade. Segundo Machado e Lopes (2008), árvores muito grandes também podem aumentar o custo da colheita, já que se reduz o rendimento operacional das máquinas e aumenta-se o consumo de combustíveis das mesmas. Também pode ocorrer incompatibilidade do tamanho e diâmetro das árvores com a capacidade das máquinas.

No caso da floresta 7 ocorre a necessidade de compra de madeira para o ano 4 em um total de 50.000 m³. Considerando o preço da madeira no valor de 80 R\$/m³ isso acarretaria para empresa em um custo de 4 milhões de reais, porém esse valor pode ser melhor planejado e distribuído ao longo do ano o que acarretaria em um dispêndio mensal de R\$333.333,34.

Por outro lado a empresa também poderia comprar terras e plantar para colheita aos quatro anos, neste caso para suprir a demanda dos 50.000 m³ a mesma teria que plantar um total de 253,55 hectares considerando a curva de produção da floresta atual que aos 4 anos tem uma produção de 197,2021 m³/ha. Neste caso além da empresa ter que comprar ou alugar a terra e arcar com os custos de plantio e colheita, a mesma teria que planejar toda a logística de produção. Também se deve levar em consideração o tempo hábil para as atividades silviculturais como o preparo do solo e o plantio, que podem inviabilizar a decisão por compra ou aluguel de terra. Em todo caso para decidir sobre a compra de madeira ou a compra de terra para plantio seria necessário uma análise de projeto e escolher o mais viável economicamente.

Em relação aos modelos analisados observa-se pela Figura 2.2 que a medida que se aumenta a taxa de juros o VPL global diminui, esta diminuição não teve grande diferença quando se compara as diferentes florestas. Também se observa que o preço da madeira tem uma representatividade maior na variação do VPL quando comparado à taxa de juros. Este resultado já era esperado visto que os custos representados pelo aumento da taxa de juros são bem menores proporcionalmente que a receita gerada pelo preço da madeira.

Todas essas variações podem ser observadas na Tabela 2.3, observa-se que as maiores variações devido ao preço da madeira foram de aproximadamente 73,5% para a taxa de 8%; 80,5% para a taxa de 10%; e de 90,5% para a taxa de 12%. Já as variações devido a taxa de juros foram em média de 75% para um preço da madeira de 64 R\$/m³; 40% para o preço de 80 R\$/m³; e de 30% para o preço de 96 R\$/m³.

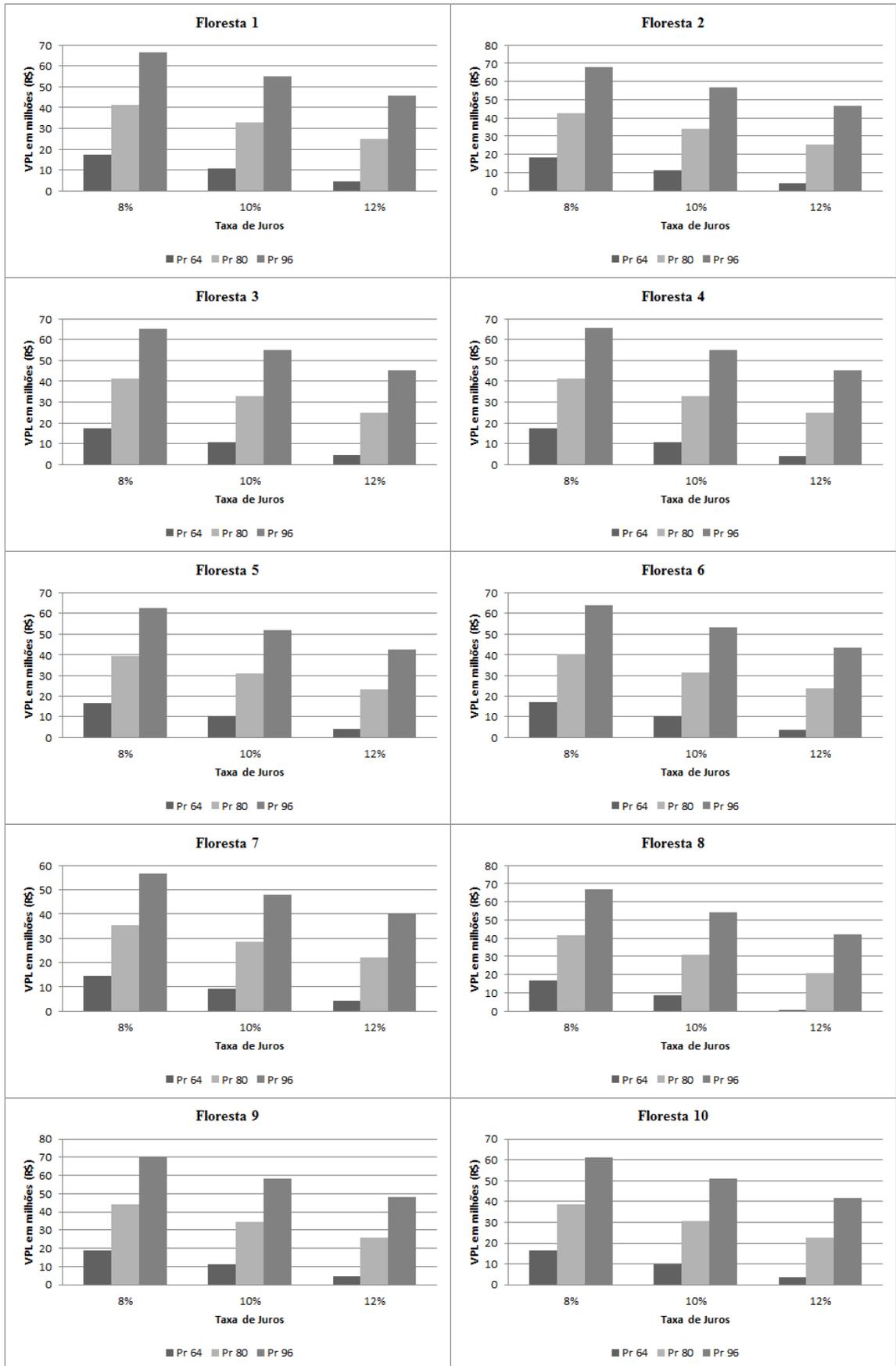


Figura 2.2: Variação do Valor Presente Líquido global (VPL) nas 10 florestas analisadas para cada uma das diferentes modelagens, sendo “Pr” o preço da madeira

Tabela 2.3: Variação do VPL em milhões quando se reduz o preço da madeira de 96 (R\$/m³) para 64 (R\$/m³) considerando cada taxa de juros (A); e quando se aumenta a taxa de juros de 8% para 12% considerando cada preço da madeira (B)

Florestas	(A) - Taxa de Juros (%)			(B) - Preço da Madeira (R\$/m ³)		
	8	10	12	64	80	96
1	49,0	44,3	41,0	12,7	16,2	20,7
2	49,8	45,9	42,4	13,7	17,3	21,1
3	48,0	44,2	40,9	13,0	16,4	20,1
4	48,1	44,3	41,1	13,1	16,6	20,1
5	45,9	42,0	38,8	12,6	16,1	19,7
6	47,0	43,2	39,9	13,2	16,6	20,3
7	42,3	38,7	35,9	10,1	13,3	16,5
8	50,1	45,5	41,6	16,0	20,6	24,5
9	51,2	47,0	43,4	14,0	18,0	21,8
10	45,1	41,2	37,9	12,5	16,1	19,7

Já quando observamos a área média de corte anual nota-se que a medida que se aumenta a taxa de juros e o preço da madeira, a regulação pela maximização do VPL se aproxima da regulação pela maximização da produção, conforme observado na Figura 2.3. Porém nota-se que o preço da madeira influencia mais que a taxa de juros. Este fato é explicado já que quando se aumenta a taxa de juros está aumentando o custo do projeto, sendo assim ocorre um aumento da área de corte anual que geraria uma receita maior compensando o custo de oportunidade. Já o preço da madeira é diretamente proporcional a receita do projeto, desta maneira o aumento do preço da madeira contribuirá para o aumento da área de corte, já que nestas condições aumentando a área de corte se aumenta o lucro. Cabe ressaltar que quando se maximiza a produção se tem a máxima produção possível para a floresta respeitando-se as restrições do modelo.

Porém observa-se que as florestas 5, 6 e 10 praticamente não tiveram variação em suas áreas de corte média. Sendo que o preço da madeira e a taxa de juros não influenciaram na busca da solução ótima. Isto possivelmente ocorreu em função das restrições que impedem a influência das variáveis testadas. Ou seja, as restrições de demanda, de área e de regulação não permitem variações das áreas de cortes anuais, ou essas variações são muito pequenas não causando influência na solução ótima. Essas florestas apresentam uma estrutura inicial que juntamente com as restrições acarreta em apenas uma solução ótima.

Na Figura 2.4 observa-se a produção média anual. Nesta observa-se que não houve influência da taxa de juros e do preço da madeira. A única exceção foi a floresta 8 que apresentava uma estrutura inicial mais velha. Neste caso observa-se que

independentemente da modelagem a produção não varia muito ao longo do horizonte de planejamento, pois as áreas mais velhas tendem a ser cortadas primeiro.

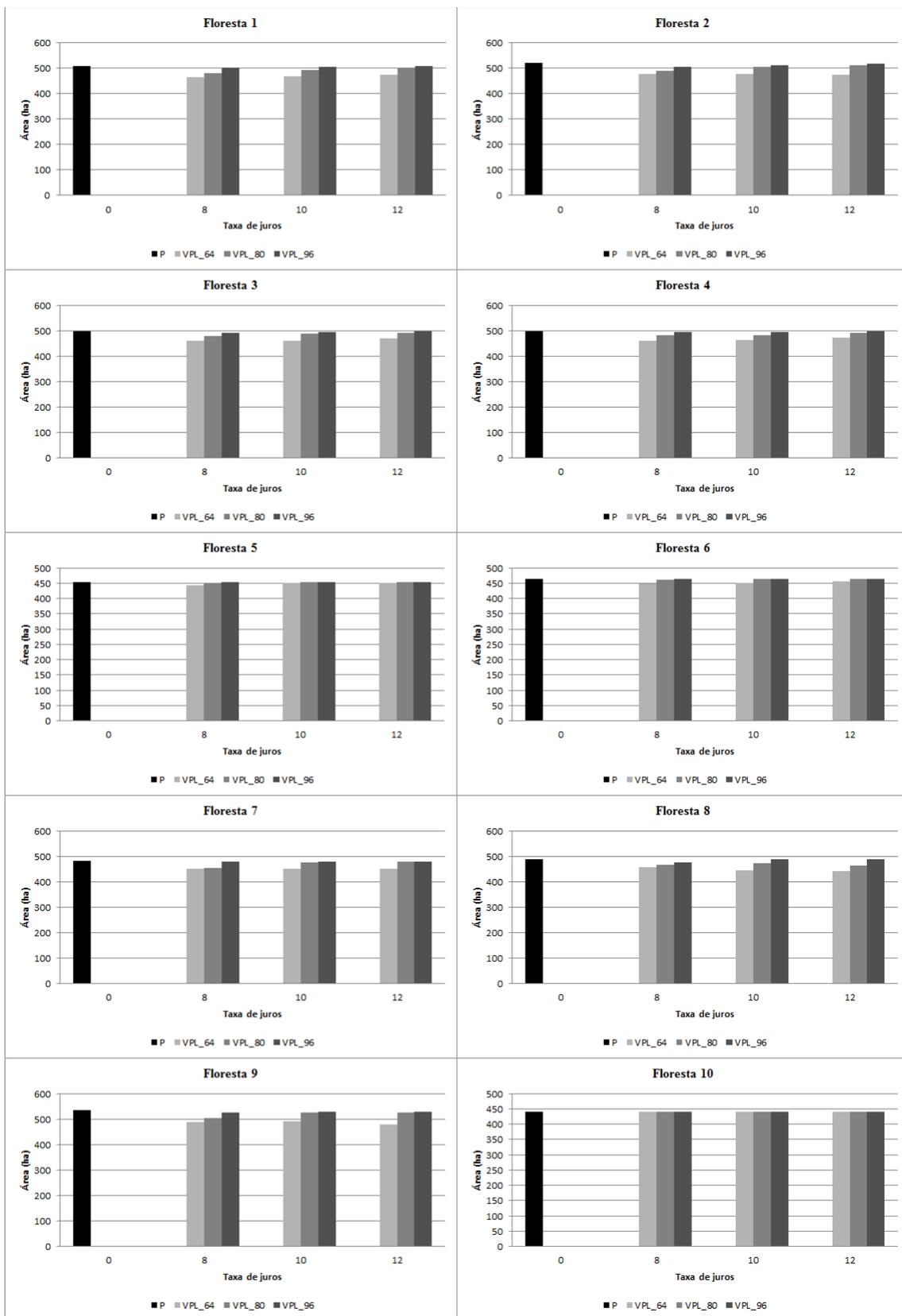


Figura 2.3: Área de corte média anual para as 10 florestas analisadas

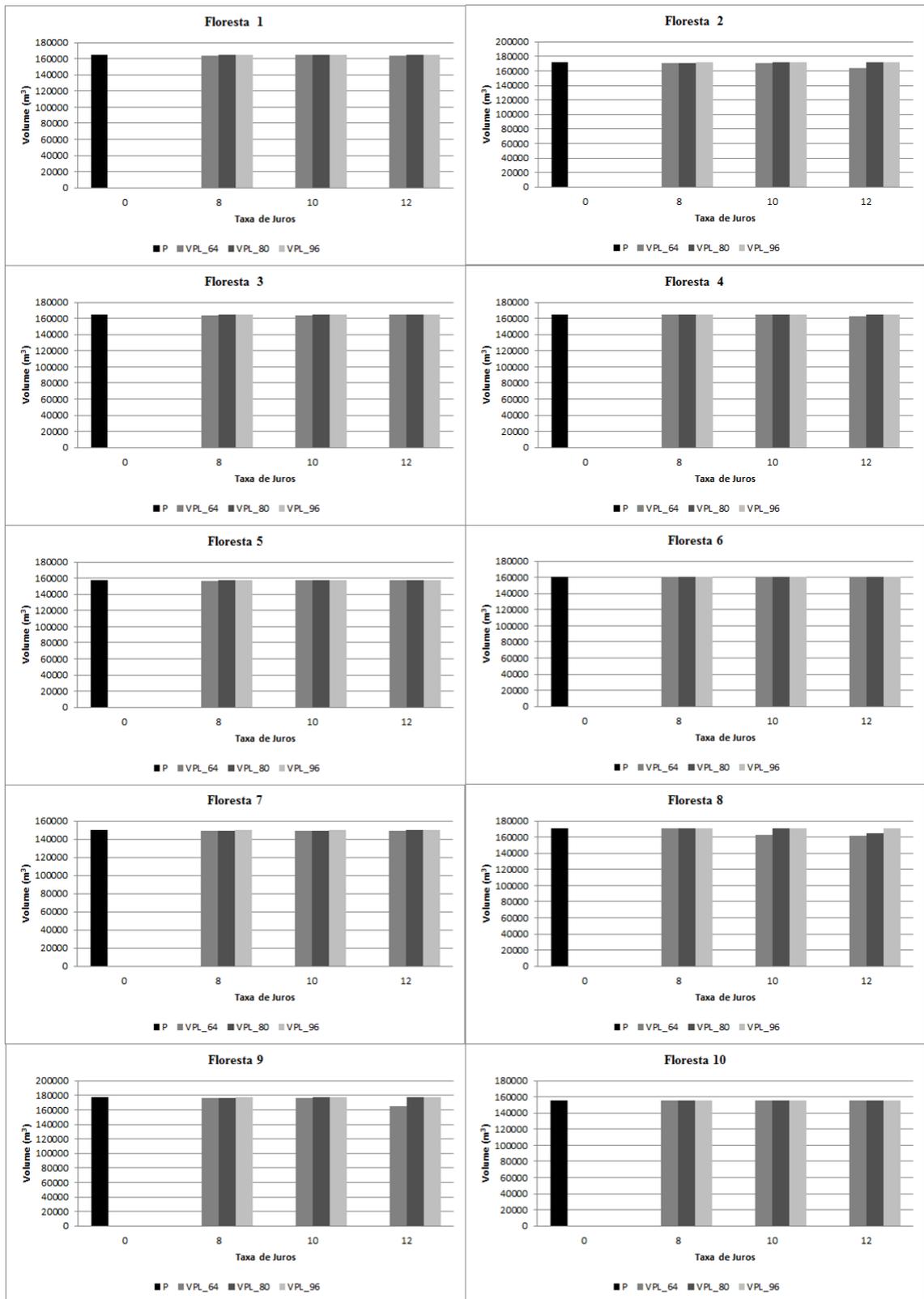


Figura 2.4: Produção média anual de madeira para as 10 florestas analisadas

A produtividade média e a idade média de corte foram influenciadas apenas pelo preço da madeira, Figura 2.5 e 2.6. Quanto menor o preço da madeira maior a idade média de corte e menor a produtividade média. Esta maior produtividade pode ter efeitos negativos do ponto de vista técnico, pois se atrasa o corte, podendo este ocorrer quando o incremento corrente anual (ICA) for negativo. Quanto à idade o mesmo é observado, quando se diminui o preço da madeira se atrasa a idade de corte, aumentando assim a idade média de corte.

Quando se compara o método de maximização do VPL com a maximização da produção nota-se que à medida que se aumenta o preço da madeira e a taxa de juros a modelagem pela maximização do VPL tende a ser bem parecida com o método de maximização da produção, sendo que para alguns casos a modelagem foi igual.

Para as florestas 5, 6 e 10, a modelagem foi praticamente a mesma para todos os 10 modelos testados, isso possivelmente devido a suas distribuições iniciais juntamente com as restrições que não permitiram variações.

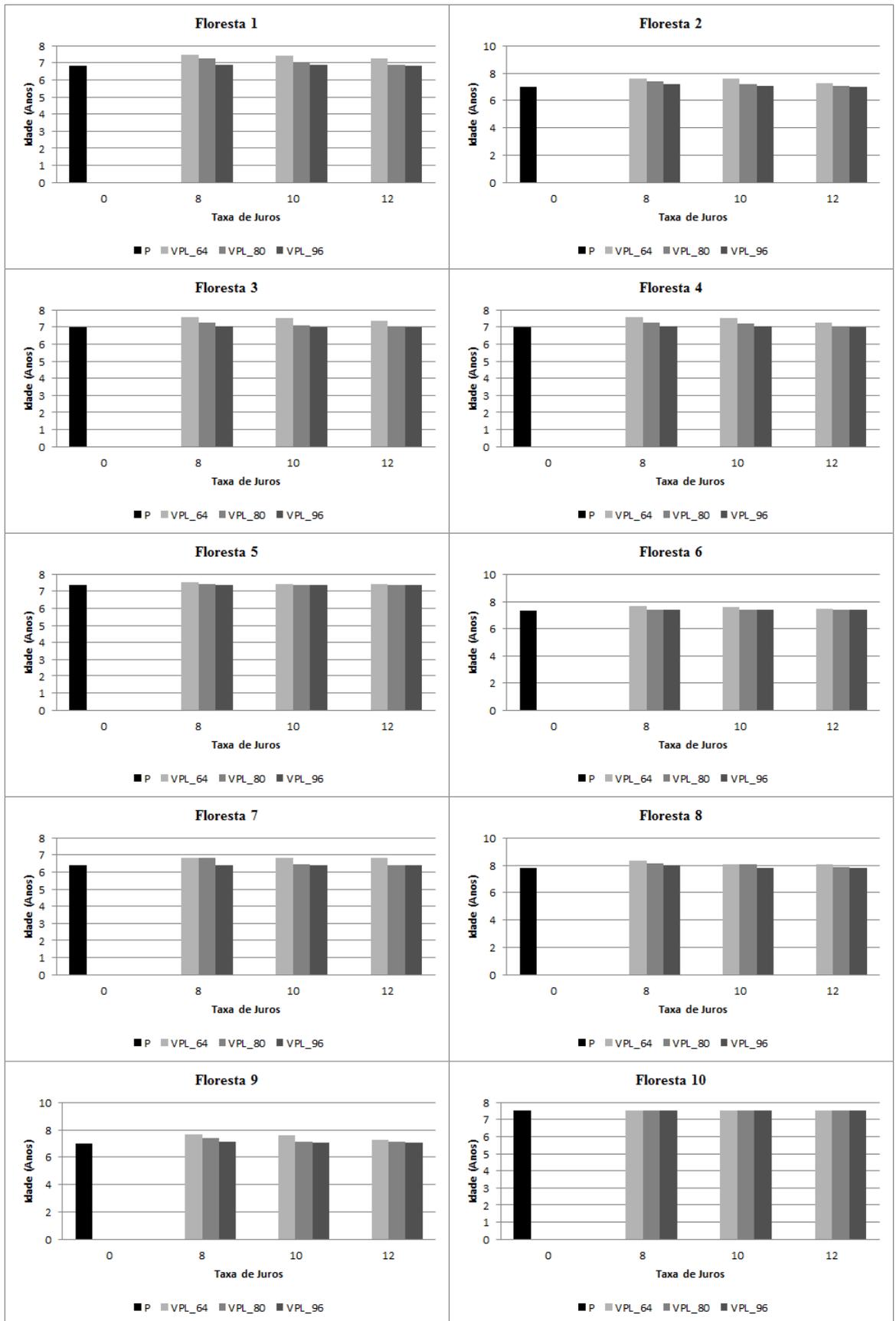


Figura 2.5: Idade média de corte para as 10 florestas analisadas

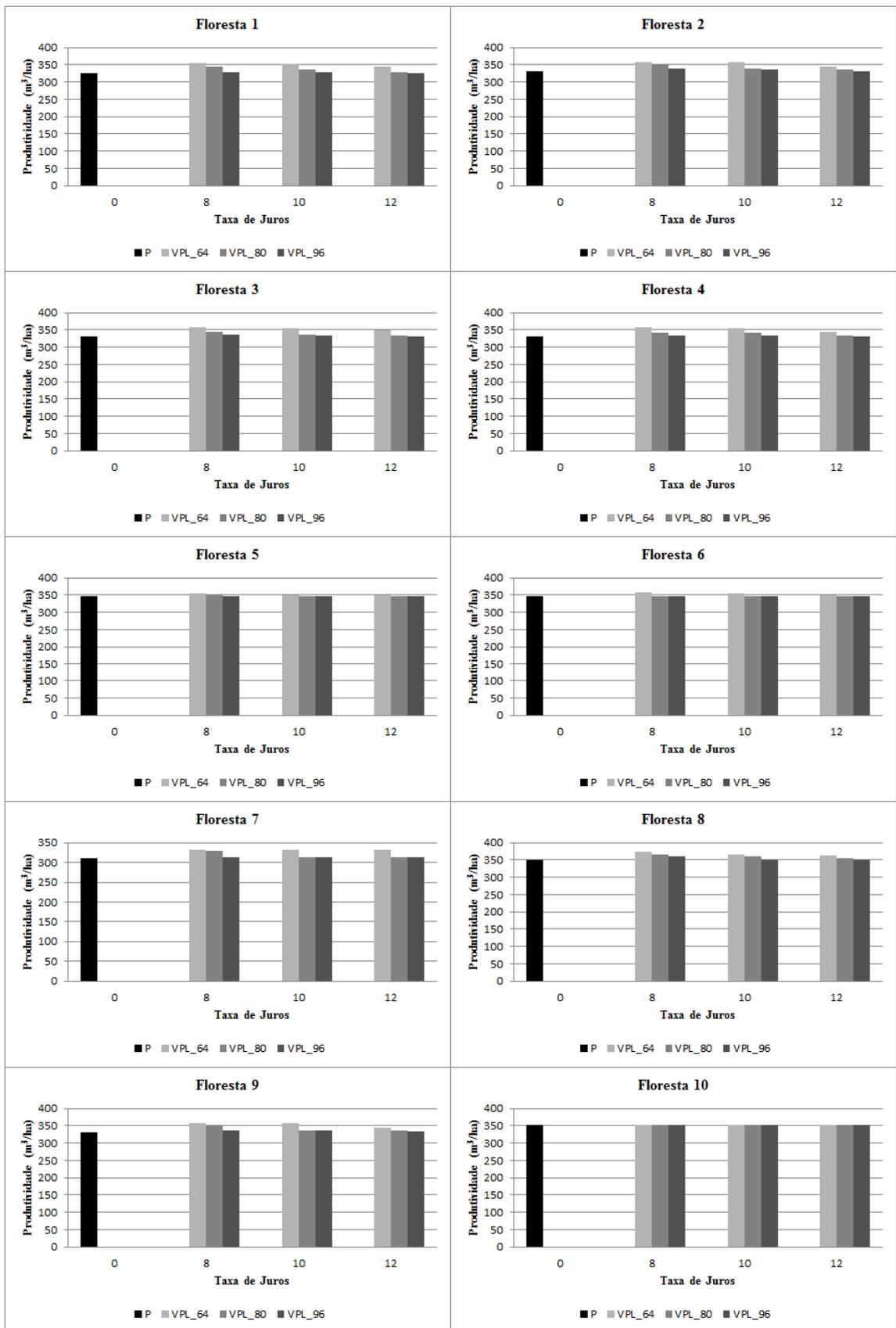


Figura 2.6: Produtividade média das 10 florestas analisadas

CONCLUSÕES

Todas as florestas foram reguladas independentes do método utilizado

Quando maior for o preço da madeira, maior a área de corte anual, e menor a idade média de corte.

A produção média anual não teve nenhuma alteração independente da taxa de juros, do preço da madeira, ou do método utilizado.

Quanto maior a taxa de juros e maior o preço da madeira a regulação pela maximização do VPL tende a ser igual maximização pela produção.

O VPL global foi mais influenciado pelo preço da madeira quando comparado com a taxa de juros.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:

- BINOTI, D.H.B. **Estratégias de regulação de florestas equiâneas com vista ao manejo de paisagem**. 2010. 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- BINOTI, D.H.B, BINOTI, M.L.M. da S. LEITE, H.G. **RPF (Regulação da Produção Florestal)**. Software, versão 0,15, Viçosa-MG, 2011.
- BRUN, F. L. **Influência do valor da madeira de mercado sobre o ordenamento de florestas plantadas para o suprimento parcial de uma indústria de celulose e papel: uma aplicação de programação linear**. 2002. 160p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2002..
- CASTRO, R.R. **Regulação de florestas equiâneas incluindo restrições de adjacência**. 2007. 64 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.
- DYKSTRA, D.P. **Mathematical programming for natural resource management**. New York: McGraw-Hill, 1984. 318p.
- GOMIDE, J.L., COLODETTE, J.L., OLIVEIRA, R.C., SILVA, C.M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n.1, p.129-137, 2005
- JOHNSON, K. N., SCHEURMAN, H. L. Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives - discussion and synthesis. **Forest Science**, Washington, v.18, n.1, p.1-31, 1977.
- LEUSCHNER, W.A. **Introduction to forest resource management**. New York: John Willey & Sons, 1984. 298p.
- MACHADO, C.C.; LOPES, E.S. **Colheita florestal**. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. p.501
- MOREIRA, J.M.M.A.P. **A incorporação de corredores de conectividade em problemas de otimização para o planejamento de florestas industriais**. 2008. 123p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Piracicaba, SP, 2008.
- REMADE. Importância do Eucalipto para a Indústria de Celulose no Brasil. **Revista da madeira**, ed. 59, 2001. Disponível em: <www.remade.com.br>. Acesso em: 01/02/2012.
- REZENDE, J. L. P. de, OLIVEIRA, A. D. de. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2º Ed. Viçosa: Editora UFV, 2008, 486p.
- RODRIGUES, F.L., **Regulação de florestas equiâneas utilizando programação linear**. 1997. 117p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997. RODRIGUEZ, L.C.E., MOREIRA, R.M. Gerenciamento de florestas de *Eucalyptus* com modelos de programação linear. **IPEF**, Piracicaba, v.6, n.19, p.1-15, 1989. (Série técnica)

SILVA, R.T. **Planejamento florestal, modelos de programação inteira multiobjectivos e aplicações.** 2004. 120p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Economia, Coimbra, Portugal, 2004.

TAUBE NETTO, M. Um modelo de programação linear para planejamento de florestas de eucalipto. **Pesquisa Operacional**, Campinas, v.4, n.1, p.19-39, 1984.

CAPÍTULO 3

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES FUNÇÕES OBJETIVO EM MODELOS DE REGULAÇÃO FLORESTAL

INTRODUÇÃO

A sobrevivência das empresas depende da qualidade das informações disponíveis e da capacidade de gestão de reagir às mudanças. Atualmente existem mais restrições sociais, legais e ambientais, sendo que se têm três aspectos evidentes no futuro: as mudanças continuarão em ritmos cada vez mais rápidos; demandando melhorias em suas gestões e necessitando de informações cada vez melhores e mais exatas (ALVES, 2006).

Visto que o manejo florestal é a base organizacional de toda a cadeia produtiva das empresas florestais, tem-se que o planejamento florestal é estratégico e fundamental para a sobrevivência das empresas do setor. Nesse sentido nota-se a importância de se ter um manejo florestal adequado, e a importância das técnicas dos sistemas de tomada de decisão no planejamento florestal.

Na organização de extensos povoamentos florestais onde se visa suprimentos futuros constantes e sustentáveis, vê-se a grande necessidade de metodologias de otimização de recursos, visto que custos de produção, de colheita e de transporte da matéria-prima representam custos significativos do produto final, além da grande necessidade de se assegurar uma produção ao longo dos anos (BRUN, 2002).

No manejo de recursos naturais tem-se como ferramenta a pesquisa operacional (PO), que ao longo dos anos se mostrou eficiente para tratar problemas onde se tem recursos escassos. Dentro das pesquisas operacionais se destacam vários métodos para a administração desses recursos. No caso da regulação florestal uma das ferramentas mais utilizadas é a programação linear, que utiliza do algoritmo simplex para chegar à otimização dos recursos florestais.

A programação linear é considerada uma das ferramentas básicas da pesquisa operacional, esta programação é baseada em uma função linear de variáveis, chamada função objetivo. Sendo esta função objetivo sujeita a várias equações ou inequações, sendo estas chamadas de restrições (LISBOA, 2002).

Normalmente na resolução dos problemas de regulação florestal se utiliza dois modelos de programação linear o modelo I e o modelo II. As variáveis de decisão do modelo I são unidades de área em uma unidade de manejo, onde esta unidade de manejo é constante ao longo de todo horizonte de planejamento, já o modelo II as variáveis de decisão são unidades de área em uma classe de manejo ou em uma classe de idade, onde as unidades de manejo podem ser reagrupadas (JONHSON e SCHEURMANN, 1977).

Nos modelos tipo I temos que as restrições mais utilizadas são as restrições de área que garantem que a soma das áreas de cada prescrição não sejam maiores que as áreas de cada unidade de manejo. As restrições de demanda que garantem a demanda anual de madeira controlando sua variação. E as restrições de regulação que garantem que ao final do horizonte de planejamento a floresta esteja regulada ou próxima da regulação. Hoje em dia já tem modelos mais complexos e completos com restrições que tentam atender as demandas sociais e ambientais.

No modelo I a principal função objetivo utilizada é a de maximização do valor presente líquido (VPL). Porém nos planos de manejo florestal onde se tem um horizonte de planejamento longo o valor obtido do VPL é muitas vezes de difícil entendimento, visto que esse representa o montante total de vários anos do empreendimento. A utilização de funções objetivo diferentes podem ser mais interessantes de serem utilizadas em determinadas situações, como por exemplo, quando as empresas não vendem a madeira sendo estas utilizadas para consumo próprio. Neste caso o mais interessante em um problema de programação linear (PPL) seria a minimização dos custos.

Visto o exposto anterior este trabalho tem por objetivo mostrar a influência de diferentes funções objetivo e suas implicações no plano de manejo.

MATERIAL E METODOS

Caracterização da área de estudo

O estudo de caso foi conduzido empregando dados de 10 florestas. Sendo os dados de uma das 10 florestas obtidos de uma empresa florestal, já as outras nove florestas foram obtidas a partir da floresta real simulando estruturas iniciais de povoamentos comumente encontrados no setor florestal.

Cada floresta tem uma área total e estrutura distintas, porém todas divididas em 100 unidades de manejo, outros dados pertinentes podem ser observados na Tabela 3.1. A madeira destina-se a manutenção de uma fábrica de celulose. A classe de idade atual de cada floresta está representada na Figura 3.1.

Tabela 3.1: Características das florestas

Florestas	Área Total (ha)	Área Média por talhão (ha)	Distância Média dos talhões a fábrica (Km)
1	3020	30,20	22,72
2	3108	31,08	26,34
3	2989	29,89	27,01
4	3005	30,05	22,97
5	2875	28,75	25,39
6	2899	28,99	26,05
7	2958	29,58	25,04
8	3010	30,10	25,42
9	3219	32,19	24,38
10	2848	28,48	25,70

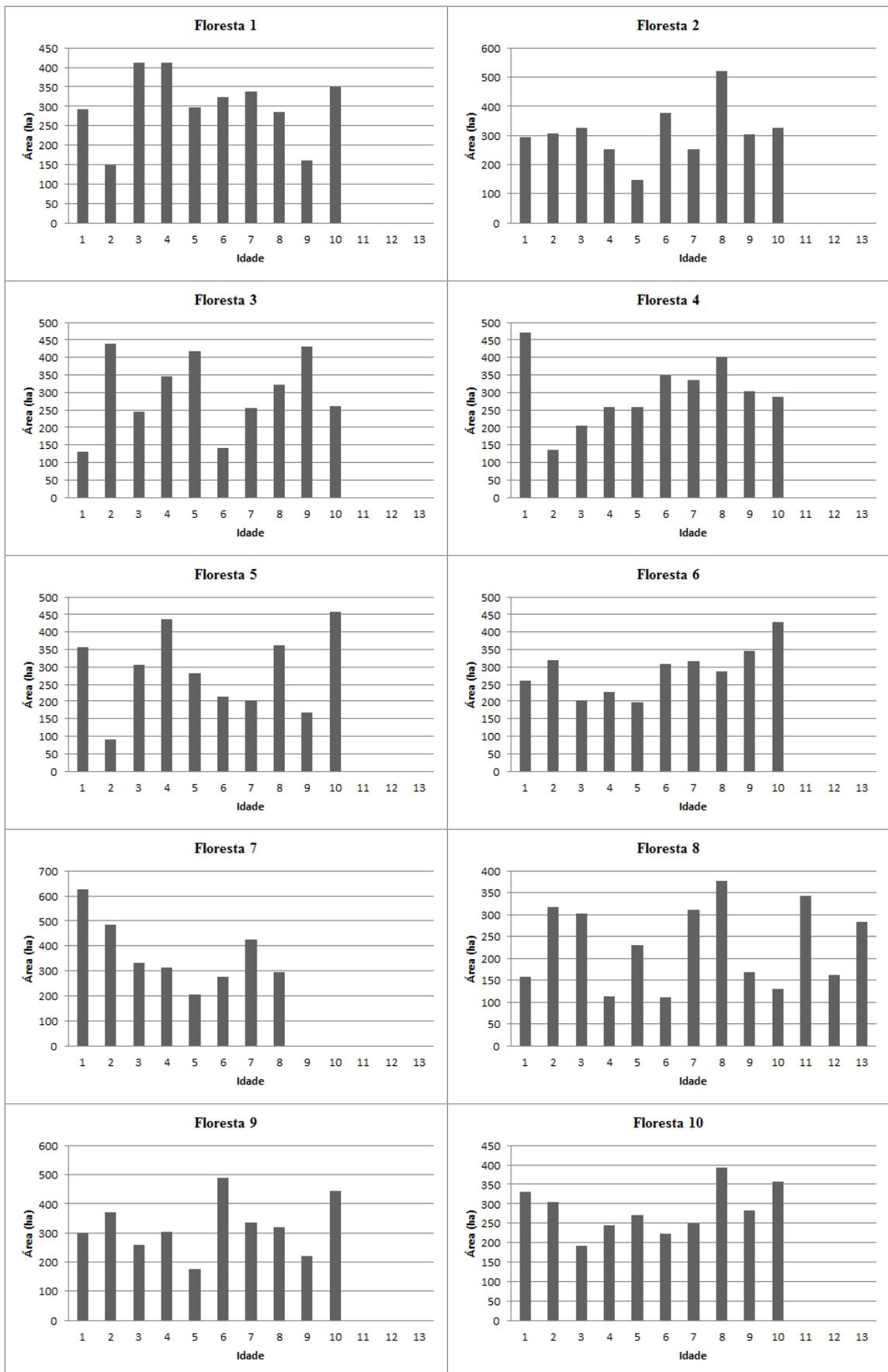


Figura 3.1: Distribuição inicial das classes de idade das 10 florestas analisadas

Formulação do problema:

O modelo de programação linear foi formulado empregando a teoria do Modelo I conforme descrito por Johnson e Scheurman (1977). A sua solução foi obtida empregando o software RPF (BINOTI et al, 2011), que será utilizado também para simular cenários de manejo e planejamento. As configurações do computador utilizado para a resolução dos problemas foram: Sistema operacional Windows 7 Ultimate 32 bits; processador intel core i3 2,27 GHz 3 Mb cache, memória RAM 3Gb.

Função Objetivo - 1: Maximização da Produção

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Função Objetivo - 2: Maximização do VPL

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N VPL_{ij} X_{ij} \quad (2)$$

$$VPL_{ij} = \sum_{k=1}^{H-1} R_k (1+r)^{-k} - C_k (1+r)^{-k} \quad (3)$$

Função objetivo - 3: Minimização do Custo

$$MinZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij} \quad (4)$$

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^{H-1} C_k (1+r)^{-k} \quad (5)$$

Função Objetivo - 4: Minimização do Custo Médio de Produção

$$MinZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N CMP_{ij} X_{ij} \quad (6)$$

$$CMP_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{H-1} C_k (1+r)^{-k}}{\sum_{k=1}^{H-1} P_k (1+r)^{-k}} \quad (7)$$

Todas sujeitas a:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij} \leq A_i \quad (i=1,2,\dots,M) \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij(k+1)} X_{ij} \geq D \min_k \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij(k+1)} X_{ij} \leq D \max_k$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijt} > \frac{S}{NC} - \left(\frac{S}{NC} * 0,05 \right) \quad (t=1,2,\dots,NC) \quad (10)$$

Em que:

VPL_{ij} = valor presente líquido do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j , calculado ao longo do horizonte de planeamento, mais o valor presente do estoque final; P_{ij} = Produção de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j ; CMP_{ij} = Custo médio de produção do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j , calculado ao longo do horizonte de planeamento; C_{ij} = Custo de produção do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j , calculado ao longo do horizonte de planeamento; X_{ij} = área da unidade de manejo i assinalada a prescrição j ; M = Número de unidades de manejo; N = Número de prescrições j aplicada a cada unidade de manejo i ; R_k = Receita total no período k ; C_k = Custo total no período k ; P_k = Produção volumétrica total no período k ; r = Taxa de juros por período; H = Tamanho do horizonte de planeamento; A_i = área da unidade de manejo i ; V_{ijk} = Volume produzido pela unidade de manejo i sobre a prescrição j no período k ; $D \min_k$ = demanda mínima no ano k ; $D \max_k$ = demanda máxima no período k ; X_{ijk} = área da i -ésima parcela manejada sobre a j -ésima prescrição, onde as árvores terão t períodos no período final do horizonte de planeamento; S = área total do povoamento; NC = número de classes de idade;

Foram analisados quatro modelos para cada uma das florestas. Sendo, portanto ao todo analisados 40 modelos. Para o modelo de maximização do VPL e minimização de custos foi utilizada uma taxa de juros de 8% aa, um preço da madeira de 80 R\$/m³ (reais por metro cúbico) e um preço residual da madeira de 20 R\$/m³.

O horizonte de planejamento deve ser escolhido com base em vários fatores como, por exemplo, o objetivo do projeto, sendo que horizontes muito grandes possibilitam maiores erros de análise já que várias mudanças podem ocorrer durante o período como: mudanças econômicas, alteração de custos, etc. Por outro lado, horizontes curtos podem não levar em consideração acontecimentos importantes que podem ocorrer após o período adotado (REZENDE e OLIVEIRA, 2008). No presente trabalho foi escolhido um horizonte de planejamento de 14 anos, a fim de se avaliar de duas a três rotações, sendo, portanto compatíveis com as opções de corte. As idades de corte utilizadas foram 4, 5, 6, 7, 8 anos, que representam as idades de máximo incremento médio anual (IMA) das plantações de eucalipto das empresas de celulose brasileiras.

A idade de regulação utilizada foi de 6 anos. A máxima produção permitida foi de 200.000 m³ de madeira e a produção mínima de 150.000 m³, sendo estes valores compatíveis com a curva de produção e com a idade regulatória de 6 anos. Como o objetivo é analisar a influência das variáveis econômicas se considerará apenas reforma imediata após o corte.

Estimativas de produção e custos:

As estimativas de produção futura, bem como os custos do projeto florestal e de colheita foram obtidas do trabalho de Binoti (2010).

Para estas florestas foram considerados o plantio de apenas um clone híbrido (*Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*). A função logística utilizada para se calcular a produção futura encontra-se na equação 11. Já os custos podem ser observados na Tabela 3.2. O custo de colheita utilizado foi de R\$ 20,00 /m³, sendo o custo de transporte de 0,5 R\$/km/m³.

$$Volume(m^3 \cdot ha^{-1}) = \frac{485,68}{1 + 7,4275 e^{-0,4062 Idade(anos)}}$$

(11)

Tabela 3.2: Custos empregados para a avaliação econômica dos modelos de regulação florestal

Ano	Atividade	Rendimento (Un/ha)	Unidade	Custo Unitário	Aplicação (%)	Total (R\$/ha)
1º ano	Adubação Manual (Calcário)	20,00	hh	14,74	100%	294,58
1º ano	Adubação NPK 06-10-29	13,00	hh	14,34	100%	186,47
1º ano	Adubação NPK 06-30-06	10,00	hh	12,40	100%	123,95
1º ano	Ajudante Florestal	20,00	hh	11,39	100%	227,74
1º ano	Alinhamento/Marcação	10,00	hh	11,39	100%	113,87
1º ano	Capina Química Manual Total	11,00	hh	14,51	80%	127,68
1º ano	Capina Química Mecânica Total	0,95	hh	88,26	20%	16,77
1º ano	Combate à Formiga Sistemático	3,50	hh	11,93	100%	41,75
1º ano	Combate à Formiga Convencional	8,00	hh	11,93	110%	104,97
1º ano	Coveamento Motorizado	17,00	hh	22,99	80%	312,63
1º ano	Irrigação Caminhão Pipa	16,00	hh	18,57	100%	297,18
1º ano	Limpeza Manual	80,00	hh	11,39	30%	273,29
1º ano	Operador de Motosserra	2,00	hh	27,69	100%	55,38
1º ano	Planificação	5,00	hh	80,00	0%	-----
1º ano	Plantio com gel	17,00	hh	16,71	100%	284,00
1º ano	Replanteio com gel	7,00	hh	16,71	100%	116,94
1º ano	Roçada Manual	30,00	hh	11,39	70%	239,13
1º ano	Subsolagem/Fosfatagem	1,50	hh	135,70	20%	40,71
1º ano	Calcário	1,50	t	59,94	100%	89,91
1º ano	Cupinicida	0,03	Kg	845,13	100%	27,89
1º ano	Formicida	8,00	Kg	4,27	110%	37,58
1º ano	Frete Mudanças/Insumo	1,00	ha	132,00	100%	132,00
1º ano	Gel	3,00	Kg	6,69	100%	20,07
1º ano	Herbicida	6,00	I	9,53	100%	57,18
1º ano	Map	0,33	Kg	1,35	100%	0,45
1º ano	Mudas	1,20	Mil	231,40	100%	277,71
1º ano	NPK 06-10-29	0,40	t	949,95	100%	379,98
1º ano	NPK 06-30-06	12,00	t	939,71	100%	113,57
1º ano	Topografia	1,00	ha	65,67	100%	65,67
TOTAL ANO 1						4059,05
2º ano	Adubação NPK 06-10-29	13,00	hh	14,34	100%	186,47
2º ano	Ajudante Florestal	10,00	hh	11,14	100%	111,40
2º ano	Capina Química Manual Total	15,00	hh	14,51	100%	217,64
2º ano	Combate à Formiga Convencional	6,00	hh	11,93	110%	78,73
2º ano	Construção Manual de Aceiros	200,00	hh	11,39	10%	227,74
2º ano	Coroamento	16,00	hh	11,39	100%	182,19
2º ano	Roçada Manual - Pós-plantio	16,00	hh	11,39	100%	182,19
2º ano	Formicida	7,00	Kg	4,27	110%	32,88
2º ano	Herbicida	3,00	I	9,53	100%	28,59
2º ano	NPK 06-10-29	0,40	t	949,95	100%	379,98
TOTAL ANO 2						1627,05
3º ano	Capina Química Manual Total	13,00	hh	14,51	100%	188,62
3º ano	Combate à Formiga Convencional	6,00	hh	11,93	110%	78,73
3º ano	Manutenção Manual de Aceiro	200,00	hh	11,39	10%	227,74
3º ano	Roçada Manual	16,00	hh	11,39	100%	182,19
3º ano	Formicida	5,00	Kg	4,27	110%	23,49
3º ano	Herbicida	6,00	Kg	9,53	100%	57,18
TOTAL ANO 3						757,95
4º ao 14º ano	Capina Química Manual Total	6,00	hh	11,93	110%	78,73
4º ao 14º ano	Formicida	2,00	Kg	4,27	110%	9,39
TOTAL ANO 4 AO 14						88,12

Fonte: Binoti (2010)

RESULTADOS

Os modelos testados apresentaram soluções viáveis para todos os cenários avaliados sendo implantado alterações nos modelos de regulação apenas nas florestas 7 e 8, já que as mesmas não apresentaram solução viável. A floresta 7 sendo muito jovem não conseguiu suprir a demanda mínima de madeira para alguns anos, sendo que a estratégia utilizada para regulação foi diminuir a demanda de madeira do ano 4 para 100.000 m³. Outra possibilidade seria aumentar o número de alternativas para cada unidade de manejo. Já a floresta 8 é mais velha, portanto a demanda de madeira nos anos iniciais extrapolava a demanda máxima, neste caso permitiu-se que as idades de corte variassem de 5 a 10 anos, sendo que assim conseguiu-se regular a florestas com um prazo de 14 anos.

Um dos principais parâmetros de qualidade da madeira definidos como importantes na fabricação de celulose é a densidade básica. A densidade básica da madeira influencia nos custos da madeira produzida, no rendimento do processo industrial e na qualidade das polpas e dos papéis. Com uma maior densidade básica tem-se um menor manuseio de volume de toras e cavacos, sendo assim a capacidade do digestor que é limitada em volume, passa a receber mais massa, o que pode ser aumentada até a saturação da caldeira de recuperação. Por outro lado esse aumento tem como consequência maior dificuldade de picagem das toras, obtendo cavacos maiores que dificulta a impregnação dos mesmos levando a uma menor produção de polpa depurada, com um maior teor de rejeitos na polpação (REMADE, 2001).

Segundo Gomide et al (2005) quando se tem densidades mais altas as cargas de álcali requeridas são elevadas para obtenção do kappa objetivo. Porém os autores citam também que densidades muito baixas tem um consumo mais elevado o que seria uma desvantagem para as empresas que possuem fornecimento limitado de matéria-prima.

Sendo assim nota-se que apesar da floresta 8 ser regulada, sua madeira produzida talvez não seja a mais indicada para a produção de celulose, devido principalmente a idade, que reflete diretamente no diâmetro e densidade. Segundo Machado e Lopes (2008), árvores muito grandes também podem aumentar o custo da colheita, já que se reduz o rendimento operacional das máquinas e aumenta-se o consumo de combustíveis das mesmas. Também pode ocorrer incompatibilidade do tamanho e diâmetro das árvores com a capacidade das máquinas.

No caso da floresta 7 ocorre a necessidade de compra de madeira para o ano 4 em um total de 50.000 m³. Considerando o preço da madeira no valor de 80 R\$/m³ isso acarretaria para empresa em um custo de 4 milhões de reais, porém esse valor pode ser melhor planejado e distribuído ao longo do ano o que acarretaria em um dispêndio mensal de R\$333.333,34.

Por outro lado a empresa também poderia comprar terras e plantar para colheita aos quatro anos, neste caso para suprir a demanda dos 50.000 m³ a mesma teria que plantar um total de 253,55 hectares considerando a curva de produção da floresta atual que aos 4 anos tem uma produção de 197,2021 m³/ha. Neste caso além da empresa ter que comprar ou alugar a terra e arcar com os custos de plantio e colheita, a mesma teria que planejar toda a logística de produção. Também se deve levar em consideração o tempo hábil para as atividades silviculturais como o preparo do solo e o plantio, que podem inviabilizar a decisão por compra ou aluguel de terra. Em todo caso para decidir sobre a compra de madeira ou a compra de terra para plantio seria necessário uma análise de projeto e escolher o mais viável economicamente.

Os modelos testados foram avaliados quanto à área de corte média anual (Figura 3.2), a produção média anual (Figura 3.3), o custo médio de produção anual (Figura 3.4), a idade média de corte anual (Figura 3.5) e a produtividade média (Tabelas 3.3). Deve se atentar que a função objetivo de minimização dos custos médios de produção (CMP) é diferente dos custos médios de produção anual.

Os métodos que minimizem os custos apresentam uma área cortada média bem menor que a maximização do VPL e da produção. Isto já era esperado já que o custo de colheita e transporte são os principais custos em um plano de manejo, sendo que quanto menor a área cortada menor serão esses custos.

O método de maximização da produção foi o que apresentou para todas as florestas a maior área média de corte anual, também era um resultado esperado já que este método nos apresenta a máxima produção possível atendendo as restrições. O método de maximização do VPL apresentou uma área média de corte bem próxima do método de maximização da produção, porém um pouco menor.

Os dois métodos de minimização apesar de apresentarem resultados diferentes, ambos buscam uma área de corte menor, bem como uma produção menor. Observou-se que estes métodos sempre procuram atingir o limiar inferior da demanda de madeira, como explicado anteriormente devido aos custos de colheita e de transporte. Entre os dois métodos a diferença da área de corte foi bem pequena, também não se observou um

padrão. Para algumas florestas a minimização dos custos foi o método que obteve a menor área de corte anual, já para outras florestas foi a minimização do CMP.

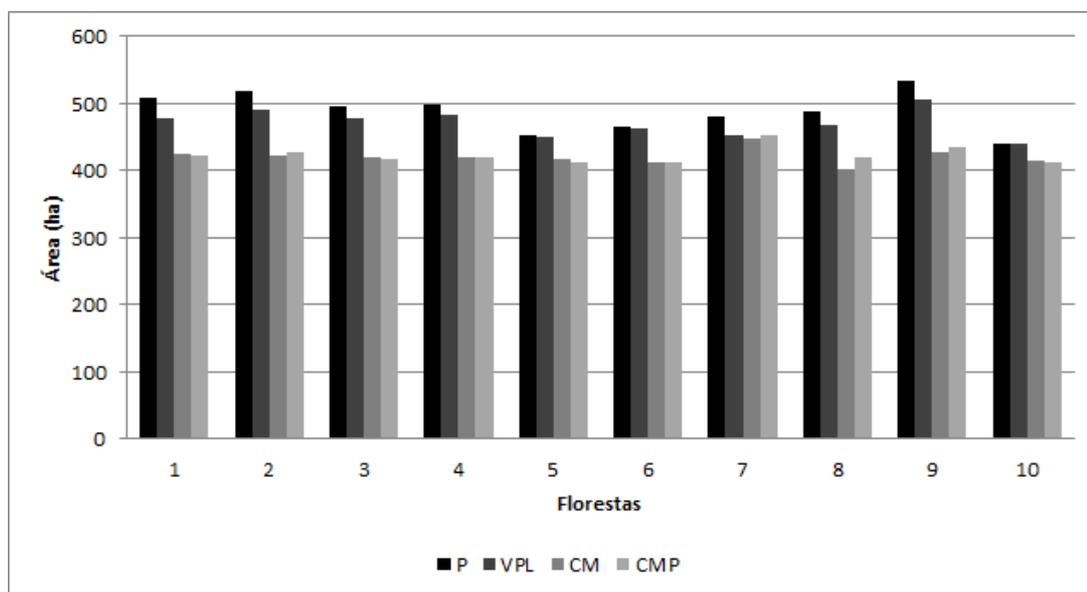


Figura 3.2: Área de corte média anual para as 10 florestas analisadas para cada uma das diferentes funções objetivo

Os métodos de minimização de custos se mostram interessante já que com uma área de corte menor se tem uma produção que consegue suprir a demanda da empresa. Outro ponto a ser observado é o fato de que a redução da área de corte anual gera uma área que não será utilizada no plano de manejo, essas áreas poderiam ser utilizadas pela empresa para outros fins. Neste caso se abre uma gama de possibilidades como plantios em consorcio, utilizar a madeira para outros fins comerciais, entre outros.

Quanto à produção o resultado apresentado foi bem parecido com a área de corte anual (Figura 3.3). O método de maximização do VPL e da produção foram os que apresentaram maiores produções e os métodos de minimização de custos os menores. Cabe ressaltar que apesar da quantidade produzida ser menor nos métodos de minimização de custos, esta produção atende a demanda da empresa.

Na Figura 3.4 tem-se o custo médio de produção anual de cada uma das florestas. Observa-se que o custo médio de produção anual varia entre todos os métodos. Nota-se também que a economia de custos ao longo dos anos chega a até 20.000 reais quando comparados com os métodos de maximização. Entre os métodos de minimização de custos ocorre também uma variação não sendo possível dizer qual método é o melhor para reduzir custos.

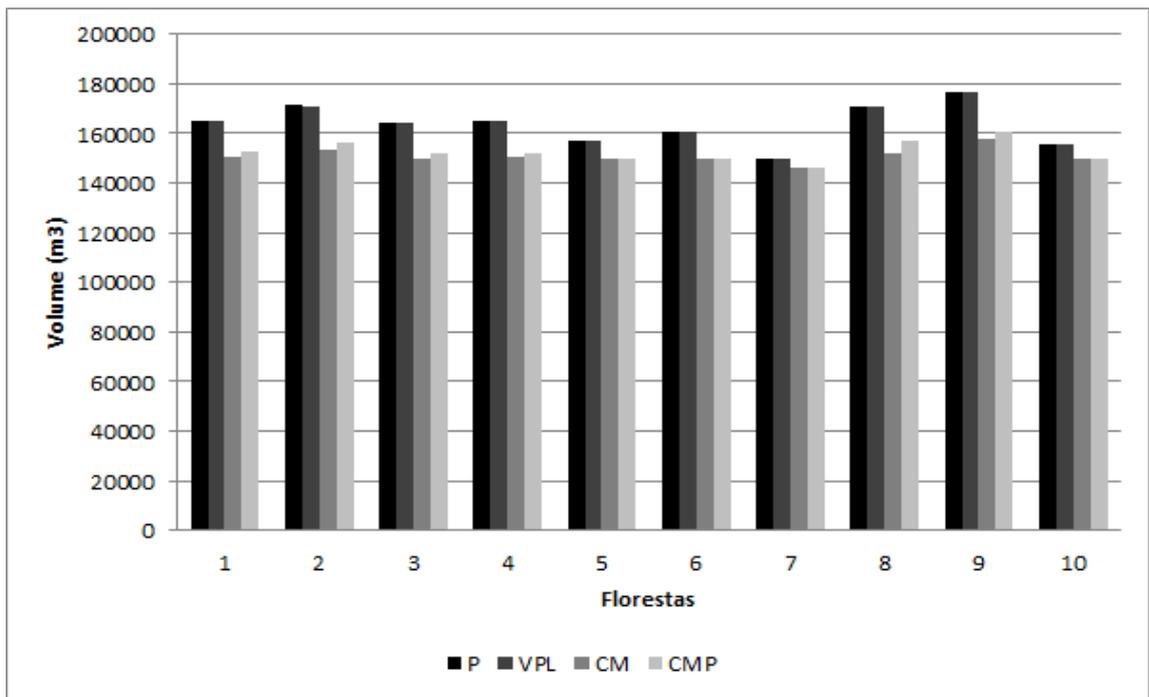


Figura 3.3: Produção média anual para as 10 florestas analisadas para cada uma das diferentes funções objetivo

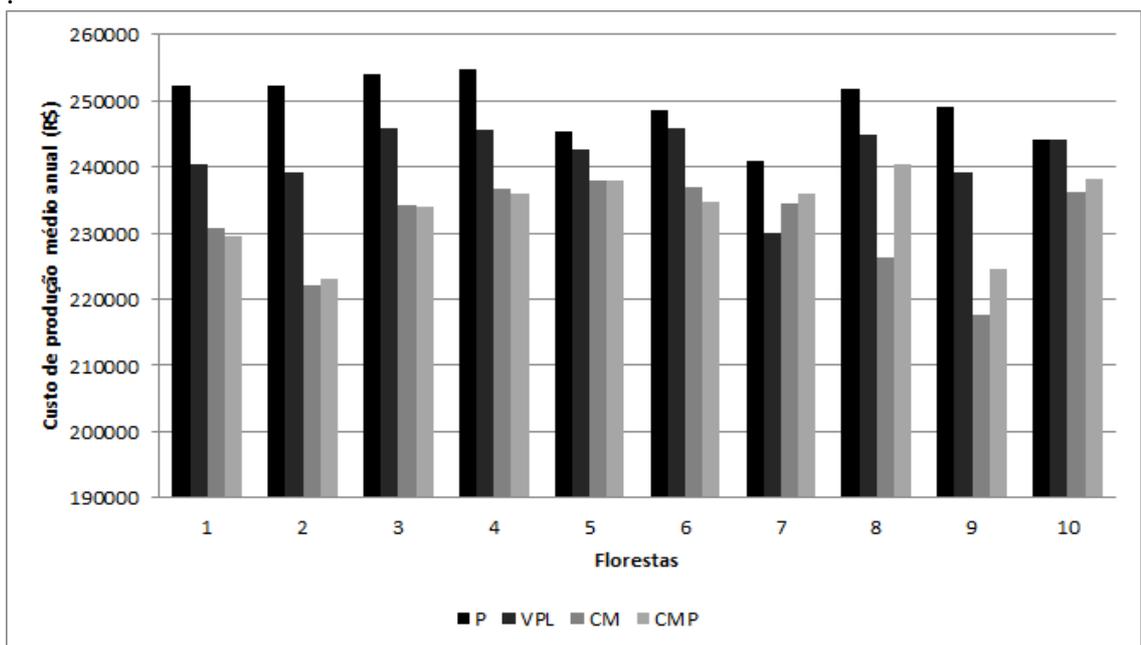


Figura 3.4: Custo de produção médio anual de cada uma das 10 florestas analisadas para cada uma das diferentes funções objetivo

Quando se compara as idades (Figura 3.5) observa-se que os métodos de maximização do VPL e da produção são os métodos que apresentam as menores idades médias de corte. Em compensação quando se utiliza dos métodos de minimização de custos essa idade aumenta. É de se esperar que isso ocorra, já que quando se quer reduzir custos se busca uma produção maior em uma mesma área, o que ocorre nos

plantios florestais, já que com o aumento da idade ocorre uma produção maior de madeira.

No entanto, para todas as florestas e para todos os métodos a média das idades de corte não ultrapassou os 9 anos, sendo a idade média de corte de 7,5 ano. Nota-se que os métodos de minimização de custos tiveram em média um ano a mais em suas idades médias de corte quanto comparado com os outros dois métodos.

Também se observa para todas as florestas que existe uma relação entre idade média de corte e custo médio de produção anual, quando se compara a Figura 3.5 com a Figura 3.4. Quanto menor a idade média de corte maior o custo médio de produção anual, considerando os dois métodos de minimização de custo. Como dito anteriormente com uma idade maior de corte se produz mais em uma mesma área, reduzindo assim os custos de colheita e transporte.

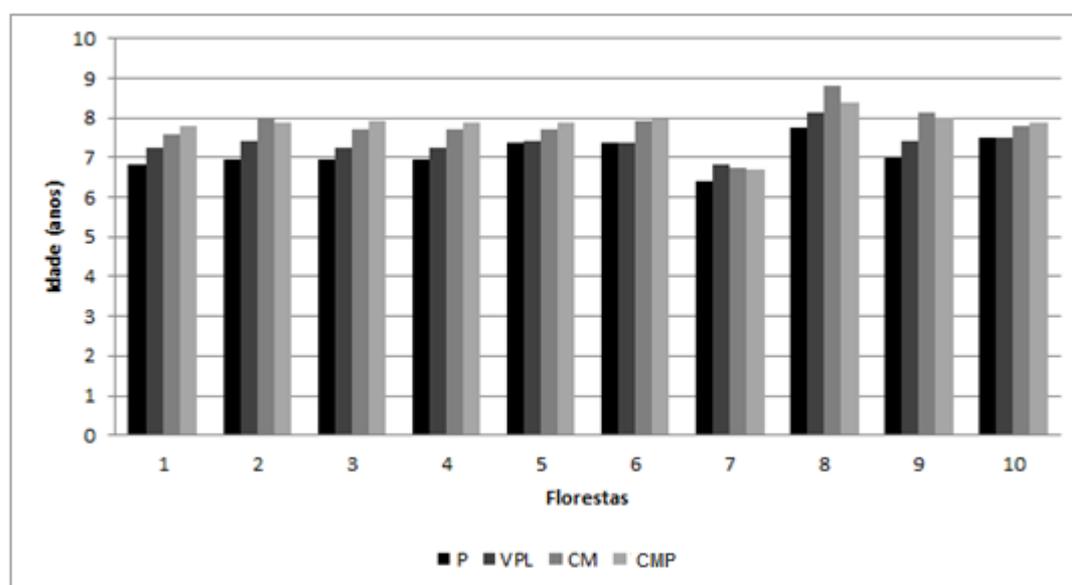


Figura 3.5: Idade média de corte para as 10 florestas analisadas para cada uma das diferentes funções objetivo

Já a produtividade média (Tabela 3.3) segue a mesma tendência da idade. Quanto maior a idade maior a produtividade. Sendo, portanto os métodos de minimização de custos o que obtiveram maior produtividade e menor produção.

Tabela 3.3: Produtividade média das florestas em $m^3 \cdot ha^{-1}$

Função objetivo	Florestas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	325,71	330,14	331,37	330,79	347,62	346,10	311,46	349,82	331,15	353,10
CM	354,32	364,60	358,06	357,82	359,66	364,93	327,20	379,04	368,49	362,67
CMP	361,87	364,80	364,55	362,61	363,66	365,14	324,20	372,81	370,11	363,14
VPL	345,15	349,53	344,32	342,82	349,21	347,63	330,31	365,68	349,52	353,10

CONCLUSÕES

Todas as florestas foram reguladas independentes do método utilizado.

Todos os métodos se mostraram viáveis e conseguiram regular as florestas, sendo que a utilização de cada um depende dos objetivos da empresa.

Os métodos de minimização foram mais eficientes na redução dos custos. Recomenda-se a utilização dos dois métodos, já que os resultados foram diferentes entre eles.

A utilização dos métodos de minimização tem como consequência a redução da área de corte anual e da produção anual, e o aumento da idade de corte e da produtividade.

Os métodos de maximização foram os mais dispendiosos, com maior produção e maior área de corte anual, menor idade de corte e menor produtividade. A idade reduzida de corte desses métodos pode ser uma vantagem já que o plantio se destina a produção de celulose.

O método de maximização da produção se mostrou diferente do método de maximização do VPL, sendo que máxima produção não condiz com o máximo lucro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M.V.G. **Sistema computacional para gestão de florestas plantadas**. 2006. 76p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

BINOTI, D.H.B. **Estratégias de regulação de florestas equiâneas com vista ao manejo de paisagem**. 2010. 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

BRUN, F. L. **Influência do valor da madeira de mercado sobre o ordenamento de florestas plantadas para o suprimento parcial de uma indústria de celulose e papel: uma aplicação de programação linear**. 2002. 160p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2002

GOMIDE, J.L., COLODETTE, J.L., OLIVEIRA, R.C., SILVA, C.M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de eucalyptus do brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n.1, p.129-137, 2005.

JOHNSON, K. N., SCHEURMAN, H. L. Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives - discussion and synthesis. **Forest Science**, Washington, v.18, n.1, p.1-31, 1977

LISBOA, Érico. **Apostila do curso Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: 2002.

MACHADO, C.C.; LOPES, E.S. **Colheita florestal**. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. p.501

REMADE. Importância do Eucalipto para a Indústria de Celulose no Brasil. **Revista da madeira**, ed. 59, 2001. Disponível em: <www.remade.com.br>. Acesso em: 01/02/2012

REZENDE, J. L. P. de, OLIVEIRA, A. D. de. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2º Ed. Viçosa: Editora UFV, 2008, 486p.

CAPÍTULO 4

INFLUÊNCIA DO CUSTO DE COLHEITA E TRANSPORTE EM MODELOS DE REGULAÇÃO FLORESTAL

INTRODUÇÃO

As mudanças ocorridas no mercado nacional e internacional alteraram de forma significativa a estrutura produtiva das empresas que atuam no setor florestal, tornando necessária a implementação de medidas capazes de viabilizar a adequação das mesmas aos padrões internacionais de produtividade, qualidade e custos (Souza e Pires, 2009).

Atualmente a atividade de colheita florestal passa por momentos de grandes inovações e avanços tecnológicos que afetam a rentabilidade das empresas (NASCIMENTO et al, 2011). No setor florestal, a colheita de madeira é uma das fases mais importante do ponto de vista econômico, dada à sua alta participação no custo final do produto e aos riscos de perda envolvidos nessa atividade (Duarte, 1994). Sendo, portanto a redução dos custos da colheita muito importante para qualquer empresa. Uma análise detalhada dos custos nos diferentes métodos de colheita, em cada atividade, tem um papel importante no entendimento dos mesmos, além de facilitar os estudos com o objetivo de reduzi-los (Rezende et al., 1997).

O aumento dos custos sociais e a abertura do mercado às importações de máquinas de alta tecnologia levaram a uma intensificação da mecanização do setor florestal, tendo como consequência um aumento no rendimento operacional das empresas. A necessidade de um maior rendimento operacional vem sendo sentida ao longo dos anos, onde se observou um aumento da demanda por produtos florestais (Machado e Lopes, 2000).

Logo, o aumento da qualidade, a racionalização dos processos e a otimização de custos são itens de suma importância para um melhor desempenho da atividade de colheita (Freitas, 2005). Já que a colheita e o transporte florestal são responsáveis por mais da metade do custo final da madeira colocada no centro consumidor (Machado e Lopes, 2000).

Segundo Souza e Pires (2009), no Brasil vêm ocorrendo a transferência das atividades de colheita florestal para empresas especializadas (terceirização da colheita florestal), tendo em vista que parcela significativa do custo total da madeira utilizada

nas fábricas está relacionada ao ciclo de atividades que compreende desde o corte das florestas até ao transporte ao consumidor final. Sendo que neste contexto, as empresas especializadas em colheita florestal têm sido desafiadas a oferecer seus serviços a um custo aceitável, sem deixar de cumprir a quota de produção dentro do prazo contratado, atender aos padrões de qualidade impostos pela contratante e se adequar às normas trabalhistas e ambientais, etc.

No manejo de recursos naturais temos como ferramenta a pesquisa operacional (PO), que ao longo dos anos se mostrou eficiente para tratar problemas onde se tem recursos escassos, no caso da colheita este recurso seria o dinheiro já que o mesmo inviabiliza muitas vezes o processo de mecanização. Neste caso a pesquisa operacional tem muito a contribuir para os processos de colheita e transporte florestal, já que a mesma ajudaria na redução de custos e no aumento de receita o que contribuiria para a viabilidade dos projetos florestais.

Portanto modelos de regulação que consigam um custo menor nos processos de colheita seriam bastante interessantes. Essa redução de custo beneficiaria tanto as empresas terceirizadas viabilizando sua atuação, e também a própria empresa.

Este trabalho tem por objetivo comparar a utilização de uma curva de custo de colheita (custo variável com a produtividade) e de transporte (custo variável com a distância do talhão a fábrica) com a utilização de um preço fixo em alguns modelos de regulação florestal, utilizando o modelo I de programação linear. Sendo assim avaliadas suas influências na área de corte anual, na idade de corte média anual e nos custos médios anuais.

MATERIAL E METODOS

Caracterização da área de estudo

O estudo de caso foi conduzido empregando dados de 10 florestas. Sendo os dados de uma das 10 florestas obtidos de uma empresa florestal, já as outras nove florestas foram obtidas a partir da floresta real simulando estruturas iniciais de povoamentos comumente encontrados no setor florestal.

Cada floresta tem uma área total e estrutura distintas, porém todas divididas em 100 unidades de manejo, outros dados pertinentes podem ser observados na Tabela 4.1. A madeira destina-se a manutenção de uma fábrica de celulose. A classe de idade atual de cada floresta está representada na Figura 4.1.

Tabela 4.1: Características das florestas

Florestas	Área Total (ha)	Área Média por talhão (ha)	Distância Média dos talhões a fábrica (Km)
1	3020	30,20	22,72
2	3108	31,08	26,34
3	2989	29,89	27,01
4	3005	30,05	22,97
5	2875	28,75	25,39
6	2899	28,99	26,05
7	2958	29,58	25,04
8	3010	30,10	25,42
9	3219	32,19	24,38
10	2848	28,48	25,70

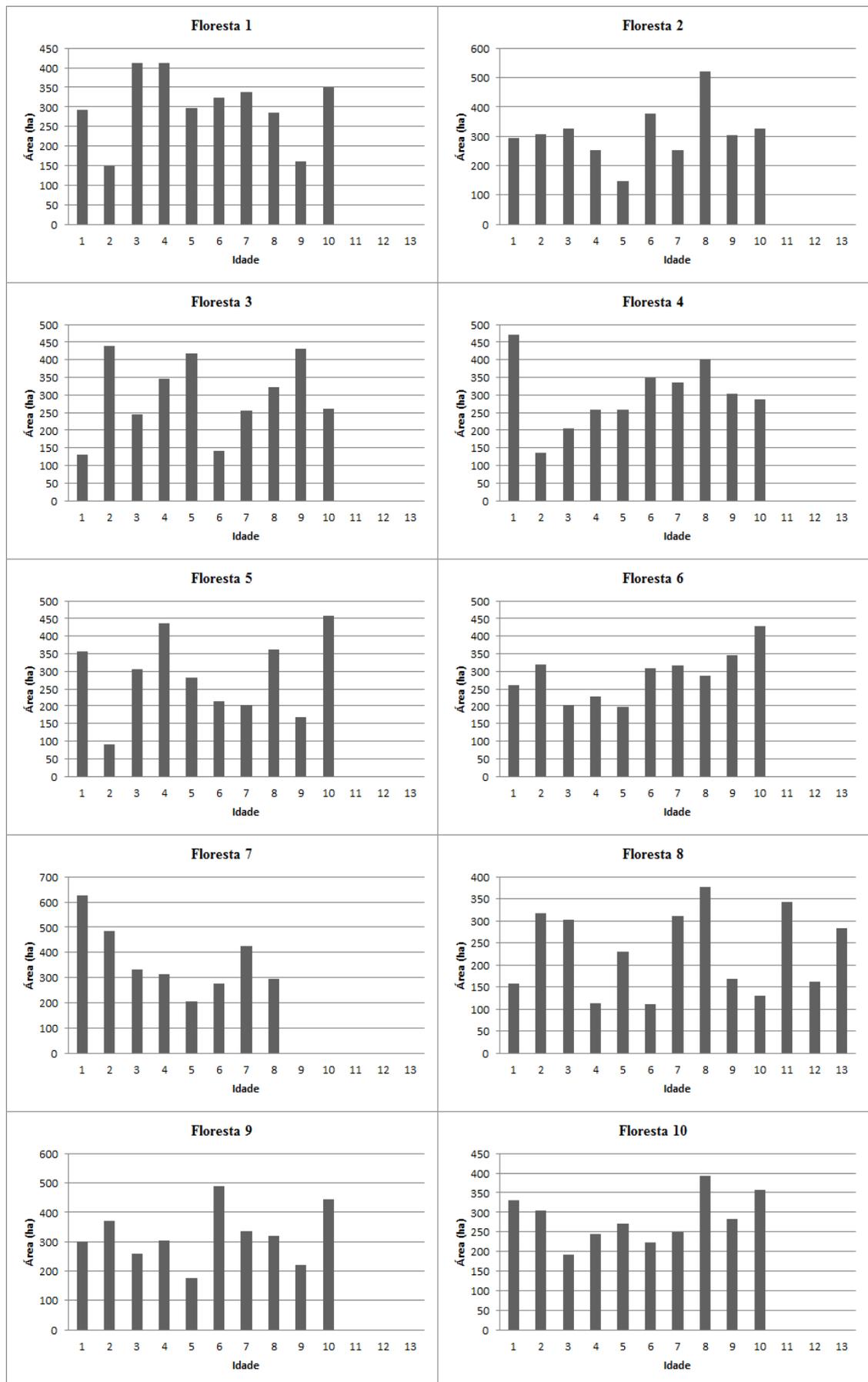


Figura 4.1: Distribuição inicial das classes de idade das 10 florestas analisadas

Formulação do problema:

O modelo de programação linear foi formulado empregando a teoria do Modelo I conforme descrito por Johnson e Scheurman (1977). A sua solução foi obtida empregando o software RPF (BINOTI et al, 2011), que será utilizado também para simular cenários de manejo e planejamento. As configurações do computador utilizado para a resolução dos problemas foram: Sistema operacional Windows 7 Ultimate 32 bits; processador Intel core i3 2,27 GHz 3 Mb cache, memória RAM 3Gb.

Função Objetivo - 1: Maximização da Produção VPL

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Função Objetivo - 2: Maximização do VPL

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N VPL_{ij} X_{ij} \quad (2)$$

$$VPL_{ij} = \sum_{k=1}^{H-1} R_k (1+r)^{-k} - C_k (1+r)^{-k} \quad (3)$$

Função objetivo - 3: Minimização do Custo

$$MinZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij} \quad (4)$$

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^{H-1} C_k (1+r)^{-k} \quad (5)$$

Função Objetivo - 4: Minimização do Custo Médio de Produção

$$MinZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N CMP_{ij} X_{ij} \quad (6)$$

$$CMP_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{H-1} C_k (1+r)^{-k}}{\sum_{k=1}^{H-1} P_k (1+r)^{-k}} \quad (7)$$

Todas sujeitas a:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij} \leq A_i \quad (i=1,2,\dots,M) \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij(k+1)} X_{ij} \geq D \min_k \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij(k+1)} X_{ij} \leq D \max_k$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijt} > \frac{S}{NC} - \left(\frac{S}{NC} * 0,05 \right) \quad (t=1,2,\dots,NC) \quad (10)$$

Em que:

VPL_{ij} = valor presente líquido do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j , calculado ao longo do horizonte de planeamento, mais o valor presente do estoque final; P_{ij} = Produção de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j ; CMP_{ij} = Custo médio de produção do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j , calculado ao longo do horizonte de planeamento; C_{ij} = Custo de produção do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j , calculado ao longo do horizonte de planeamento; X_{ij} = área da unidade de manejo i assinalada a prescrição j ; M = Número de unidades de manejo; N = Número de prescrições j aplicada a cada unidade de manejo i ; R_k = Receita total no período k ; C_k = Custo total no período k ; P_k = Produção volumétrica no período k ; r = Taxa de juros por período; H = Tamanho do horizonte de planeamento; A_i = área da unidade de manejo i ; V_{ijk} = Volume produzido pela unidade de manejo i sobre a prescrição j no período k ; $D \min_k$ = demanda mínima no ano k ; $D \max_k$ = demanda máxima no período k ; X_{ijk} = área da i -ésima parcela manejada sobre a j -ésima prescrição, onde as árvores terão t períodos no período final do horizonte de planeamento; S = área total do povoamento; NC = número de classes de idade;

Foram analisadas quatro funções objetivo, cada função teve três variações (custos de colheita e de transporte fixo; custo de colheita fixo e utilização da curva de custo de transporte; e custo de transporte fixo e utilização da curva de custo de colheita). Sendo, portanto ao todo analisados 120 modelos. Para os modelo de maximização do VPL e minimização dos custos será utilizada uma taxa de juros de 8% aa, e um preço da madeira de 80 R\$/m³ (reais por metro cúbico).

O horizonte de planejamento deve ser escolhido com base em vários fatores como, por exemplo, o objetivo do projeto, sendo que horizontes muito grandes possibilitam maiores erros de análise já que várias mudanças podem ocorrer durante o período como: mudanças econômicas, alteração de custos, etc. Por outro lado, horizontes curtos podem não levar em consideração acontecimentos importantes que podem ocorrer após o período adotado (REZENDE e OLIVEIRA, 2008). No presente trabalho foi escolhido um horizonte de planejamento de 14 anos, a fim de se avaliar de duas a três rotações, sendo, portanto compatíveis com as opções de corte. As idades de corte utilizadas foram 4, 5, 6, 7, 8 anos, que representam as idades de máximo incremento médio anual (IMA) das plantações de eucalipto das empresas de celulose brasileiras.

A idade de regulação utilizada foi de 6 anos. A máxima produção permitida foi de 200.000 m³ de madeira e a produção mínima de 150.000 m³, sendo estes valores compatíveis com a curva de produção e com a idade regulatória de 6 anos. Como o objetivo é analisar a influência das variáveis econômicas se considerará apenas reforma imediata após o corte.

Estimativas de produção e custos:

As estimativas de produção futura, bem como os custos do projeto florestal e de colheita foram obtidas do trabalho de Binoti (2010).

Para estas florestas foram considerados o plantio de apenas um clone híbrido (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*). A função logística utilizada para se calcular a produção futura encontra-se na equação 11. A curva do custo de colheita utilizada está descrita na equação 12, e para comparação utilizou-se um o preço médio da curva de custo que equivale a 20 R\$ /m³. Já os custos de transporte podem ser observados na Tabela 4.2 obtidos pela equação 13, para comparação será utilizado o custo de 0,3 R\$/km/m³ que equivale ao custo médio da curva de transporte. Os custos de implantação e manutenção estão descritos na Tabela 4.3.

$$Volume(m^3 \cdot ha^{-1}) = \frac{485,68}{1 + 7,4275 e^{-0,4062 Idade(anos)}}$$

(11)

$$Custo(R\$/m^3) = 30,59 \times Produtividade^{-0,078} \quad (12)$$

$$Custo(R\$/m^3) = \left(\frac{d * 2}{I * C * P} \right) * \frac{1}{Cp} \quad (13)$$

Em que:

d = distância do talhão a fábrica (Km); Cp = 22 m³ (capacidade de transporte do veículo); I = 3,5 (Índice de transporte para até 50 Km); C = 2,5 Km/L (eficiência energética do veículo de transporte); P = 1,95 R\$ (preço do diesel).

Tabela 4.2: Preço de mercado para o transporte de madeira calculado a partir da equação 13

DISTÂNCIA (km)	PREÇO DE MERCADO (R\$/m ³)
5	1,24
10	2,48
15	3,72
20	4,96
25	6,20
30	7,45
35	8,69

40
45
50

9,93
11,17
12,41

Tabela 4.3: Custos empregados para a avaliação econômica dos modelos de regulação florestal

Ano	Atividade	Rendimento (Un/ha)	Unidade	Custo Unitário	Aplicação (%)	Total (R\$/ha)
1º ano	Adubação Manual (Calcário)	20,00	hh	14,74	100%	294,58
1º ano	Adubação NPK 06-10-29	13,00	hh	14,34	100%	186,47
1º ano	Adubação NPK 06-30-06	10,00	hh	12,40	100%	123,95
1º ano	Ajudante Florestal	20,00	hh	11,39	100%	227,74
1º ano	Alinhamento/Marcação	10,00	hh	11,39	100%	113,87
1º ano	Capina Química Manual Total	11,00	hh	14,51	80%	127,68
1º ano	Capina Química Mecânica Total	0,95	hh	88,26	20%	16,77
1º ano	Combate à Formiga Sistemático	3,50	hh	11,93	100%	41,75
1º ano	Combate à Formiga Convencional	8,00	hh	11,93	110%	104,97
1º ano	Coveamento Motorizado	17,00	hh	22,99	80%	312,63
1º ano	Irrigação Caminhão Pipa	16,00	hh	18,57	100%	297,18
1º ano	Limpeza Manual	80,00	hh	11,39	30%	273,29
1º ano	Operador de Motoserra	2,00	hh	27,69	100%	55,38
1º ano	Planificação	5,00	hh	80,00	0%	-----
1º ano	Plantio com gel	17,00	hh	16,71	100%	284,00
1º ano	Replântio com gel	7,00	hh	16,71	100%	116,94
1º ano	Roçada Manual	30,00	hh	11,39	70%	239,13
1º ano	Subsolagem/Fosfatagem	1,50	hh	135,70	20%	40,71
1º ano	Calcário	1,50	t	59,94	100%	89,91
1º ano	Cupinicida	0,03	Kg	845,13	100%	27,89
1º ano	Formicida	8,00	Kg	4,27	110%	37,58
1º ano	Frete Mudanças/Insumo	1,00	ha	132,00	100%	132,00
1º ano	Gel	3,00	Kg	6,69	100%	20,07
1º ano	Herbicida	6,00	I	9,53	100%	57,18
1º ano	Map	0,33	Kg	1,35	100%	0,45
1º ano	Mudas	1,20	Mil	231,40	100%	277,71
1º ano	NPK 06-10-29	0,40	t	949,95	100%	379,98
1º ano	NPK 06-30-06	12,00	t	939,71	100%	113,57
1º ano	Topografia	1,00	ha	65,67	100%	65,67
TOTAL ANO 1						4059,05
2º ano	Adubação NPK 06-10-29	13,00	hh	14,34	100%	186,47
2º ano	Ajudante Florestal	10,00	hh	11,14	100%	111,40
2º ano	Capina Química Manual Total	15,00	hh	14,51	100%	217,64
2º ano	Combate à Formiga Convencional	6,00	hh	11,93	110%	78,73
2º ano	Construção Manual de Aceiros	200,00	hh	11,39	10%	227,74
2º ano	Coroamento	16,00	hh	11,39	100%	182,19
2º ano	Roçada Manual - Pós-plantio	16,00	hh	11,39	100%	182,19
2º ano	Formicida	7,00	Kg	4,27	110%	32,88
2º ano	Herbicida	3,00	I	9,53	100%	28,59
2º ano	NPK 06-10-29	0,40	t	949,95	100%	379,98
TOTAL ANO 2						1627,05
3º ano	Capina Química Manual Total	13,00	hh	14,51	100%	188,62
3º ano	Combate à Formiga Convencional	6,00	hh	11,93	110%	78,73
3º ano	Manutenção Manual de Aceiro	200,00	hh	11,39	10%	227,74
3º ano	Roçada Manual	16,00	hh	11,39	100%	182,19
3º ano	Formicida	5,00	Kg	4,27	110%	23,49
3º ano	Herbicida	6,00	Kg	9,53	100%	57,18
TOTAL ANO 3						757,95
4º ao 14º ano	Capina Química Manual Total	6,00	hh	11,93	110%	78,73
4º ao 14º ano	Formicida	2,00	Kg	4,27	110%	9,39
TOTAL ANO 4 AO 14						88,12

Fonte: Binoti (2010)

RESULTADOS

Os modelos testados apresentaram soluções viáveis para todos os cenários avaliados sendo implantado alterações nos modelos de regulação apenas nas florestas 7 e 8, já que as mesmas não apresentaram solução viável. A floresta 7 sendo muito jovem não conseguiu suprir a demanda mínima de madeira para alguns anos, sendo que a estratégia utilizada para regulação foi diminuir a demanda de madeira do ano 4 para 100.000 m³. Outra possibilidade seria aumentar o número de alternativas para cada unidade de manejo. Já a floresta 8 é mais velha, portanto a demanda de madeira nos anos iniciais extrapolava a demanda máxima, neste caso permitiu-se que as idades de corte variassem de 5 a 10 anos, sendo que assim conseguiu-se regular a florestas com um prazo de 14 anos.

Um dos principais parâmetros de qualidade da madeira definidos como importantes na fabricação de celulose é a densidade básica. A densidade básica da madeira influencia nos custos da madeira produzida, no rendimento do processo industrial e na qualidade das polpas e dos papéis. Com uma maior densidade básica tem-se um menor manuseio de volume de toras e cavacos, sendo assim a capacidade do digestor que é limitada em volume, passa a receber mais massa, o que pode ser aumentada até a saturação da caldeira de recuperação. Por outro lado esse aumento tem como consequência maior dificuldade de picagem das toras, obtendo cavacos maiores que dificulta a impregnação dos mesmos levando a uma menor produção de polpa depurada, com um maior teor de rejeitos na polpação (REMADE, 2001).

Segundo Gomide et al (2005) quando se tem densidades mais altas as cargas de álcali requeridas são elevadas para obtenção do kappa objetivo. Porém os autores citam também que densidades muito baixas tem um consumo mais elevado o que seria uma desvantagem para as empresas que possuem fornecimento limitado de matéria-prima.

Sendo assim nota-se que apesar da floresta 8 ser regulada, sua madeira produzida talvez não seja a mais indicada para a produção de celulose, devido principalmente a idade, que reflete diretamente no diâmetro e densidade. Segundo Machado e Lopes (2008), árvores muito grandes também podem aumentar o custo da colheita, já que se reduz o rendimento operacional das máquinas e aumenta-se o consumo de combustíveis das mesmas. Também pode ocorrer incompatibilidade do tamanho e diâmetro das árvores com a capacidade das máquinas.

No caso da floresta 7 ocorre a necessidade de compra de madeira para o ano 4 em um total de 50.000 m³. Considerando o preço da madeira no valor de 80 R\$/m³ isso acarretaria para empresa em um custo de 4 milhões de reais, porém esse valor pode ser melhor planejado e distribuído ao longo do ano o que acarretaria em um dispêndio mensal de R\$333.333,34.

Por outro lado a empresa também poderia comprar terras e plantar para colheita aos quatro anos, neste caso para suprir a demanda dos 50.000 m³ a mesma teria que plantar um total de 253,55 hectares considerando a curva de produção da floresta atual que aos 4 anos tem uma produção de 197,2021 m³/ha. Neste caso além da empresa ter que comprar ou alugar a terra e arcar com os custos de plantio e colheita, a mesma teria que planejar toda a logística de produção. Também se deve levar em consideração o tempo hábil para as atividades silviculturais como o preparo do solo e o plantio, que podem inviabilizar a decisão por compra ou aluguel de terra. Em todo caso para decidir sobre a compra de madeira ou a compra de terra para plantio seria necessário uma análise de projeto e escolher o mais viável economicamente.

Os modelos foram avaliados quanto a área de corte média anual (Figura 4.2), a produção média anual (Figura 4.3), o custo médio de produção anual (Figura 4.4), a idade média de corte (4.5) e a produtividade média (Figura 4.6).

Observando a Figura 4.2 nota-se que pelo método de maximização de produção não ocorre diferença entre os modelos que utilizam custos fixos para os modelos que utilizam curvas de custos. Isto ocorre já que este método não leva em consideração as variáveis econômicas, neste caso o único parâmetro a ser diferente será o custo médio anual, que mostrará a diferença de custos entre os três modelos, para todas as outras variáveis analisadas os resultados foram iguais para a maximização da produção.

Pelo método de maximização do VPL a área de corte média anual diminuiu ao utilizar a curva de custo de colheita. Já para a curva de transporte não ocorreu diferença entre o método de custos fixos para todas as florestas reguladas. Por outro lado nos métodos de minimização de custos a diferença nas áreas de corte média anual foram menores, sendo que somente em algumas florestas observou-se diferença entre os métodos. Nota-se que o método que utilizou a curva de colheita teve uma tendência a ter uma menor área de corte anual média.

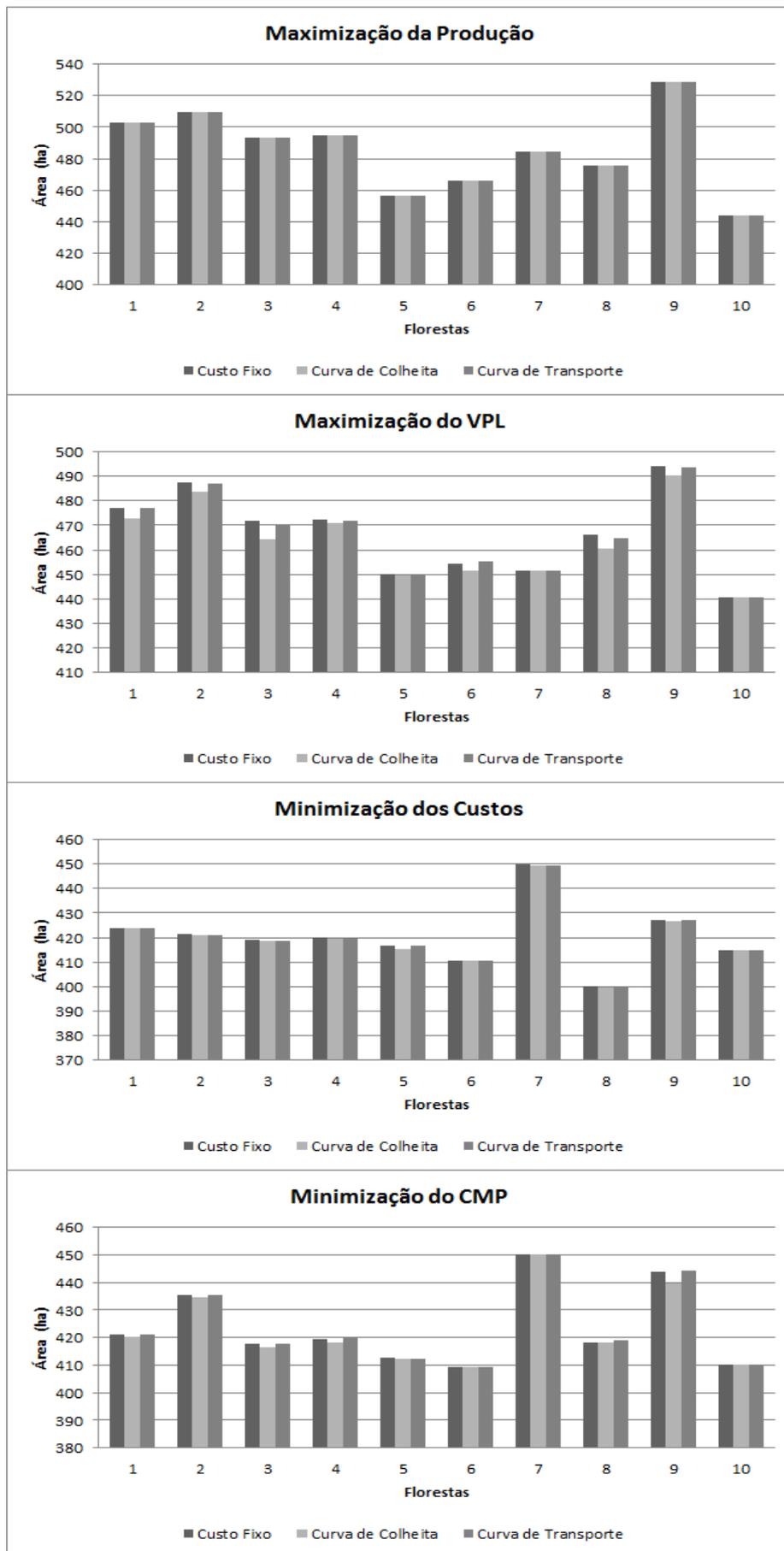


Figura 4.2: Área de corte média anual para as 10 florestas analisadas para cada uma das diferentes modelagens

Na Figura 4.3 tem-se a produção média anual, onde se observa que para todos os métodos não ocorreu grande variação. Os três modelos tiveram praticamente as mesmas produções volumétricas anuais.

Na Figura 4.4, têm-se os resultados dos custos médios anuais. Observa-se que apesar dos modelos de regulação não variarem muito com a utilização das curvas, quando se utiliza custos fixos pode-se superestimar os custos totais do projeto, o que poderia reduzir o raio econômico da atuação da empresa. Pela maximização da produção nota-se a diferença real entre os custos quando se utiliza modelos diferentes. Neste caso nota-se que os modelos com curvas de transporte apresentaram menor custo, sendo, portanto o custo que mais onera a regulação florestal. Cabe ressaltar também que nos modelos utilizados a distância máxima do talhão a fábrica foi de 50 Km, ou seja, ao se utilizar as curvas de transporte poderá aumentar a viabilidade de corte em áreas mais distantes.

Para os outros métodos também se observa que ocorreu essa mesma tendência de redução de custos quando se utiliza a curva de custo, porém não é sempre que isso ocorre. No caso da minimização do CMP as florestas 3 e 7 tiveram custos mais elevados quando se utilizou as curvas de custos de colheita.

Cabe ressaltar que as florestas consideradas neste trabalho são de alta produção e a curva de custo de colheita utilizada é baseada na produtividade, ou seja, quando maior a produtividade menor o custo. Espera-se então que quanto maior a produtividade maior será a redução de custos se utilizada esse tipo de curva. Portanto em florestas de baixa produtividade a utilização da curva possivelmente aumentará os custos. Porém mesmo nestes casos se as curvas representam os custos reais da empresa devem ser preferencialmente utilizados ao invés do custo médio de colheita, já que os modelos de programação linear são muito sensíveis a variações, sendo que o ótimo obtido pode ser um resultado errôneo, além de poder subestimar os custos gerais.

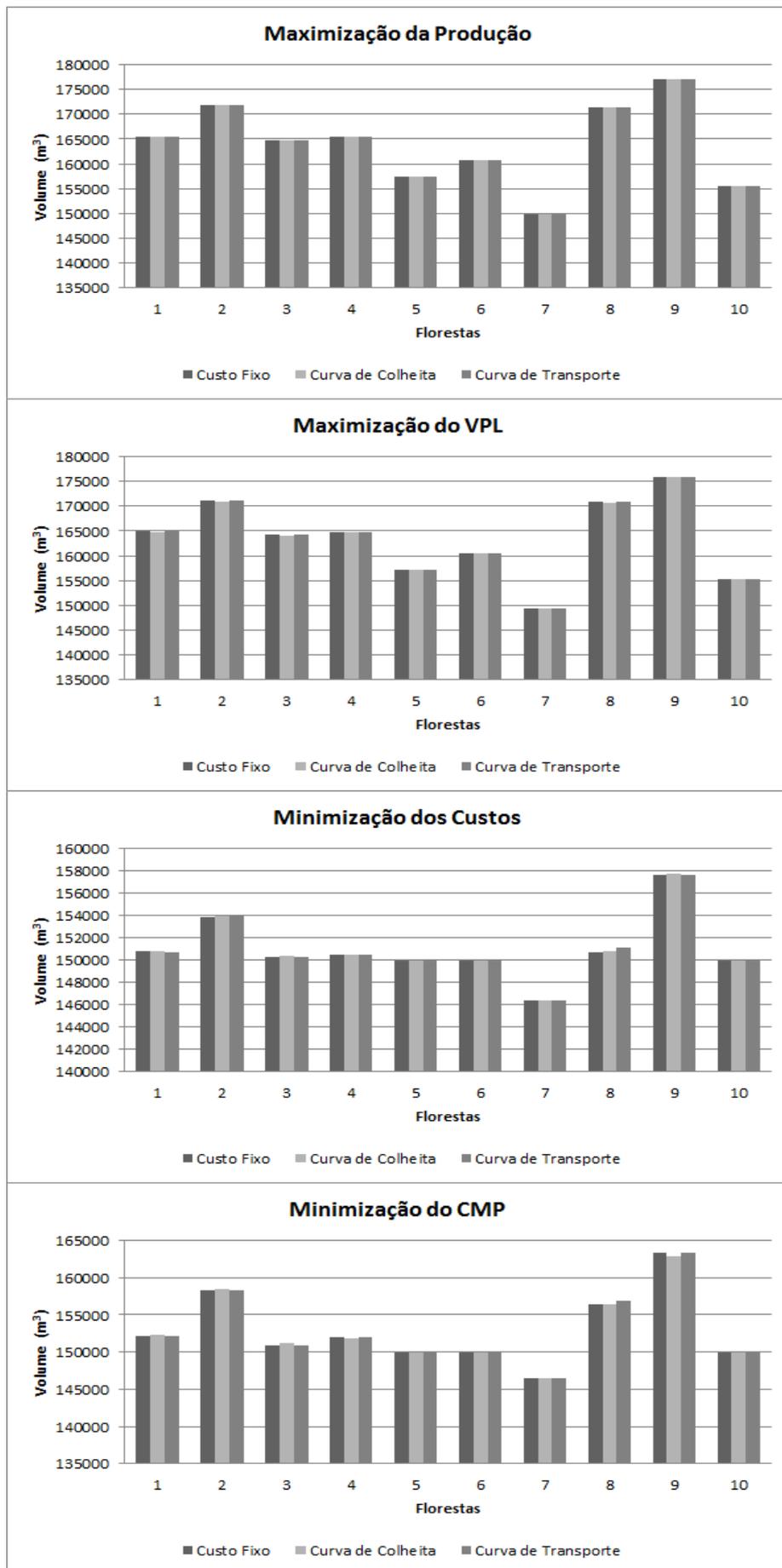


Figura 4.3: Produção média anual para as 10 florestas analisadas para cada uma das diferentes modelagens

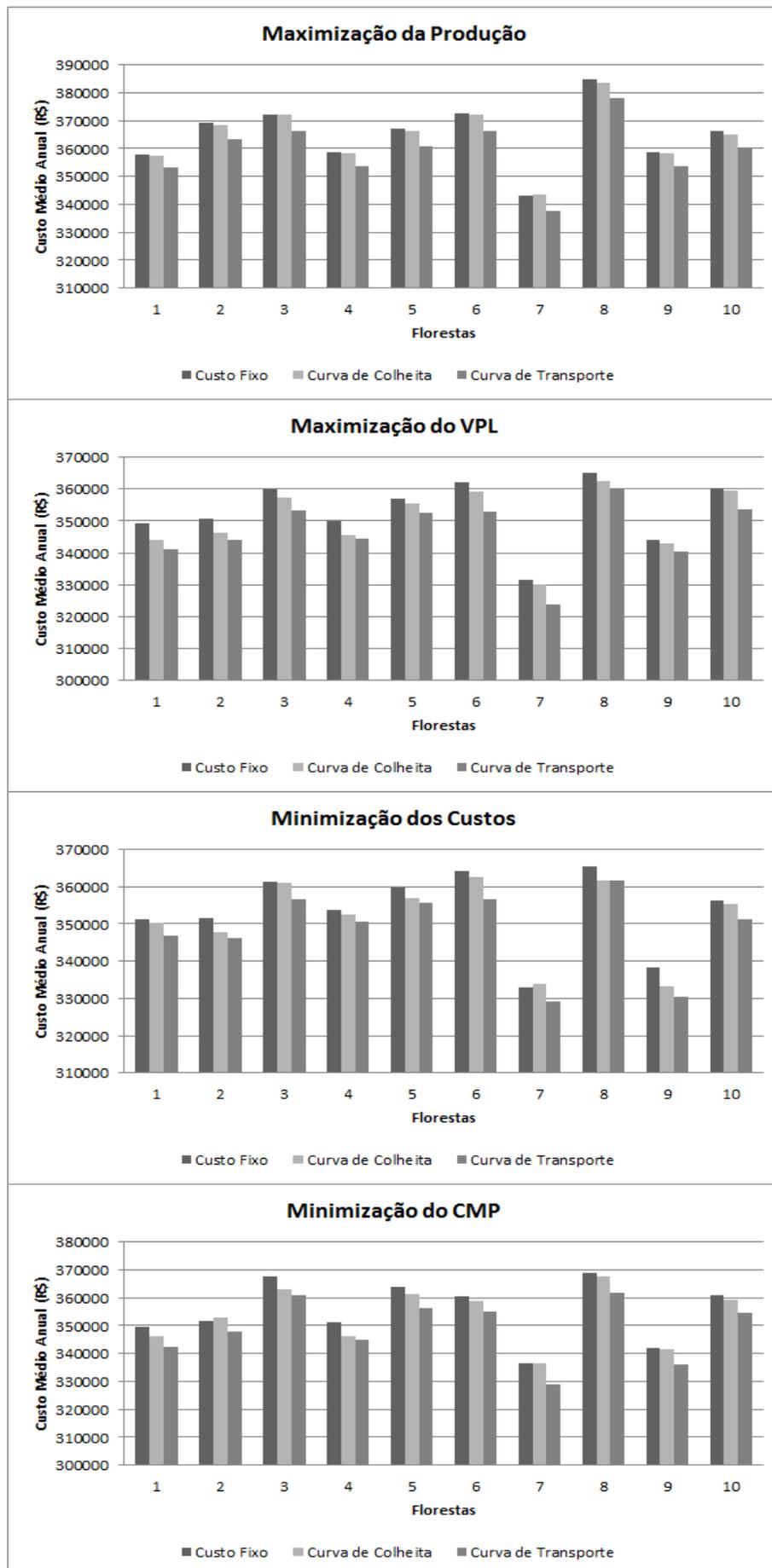


Figura 4.4: Custo de produção médio anual de cada uma das 10 florestas analisadas para cada uma das diferentes modelagens

Em relação a idade média de corte (Figura 4.5) e a produtividade média (Figura 4.6), nota-se que a variação entre os modelos não foi muito grande, sendo que o método de maximização do VPL o que sofreu maior variação. Observa-se que os modelos que utilizaram curvas de custo de colheita, tendem a ter uma idade de corte um pouco mais avançada que os outros modelos, sendo o mesmo observado para produtividade.

Considerando que as florestas são de alta produtividade e que quanto maior a produtividade menor o custo de colheita quando se utiliza as curvas de custos de colheita, é de se esperar que estes modelos deem preferência para o corte em idades mais avançadas. Quando a idade de corte é mais elevada a produtividade também aumenta o que reduz o custo de colheita por metro cúbico, dessa forma reduzindo o custo geral, em caso de colheita mecanizada essa redução ocorre de forma exponencial.

Utilizando o mesmo pensamento acima, nota-se que o mesmo explica a redução das áreas de corte, já que com um aumento de produtividade se tem uma produção maior em uma mesma área. Sendo que mesmo com uma área menor a produção ao longo do horizonte de planejamento consegue ser suprida, mostrando o porque de não ocorrer uma variação no volume entre os modelos testados.

Logo quando utiliza-se a curva de custo de colheita reduz-se os custos das florestas de alta produtividade, essa redução de custos tem como consequência um pequeno aumento da idade de corte que acarreta em um aumento de produtividade, sendo que se reduz as áreas de corte. A utilização das curvas de transporte também mostrou uma redução de custos, porém os resultados do modelo de custos fixos não foram muito diferentes dos resultados do modelo de curva de transporte, mostrando que a redução de custos das curvas de transporte é devido somente a variação de preços que ocorrem nas mesmas.

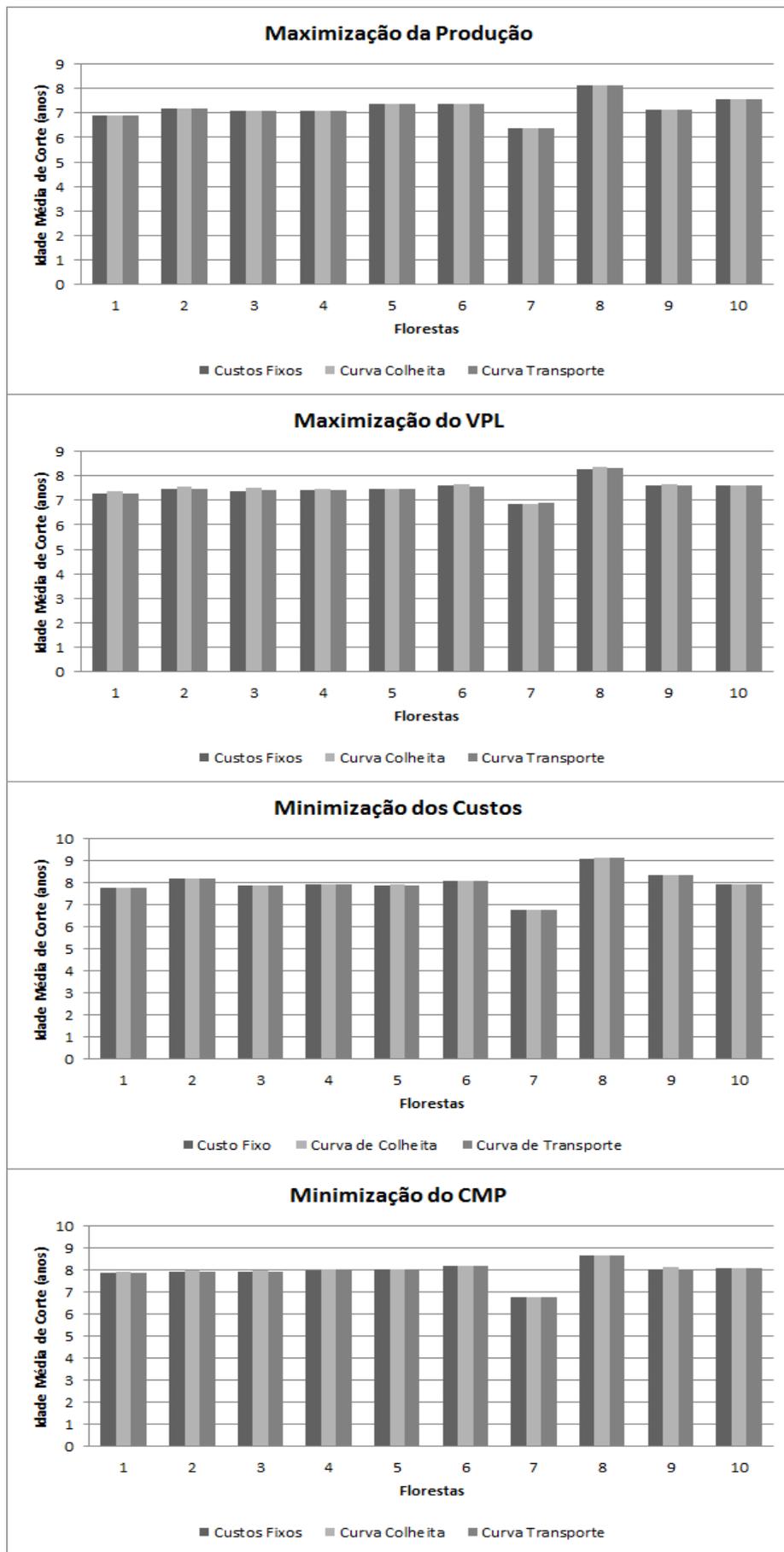


Figura 4.5: Idade média de corte para as 10 florestas analisadas para cada uma das diferentes modelagens

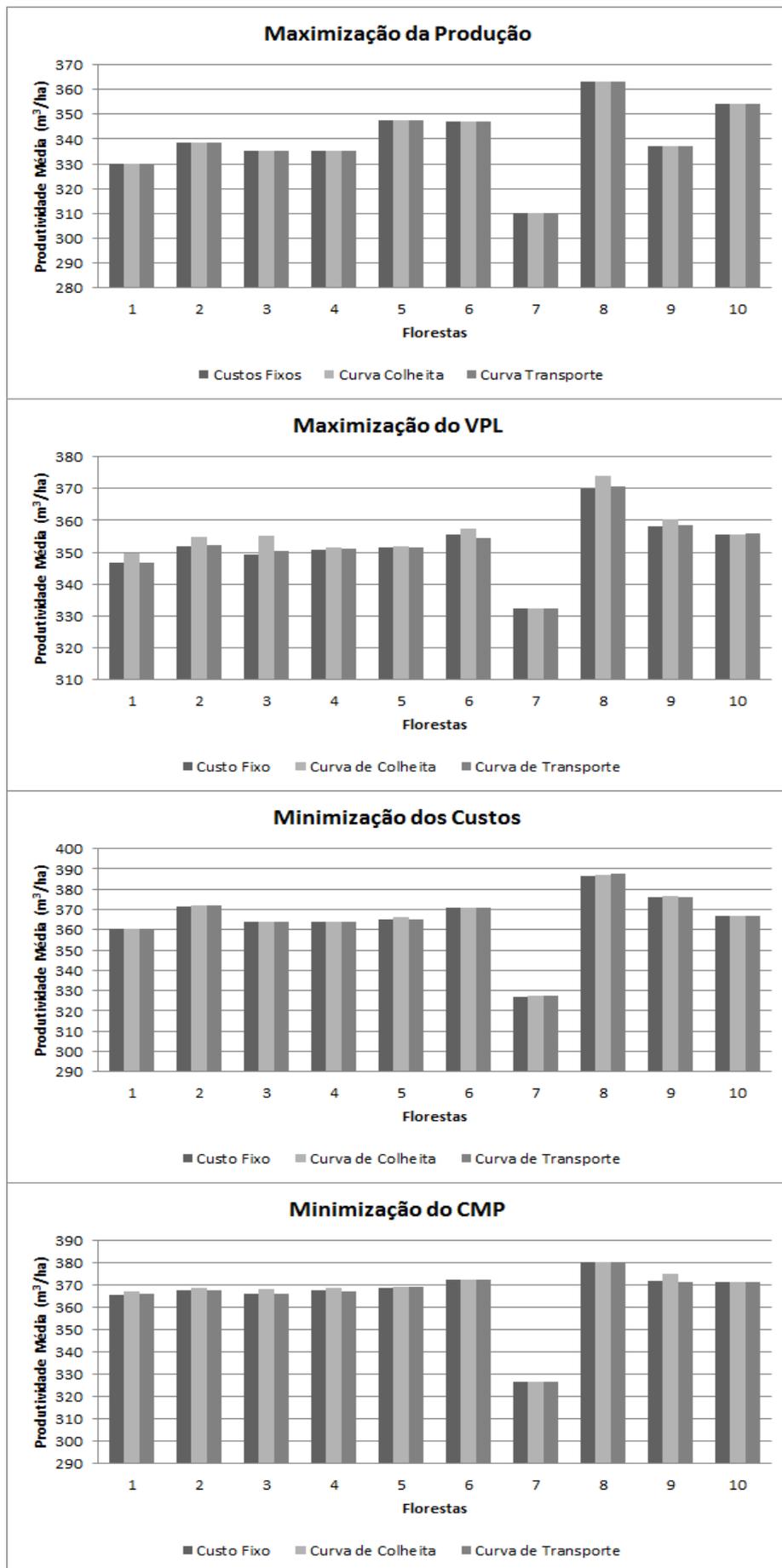


Figura 4.6: Produtividade média das 10 florestas analisadas para cada uma das diferentes modelagens

CONCLUSÕES

Todas as florestas foram reguladas independentes das curvas e do método utilizado.

O método de maximização do VPL foi o que sofreu maior variação na área de corte anual, sendo que ocorreu redução na mesma quando se utilizou a curva de custo de colheita.

Em florestas de alta produtividade os modelos que utilizam curvas de custo de colheita apresentam uma redução de custos e da área de corte anual.

As maiores reduções de custos ocorreram quando se utilizou as curvas de custo de transporte, porém a regulação não foi muito diferente de quando se utilizou custos fixos.

A utilização das curvas de custo levam em consideração as diferenças que ocorrem entre os talhões da floresta. Sendo a maior influência das curvas nas análises de projeto e na área de atuação da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BINOTI, D.H.B. **Estratégias de regulação de florestas equiâneas com vista ao manejo de paisagem**. 2010. 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- DUARTE, R. C. G. **Sistemas de corte florestal mecanizado**. 1994. 21 f. Monografia (Exigência para conclusão do curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994
- FREITAS, K.E., **Ánalyse técnica e econômica da colheita florestal**. 2005. 27f. Monografia (Exigência para conclusão do curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- GOMIDE, J.L., COLODETTE, J.L., OLIVEIRA, R.C., SILVA, C.M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n.1, p.129-137, 2005.
- JOHNSON, K. N., SCHEURMAN, H. L. Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives - discussion and synthesis. **Forest Science**, Washington, v.18, n.1, p.1-31, 1977
- MACHADO, C.C; LOPES, E.S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Revista CERNE**, v.6, n.2, p.124-129, 2000.
- MACHADO, C.C.; LOPES, E.S. **Colheita florestal**. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. p.501
- NASCIMENTO, A.C, LEITE, A.M.P., SOARES, T.S., FREITAS, L.C. de. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com feller-buncher. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 9-15, jan./mar. 2011
- REMADE. Importância do Eucalipto para a Indústria de Celulose no Brasil. **Revista da madeira**, ed. 59, 2001. Disponível em: <www.remade.com.br>. Acesso em: 01/02/2012.
- REZENDE, J.L.; FIEDLER, N.C.; MELLO, J.M.; SOUZA, A.P. **Análise técnica e de custos de métodos de colheita e transporte florestal**. Lavras: UFLA, 1997. 50p. (Boletim Agropecuário, 22)
- REZENDE, J. L. P. de, OLIVEIRA, A. D. de. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2º Ed. Viçosa: Editora UFV, 2008, 486p.
- SOUZA, M. A; PIRES, C. B. Colheita florestal: mensuração e análise dos custos incorridos na atividade mecanizada de extração. **Custos e @gronegocio on line**, v. 5, n. 2 Mai/Ago, 2009.

CAPÍTULO 5

INFLUÊNCIA DO HORIZONTE DE PLANEJAMENTO EM MODELOS DE REGULAÇÃO FLORESTAL

INTRODUÇÃO

A regulação florestal possibilita a sustentabilidade das florestas, utilizando recursos florestais de forma otimizada, retirando o máximo de benefícios das florestas de maneira racional, assim obtendo um fluxo contínuo de produção sem comprometer o suprimento das gerações futuras (MIRANDA, 2003).

A otimização da produção florestal é fundamental para o funcionamento das atividades industriais e para a logística do segmento empresarial. Ao longo dos anos o planejamento dos empreendimentos florestais obrigou as empresas a utilizarem técnicas computacionais para garantir, ao tomador de decisão, maior confiabilidade na gestão da informação, pois a complexidade e magnitude de informações desafiam a capacidade humana na resolução dos problemas (GOMIDE et al, 2009).

Segundo Tavares (1991), em função dos níveis de abordagens e objetivos, o planejamento pode ser classificado em: estratégico, tático e operacional. O primeiro abrange toda a organização e tem características principais como: horizonte de planejamento de longo prazo, sendo definido pela administração superior das empresas. O Segundo é executado em nível de departamento, sendo projetado para horizontes de médio prazo, geralmente anual. O planejamento operacional é mais detalhado, sendo executado para cada tarefa ou atividade, projetado para horizonte de planejamento de curto prazo e é destinado ao alcance das metas específicas.

Nota-se então que o planejamento da produção florestal é entendido como um planejamento estratégico, sendo, portanto passível de erros. Neste contexto vê-se a importância das técnicas de tomadas de decisão como forma de se evitar erros e minimizar as chances de escolhas erradas.

Segundo Alonso (2003), a Pesquisa Operacional vem colaborando muito no planejamento florestal, uma vez que modelos de planejamento envolvem um número muito grande de variáveis bem como uma série de decisões devem ser tomadas ao longo do tempo. Já Rose (1999), cita a capacidade do cérebro humano para entender e ordenar interações complexas e suas consequências nas tomadas de decisão, segundo o autor

apesar da relevante experiência dos manejadores florestais nos processos de tomada de decisão a capacidade do cérebro não deve ser superestimada.

Visto que o cérebro humano não está livre de errar ou interpretar dados complexos erroneamente, têm-se nos sistemas de tomadas de decisão fortes ferramentas auxiliadoras do manejador. Segundo Rodrigues (2001), no setor florestal a possibilidade de erros ou decisões pobres tem consequências mais fortes, já que no mesmo a convivência com o erro ocorre no longo prazo.

De todos os fatores que influenciam os modelos regulação florestal o horizonte de planejamento é um dos mais importantes, já que o mesmo representa o período de transição entre uma floresta não regulada para uma regulada. Entretanto na literatura ainda não se tem um consenso sobre qual o melhor horizonte a ser utilizado em um modelo de regulação. Na maioria das vezes se utiliza o horizonte de 21 anos baseando em aspectos da rotação da floresta, considerando plantio com corte aos 7 anos, seguido de condução por talhadia com corte aos 14 anos, mais uma condução por talhadia com corte aos 21 anos, onde então se teria uma floresta regulada.

Vários fatores devem ser considerados ao longo do horizonte de planejamento, como as flutuações que ocorrem na produção, nos custos, nas áreas de corte, etc. Todos esses fatores afetam o orçamento e o os planejamentos táticos e operacionais da empresa. Sendo assim, o desejável é um horizonte de planejamento que seja eficiente para regular a floresta, consiga suprir a demanda de madeira e tenha um baixo custo durante a transição.

Este trabalho tem por objetivo analisar diferentes horizontes de planejamento em modelos de regulação florestal, a fim de estudar as variações ocorridas durante o período de transição.

MATERIAL E METODOS

Caracterização da área de estudo

O estudo de caso foi conduzido empregando dados de uma floresta idealizada que representa características de distribuição comumente encontrada no setor florestal. A área total da floresta é de 3020 hectares sendo dividida em 100 talhões com áreas médias de 30,20 hectares. A distância média dos talhões até a fábrica é de 22,72 quilômetros. A madeira destina-se a manutenção de uma fábrica de celulose. A classe de idade atual da floresta está representada na Figura 5.1.

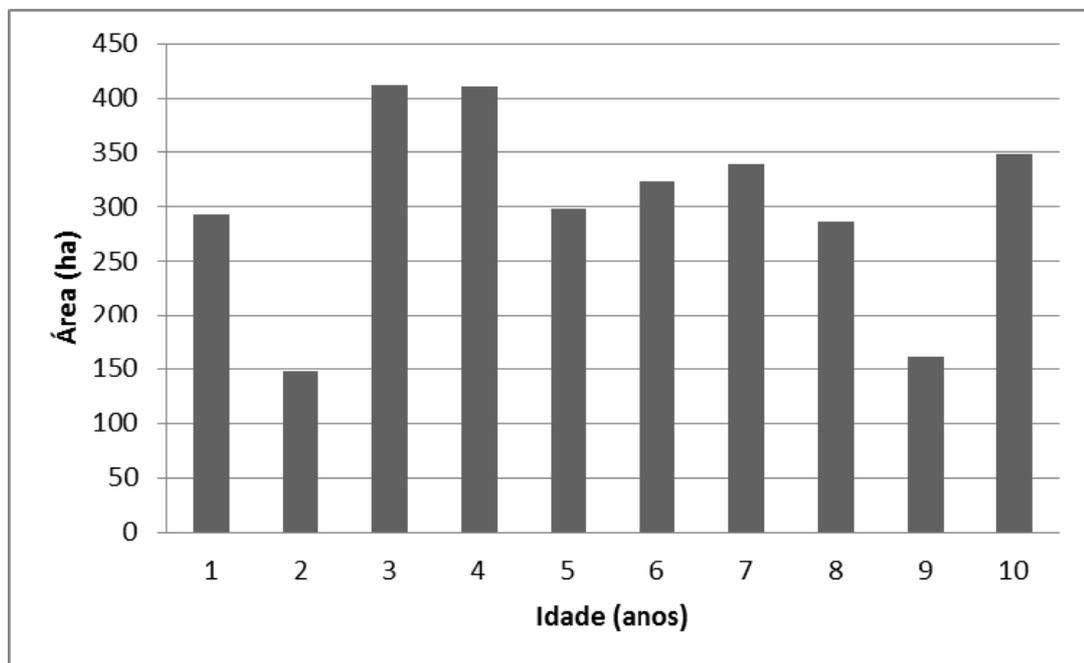


Figura 5.1: Distribuição inicial das classes de idade

Formulação do problema:

O modelo de programação linear foi formulado empregando a teoria do Modelo I conforme descrito por Johnson e Scheurman (1977). A sua solução foi obtida empregando o software RPF (BINOTI et al, 2011), que será utilizado também para simular cenários de manejo e planejamento. As configurações do computador utilizado para a resolução dos problemas foram: Sistema operacional Windows 7 Ultimate 32 bits; processador Intel core i3 2,27 GHz 3 Mb cache, memória RAM 3Gb.

Função Objetivo - 1: Maximização da Produção VPL

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Função Objetivo - 2: Maximização do VPL

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N VPL_{ij} X_{ij} \quad (2)$$

$$VPL_{ij} = \sum_{k=1}^{H-1} R_k (1+r)^{-k} - C_k (1+r)^{-k} \quad (3)$$

Função objetivo - 3: Minimização do Custo

$$MinZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij} \quad (4)$$

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^{H-1} C_k (1+r)^{-k} \quad (5)$$

Função Objetivo - 4: Minimização do Custo Médio de Produção

$$MinZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N CMP_{ij} X_{ij} \quad (6)$$

$$CMP_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{H-1} C_k (1+r)^{-k}}{\sum_{k=1}^{H-1} P_k (1+r)^{-k}} \quad (7)$$

Todas sujeitas a:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij} \leq A_i \quad (i=1,2,\dots,M) \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij(k+1)} X_{ij} \geq D \min_k \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij(k+1)} X_{ij} \leq D \max_k$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijt} > \frac{S}{NC} - \left(\frac{S}{NC} * 0,05 \right) \quad (t=1,2,\dots,NC) \quad (10)$$

Em que:

VPL_{ij} = valor presente líquido do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j , calculado ao longo do horizonte de planeamento, mais o valor presente do estoque final; P_{ij} = Produção de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j ; CMP_{ij} = Custo médio de produção do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j , calculado ao longo do horizonte de planeamento; C_{ij} = Custo de produção do fluxo de caixa de cada unidade de manejo i sobre a prescrição j , calculado ao longo do horizonte de planeamento; X_{ij} = área da unidade de manejo i assinalada a prescrição j ; M = Número de unidades de manejo; N = Número de prescrições j aplicada a cada unidade de manejo i ; R_k = Receita total no período k ; C_k = Custo total no período k ; P_k = Produção volumétrica no período k ; r = Taxa de juros por período; H = Tamanho do horizonte de planeamento; A_i = área da unidade de manejo i ; V_{ijk} = Volume produzido pela unidade de manejo i sobre a prescrição j no período k ; $D \min_k$ = demanda mínima no ano k ; $D \max_k$ = demanda máxima no período k ; X_{ijk} = área da i -ésima parcela manejada sobre a j -ésima prescrição, onde as árvores terão t períodos no período final do horizonte de planeamento; S = área total do povoamento; NC = número de classes de idade;

O horizonte de planejamento deve ser escolhido com base em vários fatores como, por exemplo, o objetivo do projeto, sendo que horizontes muito grandes possibilitam maiores erros de análise já que várias mudanças podem ocorrer durante o período como: mudanças econômicas, alteração de custos, etc. Por outro lado, horizontes curtos podem não levar em consideração acontecimentos importantes que podem ocorrer após o período adotado (REZENDE e OLIVEIRA, 2008).

Os quatro métodos foram utilizados e analisados com diferentes horizontes de planejamento. Os intervalos utilizados para a regulação da floresta foram de 7 anos a 21 anos, sendo portanto analisados 15 períodos diferentes, ao todo foram analisados 60 modelos.

Para os modelo de maximização do VPL e minimização dos custos foi utilizada uma taxa de juros de 8% aa, e um preço da madeira de 80 R\$/m³ (reais por metro cúbico).

As idades de corte utilizadas foram 4, 5, 6, 7, 8 anos, que representam as idades de máximo incremento médio anual (IMA) das plantações de eucalipto das empresas de celulose brasileiras. A idade de regulação utilizada será de 6 anos. A máxima produção permitida foi de 200.000 m³ de madeira e a produção mínima de 150.000 m³, sendo estes valores compatíveis com a curva de produção e com a idade regulatória de 6 anos. Como o objetivo é analisar a influência das variáveis econômicas se considerará apenas reforma imediata após o corte.

Estimativas de produção e custos:

As estimativas de produção futura, bem como os custos do projeto florestal e de colheita foram obtidas do trabalho de Binoti (2010).

Para estas florestas foram considerados o plantio de apenas um clone híbrido (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*). A função logística utilizada para se calcular a produção futura encontra-se na equação 11. A curva do custo de colheita utilizada está descrita na equação 12. Já os custos de transporte podem ser observados na Tabela 5.2 e foram obtidos pela equação 13. Os custos referentes à implantação e manutenção estão descritos na tabela 5.3.

$$\text{Volume}(m^3 \cdot ha^{-1}) = \frac{485,68}{1 + 7,4275 e^{-0,4062 \text{Idade(Anos)}}}$$

(11)

$$\text{Custo (R\$/m}^3) = 30,59 \times \text{Produtividade}^{-0,078}$$

(12)

$$\text{Custo}(R\$/m^3) = \left(\frac{d * 2}{I * C * P} \right) * \frac{1}{Cp}$$

(13)

Em que:

d = distância do talhão a fábrica (Km); Cp = 22 m³ (capacidade de transporte do veículo); I = 3,5 (Índice de transporte para até 50 Km); C = 2,5 Km/L (eficiência energética do veículo de transporte); P = 1,95 R\$ (preço do diesel).

Tabela 5.2: Preço de mercado para o transporte de madeira calculado a partir da equação 13

DISTÂNCIA (km)	PREÇO DE MERCADO (R\$/m ³)
5	1,24
10	2,48
15	3,72
20	4,96
25	6,20
30	7,45
35	8,69
40	9,93
45	11,17
50	12,41

Tabela 5.3: Custos empregados para a avaliação econômica dos modelos de regulação florestal

Ano	Atividade	Rendimento (Un/ha)	Unidade	Custo Unitário	Aplicação (%)	Total (R\$/ha)
1º ano	Adubação Manual (Calcário)	20,00	hh	14,74	100%	294,58
1º ano	Adubação NPK 06-10-29	13,00	hh	14,34	100%	186,47
1º ano	Adubação NPK 06-30-06	10,00	hh	12,40	100%	123,95
1º ano	Ajudante Florestal	20,00	hh	11,39	100%	227,74
1º ano	Alinhamento/Marcação	10,00	hh	11,39	100%	113,87
1º ano	Capina Química Manual Total	11,00	hh	14,51	80%	127,68
1º ano	Capina Química Mecânica Total	0,95	hh	88,26	20%	16,77
1º ano	Combate à Formiga Sistemático	3,50	hh	11,93	100%	41,75
1º ano	Combate à Formiga Convencional	8,00	hh	11,93	110%	104,97
1º ano	Coveamento Motorizado	17,00	hh	22,99	80%	312,63
1º ano	Irrigação Caminhão Pipa	16,00	hh	18,57	100%	297,18
1º ano	Limpeza Manual	80,00	hh	11,39	30%	273,29
1º ano	Operador de Motoserra	2,00	hh	27,69	100%	55,38
1º ano	Planificação	5,00	hh	80,00	0%	-----
1º ano	Plantio com gel	17,00	hh	16,71	100%	284,00
1º ano	Replanteio com gel	7,00	hh	16,71	100%	116,94
1º ano	Roçada Manual	30,00	hh	11,39	70%	239,13
1º ano	Subsolagem/Fosfatagem	1,50	hh	135,70	20%	40,71
1º ano	Calcário	1,50	t	59,94	100%	89,91
1º ano	Cupinicida	0,03	Kg	845,13	100%	27,89
1º ano	Formicida	8,00	Kg	4,27	110%	37,58
1º ano	Frete Mudanças/Insumo	1,00	ha	132,00	100%	132,00
1º ano	Gel	3,00	Kg	6,69	100%	20,07
1º ano	Herbicida	6,00	I	9,53	100%	57,18
1º ano	Map	0,33	Kg	1,35	100%	0,45
1º ano	Mudas	1,20	Mil	231,40	100%	277,71
1º ano	NPK 06-10-29	0,40	t	949,95	100%	379,98
1º ano	NPK 06-30-06	12,00	t	939,71	100%	113,57
1º ano	Topografia	1,00	ha	65,67	100%	65,67
TOTAL ANO 1						4059,05
2º ano	Adubação NPK 06-10-29	13,00	hh	14,34	100%	186,47
2º ano	Ajudante Florestal	10,00	hh	11,14	100%	111,40
2º ano	Capina Química Manual Total	15,00	hh	14,51	100%	217,64
2º ano	Combate à Formiga Convencional	6,00	hh	11,93	110%	78,73
2º ano	Construção Manual de Aceiros	200,00	hh	11,39	10%	227,74
2º ano	Coroamento	16,00	hh	11,39	100%	182,19
2º ano	Roçada Manual - Pós-plantio	16,00	hh	11,39	100%	182,19
2º ano	Formicida	7,00	Kg	4,27	110%	32,88
2º ano	Herbicida	3,00	I	9,53	100%	28,59
2º ano	NPK 06-10-29	0,40	t	949,95	100%	379,98
TOTAL ANO 2						1627,05
3º ano	Capina Química Manual Total	13,00	hh	14,51	100%	188,62
3º ano	Combate à Formiga Convencional	6,00	hh	11,93	110%	78,73
3º ano	Manutenção Manual de Aceiro	200,00	hh	11,39	10%	227,74
3º ano	Roçada Manual	16,00	hh	11,39	100%	182,19
3º ano	Formicida	5,00	Kg	4,27	110%	23,49
3º ano	Herbicida	6,00	Kg	9,53	100%	57,18
TOTAL ANO 3						757,95
4º ao 14º ano	Capina Química Manual Total	6,00	hh	11,93	110%	78,73
4º ao 14º ano	Formicida	2,00	Kg	4,27	110%	9,39
TOTAL ANO 4 AO 14						88,12

Fonte: Binoti (2010)

RESULTADOS

Todos os 60 modelos testados foram regulados independentemente do horizonte de planejamento utilizado. Para os horizontes muito curtos próximos a idade regulatória notou-se que em algumas prescrições geradas não se tinha produção, já que as mesmas não atingiam as idades de corte. Essas prescrições não interferiram nos resultados obtidos já que as mesmas não eram escolhidas como melhor opção pelo solver devido principalmente às restrições de demanda de madeira.

Os modelos foram analisados utilizando como indicadores a área de corte média anual, a produção média anual, o custo médio anual e a idade média de corte anual. Para analisar a dispersão ao longo dos horizontes de planejamento utilizou-se o coeficiente de variação o que permite a comparação entre os diferentes modelos.

Tabela 5.4: Indicadores analisados na maximização da produção para os diferentes horizontes de planejamento

Horizonte de Planejamento	Área (ha)		Produção (m ³)		Custo (R\$)		Idade (anos)	
	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)
7	504,29	11,33	183117	8,38	288158	7,78	7,85	15,10
8	504,45	10,52	178887	11,70	288446	12,52	7,60	16,50
9	510,20	8,43	175444	13,67	292509	13,23	7,32	18,20
10	497,89	8,64	172423	13,00	290378	12,81	7,35	16,61
11	495,33	9,24	170116	13,91	290301	12,00	7,26	16,29
12	498,38	9,47	168304	13,81	294171	13,55	7,14	17,15
13	503,84	9,06	166782	14,07	294833	15,97	6,98	18,10
14	502,74	7,97	165432	13,95	291557	11,94	6,92	17,77
15	501,68	7,42	164193	13,64	296537	11,20	6,87	17,48
16	501,56	7,26	163109	13,36	296530	13,44	6,82	17,34
17	500,86	7,36	162193	13,06	298794	7,59	6,78	17,14
18	499,75	7,18	161380	12,74	297572	10,06	6,76	16,82
19	500,40	6,96	160640	12,59	299764	8,25	6,71	16,75
20	498,03	6,65	159968	12,17	301885	12,45	6,71	16,25
21	496,75	5,88	159354	11,94	300077	12,45	6,69	15,84

Para a floresta analisada ser completamente regulada ao final do horizonte do planejamento ter-se-ia áreas com o tamanho de 503,33 hectares. Pela Tabela 5.4 observam-se os indicadores descritos no paragrafo anterior para o método de maximização da produção. Observa-se na mesma que a área media de corte anual está bem próxima da área de regulação para todos os horizontes testados, porém também se

observa que a dispersão ocorrida ao longo do tempo diminui à medida que se aumenta o horizonte.

O padrão para a produção foi um pouco diferente. Observou-se que o método prioriza a máxima produção nos primeiros anos do horizonte ficando sempre no limiar superior da demanda de madeira e nos anos subsequentes tende a ficar no limiar inferior. Assim observa-se que à medida que se aumenta o horizonte de planejamento a média do volume produzido tende ao limiar inferior da demanda de produção. Por outro lado o coeficiente de variação apresenta uma tendência normal crescendo até o horizonte de planejamento de 14 anos e depois decrescendo.

Para os custos não foi observado tendência, isso ocorre já que os mesmos dependem muito do custo de transporte e de colheita. Mas é interessante observar que o menor custo médio ocorreu no horizonte de planejamento de 7 anos sendo também o que apresentou um dos menores coeficientes de variação. Em relação à idade média de corte ocorreu uma redução na mesma quando se aumentou o horizonte de planejamento, porém as variações medidas pelo coeficiente de variação foram bastante irregulares.

Na Tabela 5.5 encontram-se os parâmetros referentes à maximização do VPL, neste caso nota-se que quando se aumenta o horizonte de planejamento ocorre uma redução da área média de corte, o mesmo ocorrendo com o coeficiente de variação. O mesmo padrão pode ser observado para a produção média, porém o coeficiente de variação do mesmo seguiu a mesma tendência da maximização da produção, ou seja, cresceu até o horizonte de 11 anos e depois começou decrescer.

Para o custo médio não ocorreu uma tendência como observado para os outros indicadores, sendo que o menor custo médio ocorreu quando o horizonte de planejamento foi de 9 anos e o menor coeficiente de variação aos 15 anos. Já a idade média de corte também decresceu à medida que se aumentou o horizonte bem como o coeficiente de variação, ou seja, para a maximização do VPL quando se aumenta o horizonte de planejamento diminui-se a idade média de corte.

Tabela 5.5: Indicadores analisados na maximização do VPL para os diferentes horizontes de planejamento

Horizonte de Planejamento	Área (ha)		Produção (m ³)		Custo (R\$)		Idade (anos)	
	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)
7	501,33	10,82	182531	8,16	293446	8,54	7,86	14,87
8	504,57	10,45	178868	11,69	287514	12,84	7,59	16,47
9	494,04	9,97	174907	11,04	281446	10,76	7,57	15,74
10	487,38	11,04	172024	12,37	287052	15,86	7,53	15,48
11	486,23	11,55	169920	13,80	282627	14,60	7,41	15,13
12	481,45	11,75	167926	13,54	281793	13,81	7,39	14,30
13	480,02	11,62	166312	13,34	283921	14,35	7,33	14,29
14	477,11	11,29	164920	13,13	282712	13,95	7,30	13,96
15	470,95	11,21	163453	12,12	281469	7,53	7,34	13,64
16	469,49	11,17	162359	12,06	287815	9,29	7,30	13,30
17	467,84	10,73	161484	11,94	286113	13,80	7,27	13,02
18	467,34	10,39	160689	11,75	288306	11,57	7,23	12,94
19	466,58	10,11	159998	11,61	288853	11,65	7,20	12,75
20	466,22	9,79	159300	11,29	292352	13,56	7,17	12,73
21	464,88	9,62	158722	11,18	290693	9,32	7,16	12,31

Na Tabela 5.6 observam-se os indicadores para o método de minimização do Custo Médio de Produção (CMP). Por este método tem-se um padrão diferente dos outros dois, para a área tem-se que menores valores ocorrem nos horizontes mais longos, porém as menores variações ocorrem nos horizontes mais curtos. A partir do ano 15 nota-se também que ocorre a estabilização das áreas médias de corte e de seus coeficientes de variação. Esta estabilização é melhor observada ao se analisar o volume, neste caso observa-se que a partir do horizonte de planejamento de 16 anos ocorre uma estabilização completa do volume, sendo a variação anual de 0%, dada pelo coeficiente de variação. Ou seja, para todo o horizonte de planejamento o volume de corte anual foi de exatamente 150.000 metros cúbicos. Pode-se dizer que para um horizonte de planejamento superior a 16 anos tem-se uma regulação completa utilizando este método, uma coisa interessante de se observar que com este método tem-se um controle por volume já que o mesmo não sofreu mudanças ao longo dos anos e sim a área de corte.

O custo como nos outros dois métodos acima discutidos também não teve um padrão para este método, porém a menor variação ocorreu no horizonte de planejamento de 16 anos, já a menor média foi com 8 anos. A idade não sofreu grandes influências com a variação do horizonte de planejamento, conforme observado na Tabela 5.6, a média e o coeficiente de variação não seguem um padrão bem definido, porém nota-se que a partir do horizonte de 16 anos as variações entre os valores dos horizontes subsequentes são bem pequenas.

Tabela 5.6: Indicadores analisados na minimização do CMP para os diferentes horizontes de planejamento

Horizonte de Planejamento	Área (ha)		Produção (m³)		Custo (R\$)		Idade (anos)	
	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)
7	468,43	5,50	172319	8,86	283275	11,82	7,94	14,50
8	458,13	9,03	168827	10,49	269022	12,64	8,02	15,18
9	450,96	10,46	164291	11,17	275501	14,69	7,95	15,26
10	460,93	7,53	162596	12,43	283464	8,53	7,58	15,57
11	460,64	7,51	160778	12,30	290572	8,82	7,46	15,16
12	455,43	8,31	158965	12,13	291575	7,41	7,45	14,95
13	435,38	10,68	155156	8,08	283496	9,00	7,67	13,82
14	421,11	12,58	152093	3,64	286488	11,22	7,88	14,74
15	422,50	11,84	150858	2,00	287652	9,51	7,76	14,62
16	422,48	11,57	150000	0,00	293551	6,77	7,71	15,11
17	420,77	11,79	150000	0,00	292060	9,42	7,76	15,44
18	420,12	11,90	150000	0,00	292443	11,82	7,76	15,60
19	420,47	11,92	150000	0,00	294259	13,08	7,75	15,65
20	419,92	11,97	150000	0,00	291074	8,45	7,77	15,71
21	421,16	11,95	150000	0,00	290095	10,42	7,73	15,77

Outro método analisado foi o de minimização dos custos, conforme observado na Tabela 5.7. Nota-se que este método foi bem parecido com o anterior. As áreas de corte média anual foram diminuindo com o aumento do horizonte de planejamento. Também nota-se que ocorreu uma estabilização a partir do horizonte de planejamento de 16 anos. Em comparação com o método anterior tem-se que para os horizontes de planejamentos mais curtos o método de minimização do CMP teve variações menores que este.

Neste método, conforme visto no método anterior, a estabilização é melhor observada pela produção. Porém, nota-se, que por este método as variações que ocorrem na produção nos horizontes de planejamento mais curtos são menores quando comparado com o método de minimização do CMP.

Os custos médios não tiveram um padrão como todos os outros métodos. Porém fazendo a comparação deste método com o de minimização do CMP, observa-se que o método anterior apresenta uma variação menor de custos nos horizontes mais curtos. Já nos horizontes mais longos não se tem um padrão que possa ser comparado entre os dois métodos. Em relação à idade média de corte este método segue o mesmo padrão do anterior, sendo as médias entre os dois métodos bem como os coeficientes de variação bem parecidos.

Tabela 5.7: Indicadores analisados na minimização dos custos para os diferentes horizontes de planejamento

Horizonte de Planejamento	Área (ha)		Produção (m³)		Custo (R\$)		Idade (anos)	
	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)
7	461,15	9,76	164745	7,39	288182	15,61	7,86	11,21
8	448,13	12,41	161647	7,71	282817	18,74	7,99	14,05
9	439,17	13,35	159162	7,76	281479	16,84	8,04	14,90
10	432,48	13,69	156945	8,77	284346	10,83	8,07	15,89
11	427,15	13,80	154918	6,73	275207	12,63	8,09	15,20
12	427,19	12,57	152103	4,79	286595	10,39	7,84	13,83
13	426,19	12,12	151224	2,92	288439	12,00	7,77	13,88
14	423,67	12,13	150761	1,89	289796	13,36	7,78	14,44
15	423,01	11,72	150325	0,84	287538	13,72	7,73	14,44
16	423,71	11,49	150000	0,00	290391	10,08	7,68	15,03
17	423,68	11,60	150000	0,00	292335	11,46	7,68	15,20
18	423,08	11,68	150000	0,00	294006	10,04	7,69	15,43
19	423,03	11,46	150000	0,00	294424	8,86	7,68	15,12
20	422,31	11,30	150000	0,00	295500	11,32	7,70	14,99
21	421,74	11,28	150000	0,00	295907	7,12	7,70	14,99

CONCLUSÃO

Todos os métodos utilizados e todos os horizontes de planejamento utilizados regularam a floresta.

Os horizontes de planejamento mais curtos reduzem o número de prescrições viáveis, já que algumas não apresentam produção.

Todos os métodos tiveram a área de corte médio anual e a idade média de corte reduzida com o aumento do horizonte de planejamento.

Os métodos de minimização tiveram a produção volumétrica estabilizada a partir do horizonte de 16 anos. Já para os métodos de maximização a média da produção reduziu à medida que se aumentou o horizonte de planejamento.

Não foi observado um horizonte de planejamento ideal para a redução dos custos, visto que os mesmos variam bastante com a produtividade e a distancia do talhão a fábrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, L.R.L. **O problema da consideração de restrições de adjacência em um planejamento florestal.** 2003. 114p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2003

GOMIDE, L.R., ARCE, J.E., SILVA, A.C.L. da. Uso do algoritmo genético no planejamento florestal considerando seus operadores de seleção. **Revista Cerne**, Lavras, v. 15, n. 4, p. 460-467, out./dez. 2009

MIRANDA, G.M. **Regulação de florestas equianeas e implantação e regulação de povoamentos mistos.** 2003, 83p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

REZENDE, J. L. P. de, OLIVEIRA, A. D. de. **Análise econômica e social de projetos florestais.** 2º Ed. Viçosa: Editora UFV, 2008, 486p.

RODRIGUES, F.L., **Metaheurística e sistema de suporte à decisão no gerenciamento de recursos florestais.** 2001. 255p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

ROSE, D.W. Data, models and technology in forest planning. **Revista Florestal**, Lisboa, 12(1), p35-44, 1999

TAVARES, M.C. **Planejamento estratégico. A opção entre sucesso e fracasso empresarial.** Ed. Harbra, São Paulo, 1991. 199p.

CONCLUSÃO GERAL

O programa Regulação da Produção Florestal (RPF) é eficiente para a resolução de modelos de regulação florestal.

Todas as florestas utilizadas nos estudos foram reguladas independentes do método utilizado.

Os métodos de maximização foram os mais dispendiosos, com maior produção e maior área de corte anual, menor idade de corte e menor produtividade. Os métodos de minimização foram mais eficientes na redução dos custos. A utilização dos métodos de minimização tem como consequência a redução da área de corte anual e da produção anual, e o aumento da idade de corte e da produtividade, conforme descrito na Figura 1.

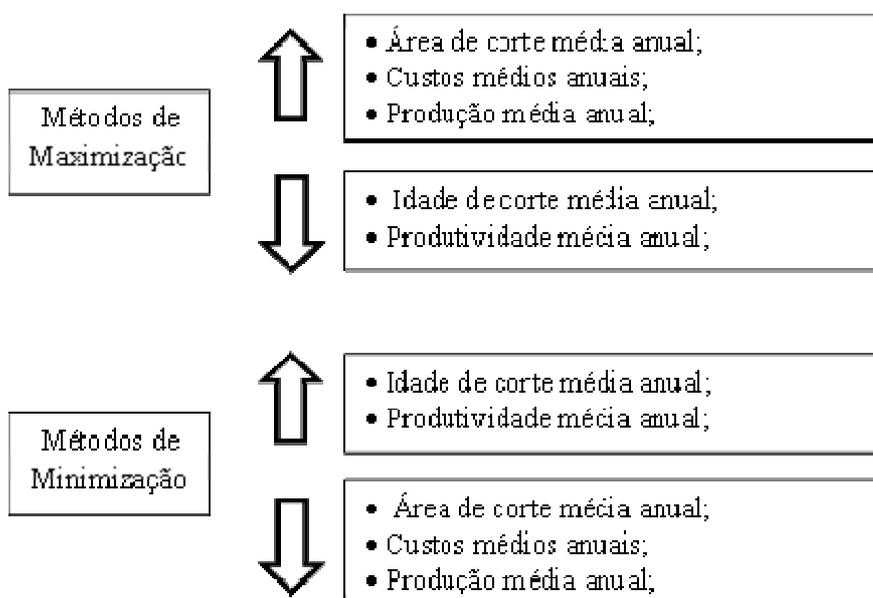


Figura 1: Diferença entre os métodos de maximização e minimização

Para o método de maximização do VPL tem-se que quanto maior for o preço da madeira e a taxa de juros, maior a área de corte anual, e menor a idade média de corte, conforme Figura 2.

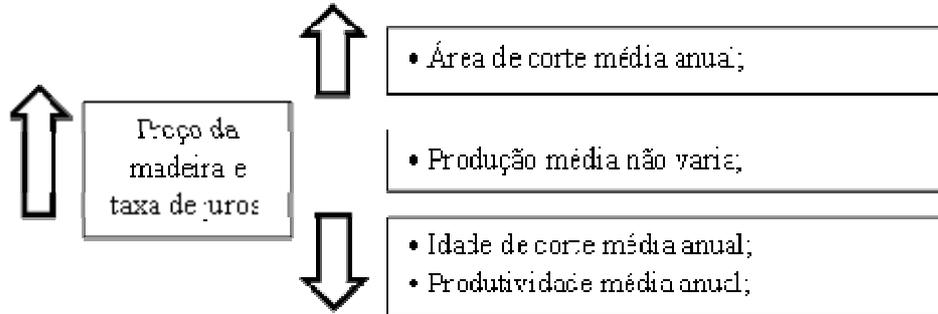


Figura 2: Dinâmica da taxa de juros e do preço da madeira em modelos de maximização do VPL.

A utilização das curvas de custos foi eficiente para reduzir custos. Sendo o método de maximização do VPL o que sofreu maior variação com a utilização da curva de custos de colheita.

As maiores reduções de custos ocorreram quando se utilizou as curvas de custo de transporte, porém a regulação não foi muito diferente de quando se utilizou custos fixos, a dinâmica das curvas pode ser observada na Figura 3.

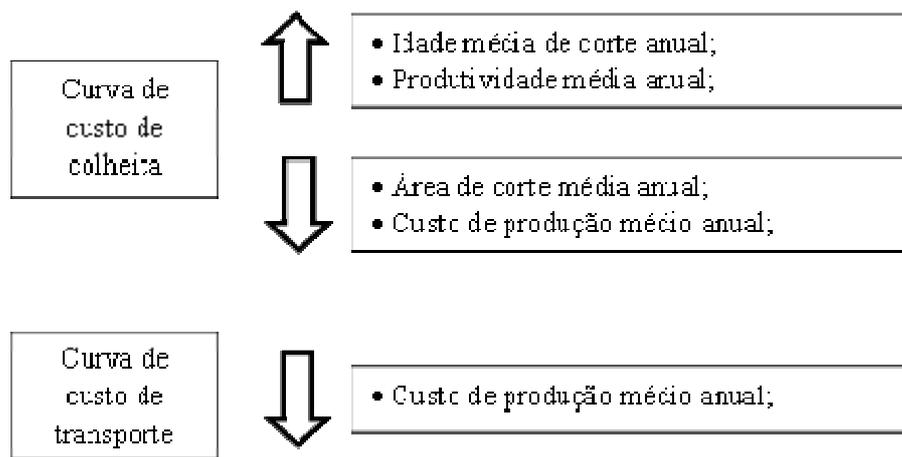


Figura 3: Dinâmica das curvas de custos nos modelos de regulação florestal

Todos os métodos tiveram a área de corte médio anual e a idade média de corte reduzida com o aumento do horizonte de planejamento (Figura 4). Os métodos de minimização tiveram a produção volumétrica estabilizada a partir do horizonte de 16

anos. Já para os métodos de maximização a média da produção reduziu à medida que se aumentou o horizonte de planejamento.

Não foi observado um horizonte de planejamento ideal para a redução dos custos, visto que os mesmos variam bastante com a produtividade e a distancia do talhão a fábrica.

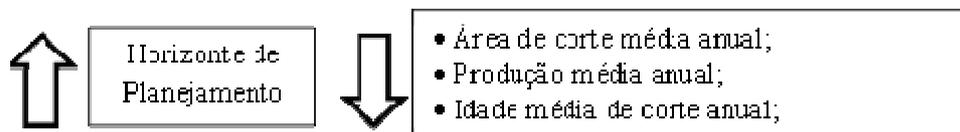


Figura 4: Influência do horizonte de planejamento nos modelos de regulação florestal