

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO SUSTENTADA DE MATÉRIA-PRIMA FLORESTAL
PARA EMPRESAS VERTICALIZADAS

Leonel Freitas Menezes *
Paulo Renato Schneider **
Jorge Euclides M. Klein ***

RESUMO

O presente trabalho consta de uma aplicação de programa -
ção linear no planejamento da produção florestal para empresas
verticalizadas, que utilizam como matéria-prima espécies do gê-
nero Eucalyptus.

Foram formulados três modelos de planejamento objetivando
a maximização do valor presente líquido da floresta e outros
três buscando a minimização dos custos. Ainda foi avaliada a in-
fluência da variação da taxa de juro na política de planejam-
to da produção.

A inclusão do corte sustentado, como restrição de volume
mínimo a ser produzido anualmente, tanto na função de maximiza-
ção como na de minimização, homogenizou o fluxo de produção de
matéria-prima ao longo do período de planejamento, justificando
as afirmações seculares da necessidade de manejar as florestas
com base neste princípio.

O aumento da taxa mínima atrativa provoca uma antecipação
dos cortes, apesar de não alterar significativamente o volume
produzido.

PALAVRAS-CHAVE: Programação linear, produção, taxa de juros,
Eucalyptus sp.

PLANNING OF SUSTAINED-YIELD OF FOREST FOR VERTICALLY INDUSTRY

SUMMARY

The present paper is a application of linear programming in
forest yield planning for vertically industry, where Eucalyptus
is used as crude matter.

In this work, are formulated three objective planning models
to maximize forest present net worth and other three models are
used to minimize costs. Also, verified the effect of variation
interest rate in the political planning yield.

The inclusion of sustained-cut, considered as a restriction
in anual volume minimum production in the maximization function
as well as in the minimization function, show a regulated wood
flow throughout planning period, justify anterior affirmations
with the necessity of forest management based on sustained -cut
principle.

An increment on interest rat provocate an antecepeation in
cutting, with a small change in total production volume.

KEY WORDS: Linear programming, yield, interest rate, Eucalyptus sp.

* Engº Florestal, Mestrando em Engª da Produção da UFSM

** Engº Florestal, Dr., Prof. de Manejo Florestal da UFSM

*** Engº Florestal da Riocell S.A.

1- INTRODUÇÃO

O elevado tempo para o retorno do capital de um investi-
mento florestal, aliado ao custo crescente do dinheiro, faz com
que o planejamento da produção deva ser realizado criteriosamen-
te. As formas de análise e decisão, atualmente em uso, não for-
necem respostas a muitas indagações dos planejadores. Elas anali-
sam um projeto e permitem a comparação entre alguns, não apre-
sentando, porém a estratégia econômica, técnica e operacional -
mente aconselhada para o conjunto dos projetos.

Neste contexto, o planejador deve lançar mão de todas as
técnicas disponíveis para melhor planejar a produção florestal
para determinado fim. Neste aspecto é que modelos de programa -
ção matemática podem ser usados para assistir os planejadores no
desenvolvimento de políticas ótimas de corte das florestas.

Na formulação destes modelos busca-se otimizar um objeti-
vo específico, considerando-se as restrições impostas ao proble-
ma. Neste sentido, o objetivo a ser otimizado pode ser a maximí-
zação do resultado econômico do conjunto de projetos restrito a
limitações de mão-de-obra, máquinas, caixa, limites mínimos e
máximos de produção decorrente de uma vinculação com o suprimen-
to industrial.

Esses modelos ajustam-se muito bem a empresas que traba -
lham com produção e consumo, num processo contínuo, como é o ca-
so de indústrias de celulose e papel.

O uso destas técnicas pressupõe a utilização de computado-
res e softwares específicos, constituindo-se em meios rápidos e
eficientes de auxílio ao planejador na tomada de decisão.

No presente trabalho pretendeu-se atingir os seguintes ob-
jetivos gerais e específicos:

1.1- OBJETIVO GERAL

Construir, através de técnicas de programação matemática,
um modelo de planejamento da produção florestal a longo prazo,
para florestas de Eucalyptus sp., com finalidades de abasteci-
mento industrial.

1.2- OBJETIVOS

- a) determinar classes de manejo para as florestas e polí-
ticas economicamente ótimas a serem empregadas em cada classe;
- b) analisar a variação sofrida na política de planejam-
to da produção, considerando alguns fatores de risco, como a va-
riação da taxa de juros;
- c) estudar a influência da taxa de corte sustentada, apli-
cada a florestas de abastecimento industrial;
- d) simular a variação da demanda industrial e analisar sua
influência no planejamento da produção.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O planejamento geralmente é definido na prática como o
processo de trabalho para alcançar um ou vários objetivos. No ca-
so de planejamento florestal deve-se ter bem claro os objetivos,
uma vez que o suprimento contínuo de madeira somente sera conse-
guido se for efetuado um controle da exploração e do manejo da
floresta (FAO/SWE/TF, 1984).

BARROS & WEINTRAUB (1982) ao descreverem um modelo de planejamento para indústrias verticalizadas, mostraram a necessidade de as áreas de produção de madeira serem divididas em classes ou áreas com propriedades uniformes. Os autores apresentam, entre outras, como características para definir estas classes a espécie, idade e condições do terreno.

DOLEZAL (1978), para estratificação da floresta com fins de planejamento, sugere um método baseado em conhecimentos científicos da floresta. Para isto, utiliza-se dados geográficos e classificação ecológica das florestas, que servem para estratificar os tipos florestais. Esta classificação é necessária para planejar e controlar as unidades de manejo, definir quantidades a serem estimadas e elaborar as instruções necessárias ao manejo da floresta.

KILKKI (1986) diz que o emprego de métodos de programação matemática tem tornado possível a avaliação de diversas variáveis de decisão ao mesmo tempo. Para isto, na formulação usual do modelo de programação linear, no problema de otimização da produção de madeira, uma variável de entrada ou saída, tem sido tomada como valor da função objetivo e outras variáveis relevantes tem sido empregadas com restrições.

KIRBY (1978) referindo-se a aplicação de programação matemática em problemas de grande escala na área florestal, apresenta cinco passos a serem seguidos quando da aplicação da programação linear (PL): 1) determinar se o problema pode ou não ser resolvido; 2) se tiver solução, dar uma solução ótima; 3) deduzir restrições de rendimento monetário, mão-de-obra disponível, tipos de atividades, etc...; 4) maximizar um rendimento para uma dada receita ou prever um nível de produção especificado para um custo mínimo; 5) prever uma receita, a qual inclua todos os custos dos vários projetos.

LOUCKS (1964) cita a pesquisa operacional ou análise de sistemas como métodos práticos adicionais, os quais o administrador pode empregar para determinar políticas de corte. Estes métodos fornecem ao administrador florestal soluções de onde, quando e como ordenar os cortes para maximizar os objetivos dos proprietários e considerar satisfatoriamente as restrições especificadas.

O mesmo autor apresenta dois modelos de planejamento dos cortes, um maximizando o volume a ser retirado e outro a área explorada, e considerada entre as restrições, o incremento ou decréscimo da floresta, para garantir um rendimento constante da mesma. Neste caso, a produção no período j de todos os estratos deve ser igual ou superior a produção no período $j+1$, de forma a atender as restrições de área e volume impostas.

JOHNSON & SCHEURMAN (1977) apresentam dois modelos de otimização que parecem ser a base das técnicas comumente usadas para otimização de cortes e investimentos. No modelo I cada classe de idade que possui área no primeiro período forma uma unidade de manejo, sendo mantida integralmente ao longo do horizonte de planejamento. Já o modelo II, parcelas individuais da área são mantidas intactas ao longo do tempo.

KIDD (1969) estudando regulação de florestas de loblolly pine, na Virgínia (EUA), avaliou a influência da taxa mínima atrativa sobre o volume retirado ao longo do planejamento, tratamentos silviculturais empregados e a grandeza da rotação. Este trabalho considerou as taxas de 3, 6 e 10% ao ano.

Os principais resultados encontrados pelo autor, foi a constatação da redução da produção total a medida que aumentou a taxa mínima atrativa. Os tratamentos silviculturais também variaram, e em alguns casos mesmo quando mantidos a área designada a cada um foi diferente. Quanto a grandeza da rotação de uma forma geral tendeu a aumentar juntamente com a taxa mínima atrativa.

Alguns trabalhos específicos em estruturação e planejamento da produção para empresas verticalizadas que utilizam como matéria-prima espécies do gênero *Eucalyptus*, podem ser encontrados em SCHNEIDER et al. (1987), RODRIGUES & MOREIRA (1989) e NETO (1984).

3- MATERIAL E MÉTODOS

3.1- ORIGEM DOS DADOS

Os dados para elaboração e teste dos modelos de planejamento foram fornecidos pela RIOCELL S.A., empresa de celulose e papel, localizada no município de Guaíba-RS.

3.2- ESTRUTURAÇÃO DA PRODUÇÃO

Os dados de produção, bem como de crescimento das espécies de *Eucalyptus* envolvidas no estudo, tiveram como base o trabalho desenvolvido por SCHNEIDER et al. (1988).

Neste trabalho, a produção encontra-se estruturada por espécie e índice de sítio, o que forneceu as classes de manejo da floresta, ou seja, as unidades de produção com características semelhantes que permitem um mesmo tratamento silvicultural. Estas classes de manejo foram constituídas, como pode ser observado no Quadro 01.

Para fins de prognose de produção de cada classe de manejo, foi utilizado o índice de sítio médio da classe de manejo.

Através de um estudo mais detalhado do comportamento das curvas de índice de sítio em primeira e segunda rotação, notou-se que as mesmas não se equivalem, sendo as de *Eucalyptus grandis* em primeira rotação 12,14% maior que em segunda e de *Eucalyptus saligna* também 11,42% a mais. Este fato determinou uma correção nas curvas de índice de sítio da segunda rotação, com o objetivo de obter a produção corrigida.

QUADRO 01: Estrutura das classes de manejo

| ESPÉCIE* | ROTAÇÃO | CLASSE DE MANEJO | SÍTIOS PERTENCENTES |
|----------|---------|------------------|---------------------|
| EGR | 1 | I | 18 - 20 - 22 |
| | 1 | II | 24 - 26 - 28 |
| | 1 | III | 30 - 32 - 34 - 36 |
| EGR | 2 | I | 16 - 18 - 20 - 22 |
| | 2 | II | 24 - 26 - 28 |
| | 2 | III | 30 - 32 - 34 |
| ESA | 1 | I | 18 - 20 - 22 |
| | 1 | II | 24 - 26 - 28 |
| | 1 | III | 30 - 32 - 34 - 36 |
| ESA | 2 | I | 16 - 18 - 20 - 22 |
| | 2 | II | 24 - 26 - 28 |
| | 2 | III | 30 - 32 - 34 |

* EGR - *Eucalyptus grandis* ESA - *Eucalyptus saligna*

No Quadro 02 encontram-se as produções por rotação, classe de manejo e idade das espécies de *Eucalyptus grandis* (EGR) e *Eucalyptus saligna* (ESA), obtidas em SCHNEIDER et al. (1988).

QUADRO 02: Produções por espécie, rotação e classe de manejo

| ESPÉCIE | ROTAÇÃO | CL.MAN. | IDADE (ANOS) | | | | |
|---------|---------|---------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ESA | 1ª | I | 152.78 | 210.65 | 276.75 | 353.12 | 442.44 |
| ESA | 1ª | II | 120.16 | 163.67 | 212.35 | 267.70 | 331.50 |
| ESA | 1ª | III | 101.12 | 131.89 | 163.36 | 195.54 | 228.84 |
| ESA | 2ª | I | 158.38 | 204.66 | 247.64 | 287.28 | 324.42 |
| ESA | 2ª | II | 123.53 | 158.04 | 189.75 | 228.51 | 245.45 |
| ESA | 2ª | III | 91.87 | 116.62 | 139.11 | 159.59 | 178.22 |
| EGR | 1ª | I | 191.84 | 252.03 | 311.35 | 369.31 | 426.32 |
| EGR | 1ª | II | 143.88 | 184.59 | 223.49 | 260.62 | 296.99 |
| EGR | 1ª | III | 104.46 | 131.37 | 156.54 | 180.25 | 203.08 |
| EGR | 2ª | I | 154.59 | 193.08 | 233.78 | 277.03 | 322.74 |
| EGR | 2ª | II | 116.74 | 143.59 | 171.07 | 199.64 | 229.37 |
| EGR | 2ª | III | 84.73 | 103.07 | 121.32 | 139.85 | 158.79 |

3.3- ESTRATIFICAÇÃO DA FLORESTA

Visando a formulação do modelo de programação linear a floresta foi dividida em estratos. Entende-se por estrato um conjunto de seções florestais de mesma espécie, rotação, idade e classe de manejo. O Horto Florestal Terra Dura foi dividido em 14 estratos, conforme Quadro 03.

QUADRO 03: Distribuição das áreas por estrato.

| ESTRATO | ESPÉCIE | ROTAÇÃO | CL.MANEJO | CL.IDADE | ÁREA (ha) |
|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|
| 1 | ESA | 1ª | II | 4 | 151.70 |
| 2 | ESA | 1ª | III | 4 | 10.40 |
| 3 | ESA | 1ª | II | 5 | 55.30 |
| 4 | ESA | 1ª | II | 6 | 25.90 |
| 5 | EGR | 1ª | I | 6 | 26.60 |
| 6 | EGR | 1ª | II | 6 | 54.50 |
| 7 | ESA | 2ª ou 3ª | II | 5 | 47.90 |
| 8 | ESA | 2ª ou 3ª | II | 6 | 30.00 |
| 9 | ALBA | 2ª | III | 7 | 15.00 |
| 10 | ESA | 3ª | II | 1 | 284.60 |
| 11 | ESA | 3ª | II | 2 | 49.60 |
| 12 | EGR | 1ª | II | 1 | 30.50 |
| 13 | ESA | 2ª | II | 4 | 6.10 |
| 14 | ESA | 1ª | II | 6 | 31.80 |

Outra distribuição importante, visando principalmente a determinação da produção sustentada, e a composição da floresta por classe de idade, onde na classe de idade 1 foram incluídas as seções que possuíam de zero a 0,99 anos, no momento da análise, e assim nas demais classes. Essa classificação é apresentada no Quadro 04.

QUADRO 04: Distribuição da área por classe de idade.

| CLASSE DE IDADE | ÁREA (ha) |
|-----------------|-----------|
| 1 | 315.10 |
| 2 | 59.60 |
| 3 | 0.00 |
| 4 | 168.20 |
| 5 | 103.20 |
| 6 | 168.80 |
| 7 | 15.00 |

O inventário florestal das seções, realizado pela empresa, forneceu a situação atual do povoamento, o que juntamente com as prognoses de produção e os fatores de extrapolação, possibilitou a confecção da tabela de produção, apresentada no Quadro 05.

QUADRO 05: Produção volumétrica (m^3 sc/ha) atual do povoamento, em primeira e segunda rotações.

| ESTRATO | PRODUTIVIDADE ATUAL (anos) | | | | | |
|---------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 57,30 | 82,50 | 107,70 | 131,80 | 154,10 | 157,30 |
| 2 | 42,70 | 62,69 | 80,30 | 98,20 | 114,90 | 130,70 |
| 3 | | 66,60 | 86,80 | 105,90 | 124,50 | 141,20 |
| 4 | | | 161,42 | 196,42 | 230,20 | 262,42 |
| 5 | | | 213,51 | 256,20 | 288,20 | 316,00 |
| 6 | | | 180,00 | 219,60 | 253,70 | 280,70 |
| 7 | | 120,70 | 156,91 | 191,91 | 225,71 | 255,88 |
| 8 | | | 199,60 | 317,64 | 373,25 | 423,25 |
| 9 | | | | 92,70 | 109,40 | 127,00 |
| 10 | | 120,16 | 163,67 | 212,35 | 267,70 | 331,50 |
| 11 | | 120,16 | 163,67 | 212,35 | 267,70 | 331,50 |
| 12 | | 143,88 | 184,59 | 223,49 | 260,68 | 296,99 |
| 13 | | 123,53 | 158,04 | 189,75 | 228,51 | 245,45 |
| 14 | | | 180,00 | 219,60 | 253,70 | 280,70 |

QUADRO 05: Continuação

| EST | PRIMEIRA ROTAÇÃO (anos) | | | | | SEGUNDA ROTAÇÃO (anos) | | | | |
|-----|-------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 120,2 | 163,7 | 212,4 | 267,7 | 331,5 | 123,6 | 158,0 | 189,8 | 228,5 | 245,4 |
| 2 | 101,1 | 131,9 | 163,4 | 195,5 | 228,8 | 91,9 | 116,6 | 139,1 | 159,6 | 178,2 |
| 3 | 120,2 | 163,7 | 212,4 | 267,7 | 331,5 | 123,6 | 158,0 | 189,8 | 228,5 | 245,4 |
| 4 | 120,2 | 163,7 | 212,4 | 267,7 | 331,5 | 123,6 | 158,0 | 189,8 | 228,5 | 245,4 |
| 5 | 191,8 | 252,0 | 311,4 | 268,3 | 426,3 | 154,6 | 193,1 | 233,8 | 277,0 | 322,7 |
| 6 | 143,9 | 184,6 | 223,5 | 260,7 | 297,0 | 116,7 | 143,6 | 171,1 | 199,6 | 229,4 |
| 7 | 120,2 | 163,7 | 212,4 | 267,7 | 331,5 | 123,6 | 158,0 | 189,8 | 228,5 | 245,4 |
| 8 | 120,2 | 163,7 | 212,4 | 267,7 | 331,5 | 123,6 | 158,0 | 189,8 | 228,5 | 245,4 |
| 9 | 101,1 | 131,9 | 163,4 | 195,5 | 228,8 | 91,9 | 116,6 | 139,1 | 159,6 | 178,2 |
| 10 | 120,2 | 163,7 | 212,4 | 267,7 | 331,5 | 123,6 | 158,0 | 189,8 | 228,5 | 245,4 |
| 11 | 120,2 | 163,7 | 212,4 | 267,7 | 331,5 | 123,6 | 158,0 | 189,8 | 228,5 | 245,4 |
| 12 | 143,9 | 184,6 | 223,5 | 260,7 | 297,0 | 116,7 | 143,6 | 171,1 | 199,6 | 229,4 |
| 13 | 120,2 | 163,7 | 212,4 | 267,7 | 331,5 | 123,6 | 158,0 | 189,8 | 228,5 | 245,4 |
| 14 | 143,9 | 184,6 | 223,5 | 260,7 | 297,0 | 116,7 | 143,6 | 171,1 | 199,6 | 229,4 |

3.4- ALTERNATIVAS SILVICULTURAIS PARA O MANEJO DE FLORESTAS

As florestas de *Eucalyptus* sp., em geral, são manejadas tipicamente em ciclos de duas ou três rotações. Quando finda a primeira rotação o administrador florestal depara-se com duas alternativas silviculturais de decisão: a reforma do povoamento e a condução da brotação. Para solucionar este problema a empresa dispõe de uma metodologia para decisão entre reforma e condução da brotação, que para os 14 estratos do caso em estudo resultou nas seguintes alternativas, conforme Quadro 06.

QUADRO 06: Alternativas de manejo por estrato.

| Estrato | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Alternat. | CR | CR | CR | CC | CC | CC | CR | CC | CR | CC | CC | CC | CC | CR |

Onde: CR = corte e reforma do povoamento

CC = corte e condução da brotação

Para a modelagem do problema, ainda, foi necessário a definição da próxima alternativa silvicultural a ser empregada, bem como do período de tempo em que cada uma ocorrerá. Este resultado foi obtido através do cálculo do valor esperado da terra (VET).

A estas duas rotações, as alternativas silviculturais empregadas e o intervalo de tempo compreendido pelas mesmas, definiu-se como sendo Ciclo Florestal.

3.5- DETERMINAÇÃO DO CICLO ECONOMICAMENTE ÓTIMO

3.5.1- CUSTOS

Em cada alternativa silvicultural ocorrem custos diferenciados, bem como produções distintas. Na opção de reforma do povoamento os custos utilizados encontram-se no Quadro 07.

O custo de implantação (839,50 \$/ha) foi dissolvido em 21 anos e o montante correspondente a 7 anos equivale ao valor de 436,40 \$/ha. Na formação deste custo não estão incluídos os gastos com administração. Estes gastos fazem parte do custo de administração, que é considerado como uma prestação anual.

A taxa mínima atrativa (t) considerada foi de 8% ao ano.

QUADRO 07: Tipos de custos para reforma do povoamento.

| ANO | TIPO DE CUSTO | VALOR (\$/ha) |
|-----|---------------|---------------|
| 0 | implantação | 436,40 |
| 1 | manutenção | 120,00 |
| 2 | manutenção | 120,00 |
| 3 | manutenção | 52,00 |
| ... | manutenção | 52,00 |
| n | manutenção | 52,00 |

Na opção de condução da brotação foram utilizados os seguintes custos, conforme Quadro 08.

QUADRO 08: Tipos de custo para condução da brotação do povoamento

| ANO | TIPO DE CUSTO | VALOR (\$/ha) |
|-----|---------------|---------------|
| 0 | manutenção | 167,31 |
| 1 | manutenção | 149,50 |
| 2 | manutenção | 60,92 |
| 3 | manutenção | 45,10 |
| ... | manutenção | 45,10 |
| n | manutenção | 45,10 |

O custo de administração, para as duas alternativas silviculturais, foi de 196 \$/ha/ano. E o custo de exploração foi de 3,12 \$/metro cúbico.

O preço da madeira para este estudo foi fixado em 11,31 \$/m³ sem casca.

3.5.2- CÁLCULO DO VALOR ESPERADO DA TERRA

Estes custos juntamente com as prognoses de produção em primeira e segunda rotações possibilitaram o cálculo do valor esperado da terra (VET). A fórmula do VET é a seguinte:

$$VET = \sum_{m=1}^r \frac{(R_m - C_m) (1+t)^{r-m}}{(1+t)^r - 1}$$

Onde: R_m = receita do ciclo no ano m;

C_m = custos do ciclo no ano m;

r = anos do ciclo considerado;

t = taxa de juro;

m = momento de ocorrência da receita e/ou custo.

Partindo da alternativa silvicultural apresentada pelo inventário, simulou-se duas possibilidades: a repetição da alternativa dada ou a outra alternativa. Este cálculo, além de fornecer a próxima alternativa silvicultural determinou a idade ótima de corte do povoamento.

O critério de decisão utilizado, entre as duas alternativas silviculturais, foi o maior valor do VET, cujos resultados são mostrados no Quadro 09.

QUADRO 09: Valor esperado da terra por estrato.

| ESTRATO | ALTERNATIVAS | IDADES | VET (\$/ha) |
|---------|--------------|--------|-------------|
| 1 | CR X CC | 8 x 8 | 1795,853 |
| 2 | CR X CC | 9 x 7 | 905,338 |
| 3 | CR X CC | 8 x 8 | 1795,853 |
| 4 | CC X CR | 8 x 8 | 1881,610 |
| 5 | CC X CR | 7 x 7 | 2725,758 |
| 6 | CC X CR | 7 x 8 | 1603,552 |
| 7 | CR X CC | 8 x 8 | 1795,853 |
| 8 | CC X CR | 8 x 8 | 1881,610 |
| 9 | CR X CC | 8 x 9 | 977,007 |
| 10 | CC X CR | 8 x 8 | 1881,610 |
| 11 | CC X CR | 8 x 8 | 1881,610 |
| 12 | CC X CR | 7 x 8 | 1603,552 |
| 13 | CC X CR | 8 x 8 | 1881,610 |
| 14 | CR X CC | 7 x 8 | 1603,552 |

3.6- CÁLCULO DO VALOR LÍQUIDO PRESENTE (VLP)

O primeiro modelo de planejamento apresentou como objetivo a maximização da renda líquida da floresta, e para tanto torna-se necessária a determinação do valor líquido presente para cada alternativa silvicultural em seus diferentes períodos de ocorrência.

Da aplicação de diferentes regimes de manejo resultam fluxos com diferentes períodos, e para torná-los equivalentes utilizamos a metodologia apresentada por CLUTTER et al. apud LIMA (1988) que fixa os seguintes critérios:

- 1) se o intervalo de tempo entre o corte da última rotação do regime e o final do período de planejamento permite uma primeira rotação do ciclo economicamente ótimo, repete-se mais um ciclo do regime em questão e a receita obtida com o último corte deste ciclo, soma-se o VET do ciclo economicamente ótimo;
- 2) se o intervalo de tempo entre o corte da última rotação do regime e o final do período de planejamento não permite uma primeira rotação do ciclo economicamente ótimo, encerra-se o fluxo de caixa no ano de corte da última rotação do ciclo em questão e soma-se do ciclo economicamente ótimo a receita obtida com esse último corte;
- 3) se o último corte do regime ocorre exatamente no último ano do horizonte de planejamento, encerra-se o fluxo de caixa nesse ano e soma-se o VET do ciclo economicamente ótimo à receita obtida com esse corte.

Utilizando-se os critérios citados acima calculou-se os VLPs para todos os regimes de manejo possíveis em cada estrato.

$$VLP_{ij} = \sum_{m=1}^{r-1} \frac{(R_m - C_m)}{(1+t)^m} + \frac{(R_r - C_r) + VET_i}{(1+t)^r}$$

Os coeficientes (VLP) da função objetivo são apresentados no Quadro 10.

QUADRO 10: Valores líquidos presente dos estratos florestais, segundo o regime de manejo empregado.

| REGIME | ESTRATO | | | | |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6 x 6 | 2.553,56 | | | | |
| 6 x 7 | 2.735,45 | | | | |
| 6 x 8 | 2.920,15 | | | | |
| 7 x 6 | 2.593,42 | | 2.554,875 | | |
| 7 x 7 | 2.757,01 | 1.639,145 | 2.731,552 | | |
| 7 x 8 | 2.923,63 | 1.771,615 | 2.911,497 | | |
| 7 x 9 | | 1.871,089 | | | |
| 8 x 6 | 2.604,98 | | 2.550,814 | 4.834,970 | 5.961,549 |
| 8 x 7 | 2.751,25 | 1.563,461 | 2.708,717 | 4.410,110 | 5.981,541 |
| 8 x 8 | 2.900,758 | 1.670,549 | 2.870,133 | 4.468,778 | 5.993,213 |
| 8 x 9 | | 1.777,081 | | | |
| 9 x 7 | | 1.560,713 | | | |
| 9 x 8 | | 1.593,466 | | | |
| 9 x 9 | | 1.635,749 | | | |

QUADRO 10: continuação

| REGIME | ESTRATO | | | | |
|--------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 6 x 6 | | | | | 2.587,089 |
| 6 x 7 | | | | | 2.617,430 |
| 6 x 8 | | | | | 2.674,580 |
| 7 x 6 | | 3.546,570 | | | 2.809,481 |
| 7 x 7 | | 3.723,247 | | | 2.832,992 |
| 7 x 8 | | 3.903,192 | | | 2.881,036 |
| 8 x 6 | 4.432,389 | 3.631,593 | 6.034,331 | | 3.036,431 |
| 8 x 7 | 4.442,899 | 3.789,227 | 6.059,472 | | 3.053,542 |
| 8 x 8 | 4.943,170 | 3.950,642 | 6.517,407 | | 3.064,354 |
| 8 x 9 | | | | 2.376,527 | |
| 9 x 7 | | | | 2.368,691 | |
| 9 x 9 | | | | 2.336,4416 | |

QUADRO 10: continuação

| REGIME | ESTRATO | | | |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 6 x 6 | 2.854,709 | 2.687,016 | 3.153,849 | |
| 6 x 7 | 2.887,477 | 2.669,020 | 3.332,908 | |
| 6 x 8 | 2.949,199 | 2.702,619 | 3.515,177 | |
| 7 x 6 | 3.094,929 | 2.789,242 | 3.229,129 | |
| 7 x 7 | 3.120,209 | 2.798,060 | 3.390,288 | |
| 7 x 8 | 3.240,310 | 2.799,424 | 3.554,821 | |
| 8 x 6 | 3.340,000 | 2.829,213 | 3.355,912 | 4.431,909 |
| 8 x 7 | 3.358,478 | 2.836,365 | 3.500,035 | 4.442,899 |
| 8 x 8 | 3.401,602 | 2.836,824 | 3.647,708 | 4.443,170 |

Os valores contidos no Quadro 10 são os coeficientes das variáveis de decisão na função objetivo de maximização.

3.7- CÁLCULO DO CUSTO ANUAL

Neste cálculo desconsiderou-se todas as rendas obtidas com a floresta e transformou-se os custos ocorridos durante o período de planejamento em uma prestação anual.

A fórmula do custo anual é a seguinte:

$$C_{ij} = \left(\sum_{m=1}^r Cr / (1+t)^m \right) * (t * (1+t)^r / ((1+t)^r - 1))$$

Onde: r= número de anos considerado no fluxo em questão.

Os valores obtidos através deste procedimento, encontram-se no Quadro 11.

QUADRO 11: Valores do custo anual por estrato, segundo regime de manejo empregado

| REGIME | E S T R A T O | | | | | | |
|--------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 6 x 6 | 238,224 | | | | | | |
| 6 x 7 | 234,150 | | | | | | |
| 6 x 8 | 232,042 | | | | | | |
| 7 x 6 | 219,399 | | 232,995 | | | | 258,303 |
| 7 x 7 | 217,730 | 195,229 | 228,735 | | | | 257,764 |
| 7 x 8 | 216,723 | 194,106 | 227,252 | | | | 255,323 |
| 7 x 9 | | 192,626 | | | | | |
| 8 x 6 | 205,118 | | 213,869 | 245,166 | 280,407 | 247,734 | 244,454 |
| 8 x 7 | 204,260 | 180,967 | 212,654 | 250,887 | 288,657 | 254,278 | 242,334 |
| 8 x 8 | 203,820 | 180,557 | 212,021 | 244,202 | 280,267 | 246,056 | 240,908 |
| 8 x 9 | | 179,755 | | | | | |
| 9 x 7 | | 169,159 | | | | | |
| 9 x 8 | | 169,199 | | | | | |
| 9 x 9 | | 181,402 | | | | | |

QUADRO 11: continuação

| REGIME | E S T R A T O | | | | | | |
|--------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 6 x 6 | | | 188,465 | 197,700 | 193,679 | 253,367 | |
| 6 x 7 | | | 183,568 | 197,937 | 188,021 | 248,669 | |
| 6 x 8 | | | 179,881 | 153,531 | 182,933 | 249,032 | |
| 7 x 6 | | | 185,744 | 199,950 | 187,127 | 238,351 | |
| 7 x 7 | | | 181,552 | 194,922 | 182,443 | 235,243 | |
| 7 x 8 | | | 178,373 | 191,099 | 178,175 | 233,717 | |
| 8 x 6 | 286,422 | | 184,300 | 197,643 | 180,592 | 225,343 | 363,194 |
| 8 x 7 | 297,576 | | 180,629 | 193,307 | 176,678 | 223,944 | 254,278 |
| 8 x 8 | 289,507 | | 165,818 | 189,974 | 160,431 | 223,099 | 246,056 |
| 9 x 7 | | 197,380 | | | | | |
| 9 x 8 | | 190,759 | | | | | |
| 9 x 9 | | 184,412 | | | | | |

Os valores do Quadro 11 são os coeficientes das variáveis de decisão na função objetivo de minimização.

3.8- FÓRMULAÇÃO DO PROBLEMA

O problema constitui-se na determinação da produção a ser obtida nos próximos 21 anos, bem como das alternativas silviculturais a empregar e seu respectivo período. A produção anual deve satisfazer determinados limites e utilizar toda a área disponível.

Restrições de manejo foram introduzidas no problema com a finalidade de reduzir o número de variáveis de decisão. Para a classe de manejo I a idade mínima de corte foi fixada em 5 anos e a máxima em 7 anos, já para a classe II variou de 6 a 9 anos e para a classe III de 7 a 9 anos.

A área total dos povoamentos é de 819,9 ha, plantada com espécies do gênero *Eucalyptus*.

Foram testados dois modelos de programação linear, sendo um com uma função objetivo de maximização do valor líquido presente da floresta e outro com uma função de minimização do custo anual.

3.8.1- MODELOS DE MAXIMIZAÇÃO

A função objetivo de maximização ficou definido por:

$$\text{MAX } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K \text{Vlpij } X_{ij} \quad \text{onde:}$$

VLPij = valor líquido presente, por hectare do estrato flores - tal i, caso o regime j seja empregado.

Xij = Número de hectares do estrato i, designados ao regime de manejo j.

K = Número de regimes de manejo.

N = Número de estratos.

Da aplicação dos K regimes possíveis de manejo nos N estratos resultaram 84 variáveis de decisão.

Com esta função objetivo foram analisados três conjuntos de restrições:

A) Primeiro conjunto de restrições

A.1) A área de cada estrato deve ser explorada integralmente.

$$\sum_{j=1}^K X_{ij} = A_i \quad \text{onde: } A_i = \text{área do estrato}$$

A.2) A produção anual deve ser maior ou igual a 12000m³, durante todo o período de planejamento.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K \text{Vijm } X_{ij} \geq 12000 \text{ m}^3 \quad \text{onde: } \text{Vij} = \text{volume/hectare} \quad (\text{m}=1,2,\dots,21)$$

B) O segundo conjunto de restrições:

B.1) Restrição de área

$$\sum_{j=1}^K X_{ij} = A_i$$

B.2) Restrições de volume

B.2.1) Volume mínimo

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K \text{Vijm } X_{ij} \geq 15000 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (\text{m}=1,2,\dots,21)$$

B.2.2) Volume máximo

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K V_{ijm} X_{ij} \leq 50000 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (m=1,2, \dots, 21)$$

C) Terceiro conjunto de restrições (produção sustentada)

O terceiro conjunto de restrições utilizado juntamente com a função de maximização do valor líquido presente da floresta, considerou como produção mínima a sustentabilidade da mesma.

Para cálculo do corte sustentado utilizou-se o método Aus triáico, expresso por:

$$TC = IMA + \frac{(Vr - Vn)}{a}$$

Onde:

TC = taxa de corte,
IMA = incremento médio anual (total)

Vn = volume normal

Vr = volume real

a = período de equilíbrio do estoque

O valor do IMA foi obtido através da ponderação do volume por hectare pela área de cada estrato.

O volume normal fixado para o presente caso, foi igual a 154.000 m³, obtido para a idade de 7 anos, que corresponde a 98,21% do volume real.

Já o período de equilíbrio (a) foi fixado em um valor equivalente a grandeza da rotação, igual a 7 anos, determinada para estas espécies e locais em SCHNEIDER et al. (1987).

A aplicação desta metodologia forneceu uma taxa de corte sustentado de 22000 m³/ano.

O conjunto de restrições, para este caso, ficou assim cons tituído:

C.1) Restrição de área

$$\sum_{j=1}^K X_{ij} = A_i$$

C.2) Restrições de produção anual

C.2.1) Volume mínimo (corte sustentado)

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K V_{ijm} X_{ij} \geq 22000 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (\text{exceto no } 7^{\text{o}} \text{ ano } 15000) \\ (m=1,2, \dots, 21)$$

C.2.2) Volume máximo

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K V_{ijm} X_{ij} \leq 50000 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (m=1,2, \dots, 21)$$

3.8.2+ MODELOS DE MINIMIZAÇÃO

Com base nas mesmas produções e utilizando-se os custos it ados anteriormente analisou-se as três situações (A, B e C) através de uma função objetivo de minimização do custo anual.

A função objetivo é expressa por:

$$\text{MIN } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K C_{ij} X_{ij} \quad \text{onde:}$$

C_{ij} = custo anual por hectare, do estrato florestal i, caso o re gime de manejo j seja empregado.

3.8.3- VARIAÇÃO DA TAXA DE JURO

Um dos fatores de grande importância na análise de investimento é a taxa mínima atrativa para remuneração do capital in vestido.

Aplicando a mesma metodologia citada anteriormente, variou se a taxa mínima atrativa, que era de 8% ao ano, para 6% ao ano e em seguida para 12% ao ano.

Para estas simulações utilizou-se apenas a função objeti vo de minimização do custo anual.

Desta forma o modelo de Programação Linear ficou com a se guinte estrutura:

$$\text{MIN } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K C_{ij} X_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^K X_{ij} = A_i$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K X_{ijm} V_{ij} \geq 22000 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (\text{exceto no } 7^{\text{o}} \text{ ano } 15000) \\ (m=1,2, \dots, 21)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K X_{ijm} V_{ij} \leq 40000 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (\text{exceto no } 1^{\text{o}} \text{ ano } 50000)$$

3.9- ALGORÍTMO COMPUTACIONAL

O modelo foi montado no utilitário LOTUS e em seguida a cessado pelo programa MILP88 (Mixed Integer Linear Programming), que utiliza o algoritmo BRANCH AND BOUND. Este algoritmo é des crito com detalhes em HARVEY (1986) capítulo 13 e, em HILLER & LIEBERMAN (1988), capítulo 18.

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

O maior valor esperado da terra (2.725,758 \$/ha) ocorreu no estrato 5, que é composto de Eucalyptus grandis em primeira rotação e classe de manejo I. A idade de culmí nio foi aos 7 anos. Já o menor VET (905,338 \$/ha) ocorreu no estrato 2, com Eucalyptus saligna em primeira rotação e classe de manejo III, na idade de 9 anos.

Estes resultados confirmam os obtidos por FINGER et al. (1988), para o comportamento da área basal e produção para Eucalyptus grandis, onde a rotação variou de 6 anos na classe de manejo I a mais de 10 anos na classe de manejo III.

Os resultados primais e duais fornecidos pelos diferentes modelos foram agrupados em Quadros e Figuras, para melhor inter pretação. São esses resultados que passaremos a apresentar e discutir a partir de agora.

4.1- MODELOS DE MAXIMIZAÇÃO

A solução matemática apresentada pelos modelos de maximi zação do valor líquido presente da floresta, citados em 3.8.1-, modelos A, B e C, encontra-se no Quadro 12.

Analisando o Quadro 12, do ponto de vista silvicultural nota-se uma subdivisão dos estratos florestais, com diferentes regimes de manejo, a medida que exige-se uma maior produção volumétrica. Na composição destes regimes de manejo nota-se uma antecipação dos cortes com o aumento da exigência de produção.

A redução do valor líquido presente já era um resultado previsível, ficando em 2.834.428,697 dólares para o modelo A, 2.804.262,655 dólares para o modelo B e 2.744.205,758 dólares para o modelo C. Quando colocado em valores percentuais variou 1,06% entre os dois primeiros modelos e 3,18% entre o primeiro e o último.

QUADRO 12: Área dos estratos, por regime de manejo, selecionada pelos modelos de maximização (A, B e C).

| ESTRATO | REGIME DE MANEJO | | ÁREA (ha) | | | ÁREA TOTAL |
|---------|------------------|-------|-----------|--------|--------|------------|
| | ALTERNAT. | IDADE | MAX. A | MAX. B | MAX. C | |
| 1 | CR X CC | 6 x 7 | - | - | 4,00 | |
| | | 7 x 6 | - | - | 38,20 | |
| | | 7 x 7 | - | 0,86 | 2,37 | |
| | | 8 x 7 | 82,87 | 69,80 | 25,61 | |
| | | 8 x 8 | 68,83 | 81,67 | 81,01 | 151,70 |
| 2 | CR X CC | 7 x 9 | - | 10,40 | 10,40 | |
| | | 8 x 9 | 10,40 | - | 10,40 | 10,40 |
| 3 | CR X CC | 7 x 7 | - | 12,98 | 8,02 | |
| | | 7 x 8 | 55,30 | - | - | |
| | | 8 x 7 | - | 2,12 | 15,37 | |
| | | 8 x 8 | - | 40,20 | 31,07 | 55,30 |
| 4 | CC X CR | 8 x 7 | 16,33 | 25,90 | 25,90 | |
| | | 8 x 8 | 9,57 | - | - | 25,90 |
| 5 | CR X CC | 8 x 6 | - | 12,94 | 12,94 | |
| | | 8 x 7 | 26,60 | 13,66 | 13,66 | 26,60 |
| 6 | CC X CR | 8 x 6 | 54,50 | 54,50 | 54,50 | 54,50 |
| 7 | CR X CC | 8 x 6 | - | 12,52 | 17,16 | |
| | | 8 x 7 | - | 35,38 | 30,74 | |
| | | 8 x 8 | 47,90 | - | - | 47,90 |
| 8 | CC X CR | 8 x 8 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 |
| 9 | CC X CR | 9 x 7 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 |
| 10 | CC X CR | 6 x 6 | - | - | 16,35 | |
| | | 6 x 8 | - | - | 44,31 | |
| | | 7 x 6 | - | - | 1,98 | |
| | | 7 x 7 | - | - | 16,49 | |
| | | 7 x 8 | 24,70 | 97,82 | 85,13 | |
| | | 8 x 6 | 18,30 | - | 11,48 | |
| | | 8 x 7 | 33,49 | - | 15,35 | |
| | | 8 x 8 | 208,10 | 186,78 | 186,78 | 284,60 |
| 11 | CC X CR | 6 x 6 | - | - | 19,27 | |
| | | 7 x 8 | 24,37 | 44,12 | 30,33 | |
| | | 8 x 8 | 25,23 | 5,47 | - | 49,60 |
| 12 | CC X CR | 6 x 8 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 |
| 13 | CC X CR | 8 x 8 | 6,10 | 6,10 | 6,10 | 6,10 |
| 14 | CR X CC | 8 x 6 | 28,31 | - | - | |
| | | 8 x 7 | 3,49 | 31,80 | 31,80 | 31,80 |

A aplicação destes regimes de manejo ao longo do período de planejamento forneceu as produções anuais apresentada no Quadro 13 e ilustradas nas Figuras 01, 02 e 03, em anexo.

QUADRO 13: Volume produzido anualmente com as soluções apresentadas pelos modelos de maximização (A, B e C).

| PERÍODO | MOD. MAX. A (Vol. m ³ /ano) | MOD. MAX. C (Vol. m ³ /ano) | MOD. MAX. C (Vol. m ³ /ano) |
|---------|---|---|---|
| 1 | 54481,380 | 50000,000 | 50000,000 |
| 2 | 21734,300 | 25310,401 | 22000,000 |
| 3 | 12000,000 | 15000,000 | 22000,000 |
| 4 | 12000,000 | 15000,000 | 22000,000 |
| 5 | 12000,000 | 22238,455 | 22000,000 |
| 6 | 69573,996 | 50000,000 | 32314,939 |
| 7 | 12000,000 | 15000,000 | 15000,000 |
| 8 | 12000,000 | 15000,000 | 22000,000 |
| 9 | 23846,526 | 15000,000 | 22000,000 |
| 10 | 35008,196 | 29280,107 | 22000,000 |
| 11 | 20057,694 | 25875,030 | 22000,000 |
| 12 | 16932,414 | 16173,615 | 22000,000 |
| 13 | 12000,000 | 22353,707 | 22365,553 |
| 14 | 47552,789 | 42680,239 | 22000,000 |
| 15 | 21594,017 | 29746,994 | 39378,553 |
| 16 | 25596,894 | 15000,000 | 26195,250 |
| 17 | 29751,502 | 33158,814 | 22000,000 |
| 18 | 16575,624 | 16669,444 | 22000,000 |
| 19 | 22280,559 | 29406,747 | 28436,962 |
| 20 | 12000,000 | 20772,875 | 22000,000 |
| 21 | 27719,280 | 16465,580 | 22000,000 |

O coeficiente de variação dos volumes para o modelo A foi de 63,40%, para o modelo B 45,52% e para o modelo C foi de apenas 30,25%.

Comparando as três situações testadas, a que apresentou um menor coeficiente de variação e portanto produções anuais mais homogêneas ao longo do período de planejamento, foi a terceira opção, que considera como mínimo o corte sustentado. Isto demonstra que a inclusão deste parâmetro leva a uma regularização da produção, tão desejada em toda a empresa florestal, justificando as afirmações seculares da necessidade de manejar as florestas com base neste princípio.

O volume total produzido durante o planejamento não variou significativamente, servindo como mais uma justificativa para a aplicação de rendimento sustentado, uma vez que a regularização dos cortes traz benefícios do ponto de vista operacional.

4.2- MODELOS DE MINIMIZAÇÃO

Utilizando os valores Cij apresentados no Quadro 11 como coeficientes das variáveis de decisão na função objetivo de minimização e os três conjuntos de restrições citados em 3.8.1- obteve-se as soluções apresentadas no Quadro 14.

Os regimes de manejo selecionados, para cada modelo de otimização pouco diferem dos apresentados pelos modelos de maximização.

O custo total foi de 166.189,795 dólares para o modelo A, 167.182,177 dólares para o B e 170.035,279 dólares para o modelo C. Isto quando comparado relativamente mostra uma diferença de 0,59% entre os dois primeiros modelos e 2,26% entre o primeiro e o último.

QUADRO 14: Área dos estratos, por regime de manejo, selecionada pelos modelos de minimização (A, B e C).

| ESTRATO | REGIME DE MANEJO ALTERNAT. | IDADE | ÁREA (ha) | | | ÁREA TOTAL |
|---------|----------------------------|-------|-----------|--------|--------|------------|
| | | | MIN. A | MIN. B | MIN. C | |
| 1 | CR X CC | 6 x 7 | - | - | 6,20 | 151,70 |
| | | 7 x 6 | - | - | 29,17 | |
| | | 7 x 8 | - | - | 1,15 | |
| | | 8 x 7 | 22,18 | 22,18 | 45,90 | |
| | | 8 x 8 | 129,53 | 108,50 | 69,26 | |
| 2 | CR X CC | 9 x 8 | 10,40 | 10,40 | 10,40 | 10,40 |
| 3 | CR X CC | 8 x 6 | - | 55,30 | 55,30 | 55,30 |
| | | 8 x 8 | 55,30 | 55,30 | - | |
| 4 | CC X CR | 8 x 6 | 25,90 | 25,90 | 4,28 | 25,90 |
| | | 8 x 7 | - | - | 5,59 | |
| | | 8 x 8 | - | - | 16,03 | |
| 5 | CR X CC | 8 x 6 | 26,60 | 26,60 | 26,60 | 26,60 |
| 6 | CC X CR | 8 x 6 | 7,63 | 7,07 | - | 54,50 |
| | | 8 x 8 | 46,90 | 47,43 | 54,50 | |
| 7 | CR X CC | 8 x 6 | 18,00 | 36,34 | 29,60 | 47,90 |
| | | 8 x 7 | 29,90 | 11,56 | - | |
| | | 8 x 8 | - | - | 18,30 | |
| 8 | CC X CR | 8 x 6 | 30,00 | 30,00 | 7,93 | 30,00 |
| | | 8 x 8 | - | - | 22,07 | |
| 9 | CC X CR | 9 x 9 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 |
| 10 | CC X CR | 6 x 6 | - | - | 24,90 | 284,60 |
| | | 6 x 7 | - | - | 18,20 | |
| | | 6 x 8 | 0,66 | 33,92 | 75,60 | |
| | | 7 x 7 | - | - | 7,32 | |
| | | 7 x 8 | 56,51 | 93,61 | 96,28 | |
| | | 8 x 8 | 227,43 | 157,07 | 62,40 | |
| 11 | CC X CR | 6 x 6 | - | - | 43,90 | 49,60 |
| | | 7 x 8 | 49,60 | 38,90 | 5,66 | |
| | | 8 x 8 | - | 11,50 | - | |
| 12 | CC X CR | 8 x 8 | 30,50 | - | 30,50 | 30,50 |
| | | 9 x 8 | - | 30,50 | - | |
| 13 | CC X CR | 6 x 7 | - | - | 4,47 | 6,10 |
| | | 7 x 8 | - | - | 1,62 | |
| | | 8 x 8 | 6,10 | 6,10 | - | |
| 14 | CR X CR | 8 x 8 | 31,80 | 31,80 | 31,80 | 31,80 |

A aplicação destes tratamentos silviculturais nas idades recomendadas por estas soluções resultaram nas produções anuais expostas no Quadro 15, e ilustradas nas Figuras 04, 05 e 06, em anexo.

O coeficiente de variação de volume calculado para o modelo A foi de 70,40%, já para o B ficou em 45,58% e para o modelo C em apenas 29,82%. Isso mostra novamente que a inclusão do corte sustentado da floresta leva a uma homogeneização da produção.

QUADRO 15: Volume produzido anualmente com as soluções apresentadas pelos modelos de minimização (A, B e C).

| PERÍODO | MOD. MIN. A | MOD. MIN. B | MOD. MIN. C |
|---------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | (vol. m ³ /ano) | (vol. m ³ /ano) | (vol. m ³ /ano) |
| 1 | 48625,110 | 48625,110 | 50000,000 |
| 2 | 17696,359 | 17696,359 | 22000,000 |
| 3 | 24770,881 | 24770,881 | 24942,338 |
| 4 | 12000,000 | 15000,000 | 22000,000 |
| 5 | 12000,000 | 22958,531 | 22000,000 |
| 6 | 68833,430 | 50000,000 | 24612,555 |
| 7 | 15081,464 | 15000,000 | 15000,000 |
| 8 | 12000,000 | 15000,000 | 22000,000 |
| 9 | 15705,338 | 15817,046 | 22000,000 |
| 10 | 15383,057 | 15000,000 | 22000,000 |
| 11 | 36305,968 | 30604,192 | 22000,000 |
| 12 | 13518,693 | 18488,129 | 22000,000 |
| 13 | 12913,209 | 21389,727 | 22000,000 |
| 14 | 58060,300 | 41983,994 | 22000,000 |
| 15 | 26778,425 | 26632,496 | 40031,861 |
| 16 | 16753,202 | 20940,923 | 24970,990 |
| 17 | 20507,251 | 20653,113 | 22000,000 |
| 18 | 12000,000 | 18117,781 | 17044,917 |
| 19 | 44926,318 | 37619,817 | 22000,000 |
| 20 | 12000,000 | 19877,067 | 22710,713 |
| 21 | 12000,000 | 15000,000 | 22000,000 |

4.3- VARIAÇÃO DA TAXA DE JURO

Utilizando os valores Cij calculados a taxa 6, 8 e 12%, e o conjunto de restrições apresentados em 3.3.3-, obteve-se três modelos de planejamento, cujos resultados são mostrados no Quadro 16.

QUADRO 16: Área dos estratos, por regime de manejo, selecionada pelo modelo de minimização com taxa de juro de 6 a 12%.

| ESTRATO | REGIME DE MANEJO | | Á R E A (ha) | | | ÁREA TOTAL |
|---------|------------------|-------|--------------|-------|-------|------------|
| | ALTERNAT. | IDADE | 6% | 8% | 12% | |
| 1 | CR X CC | 6 x 7 | - | 6,20 | 11,80 | 151,70 |
| | | 7 x 6 | 31,63 | 29,00 | - | |
| | | 7 x 7 | - | - | 8,45 | |
| | | 7 x 8 | 4,69 | 1,31 | 15,42 | |
| | | 8 x 6 | 17,82 | - | 2,80 | |
| | | 8 x 7 | 30,57 | 45,93 | 39,50 | |
| | | 8 x 8 | 66,99 | 65,26 | 74,52 | |
| 2 | CR X CC | 9 x 7 | 1,87 | - | - | 10,40 |
| | | 9 x 8 | 8,53 | 10,40 | 10,40 | |
| 3 | CR X CC | 8 x 6 | 55,30 | 55,30 | 55,30 | 55,30 |
| 4 | CC X CR | 8 x 6 | - | 4,28 | 24,54 | 25,90 |
| | | 8 x 7 | 16,92 | 5,59 | - | |
| | | 8 x 8 | 8,98 | 16,03 | 0,36 | |
| 5 | CR X CC | 8 x 6 | 16,63 | 26,60 | 26,60 | 26,60 |
| | | 8 x 7 | 13,97 | - | - | |
| 6 | CC X CR | 8 x 6 | 54,50 | 54,50 | - | 54,50 |
| | | 8 x 8 | - | - | 54,50 | |
| 7 | CR X CC | 7 x 8 | 2,14 | - | - | 47,90 |
| | | 8 x 6 | - | 29,77 | 39,27 | |
| | | 8 x 7 | 14,89 | - | 8,62 | |
| | | 8 x 8 | 30,87 | 18,13 | - | |
| 8 | CC X CR | 8 x 6 | 3,72 | 7,93 | 7,98 | 30,00 |
| | | 8 x 7 | - | - | 22,02 | |
| | | 8 x 8 | 26,28 | 22,07 | - | |
| 9 | CC X CR | 9 x 9 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 |
| 10 | CC X CR | 6 x 6 | 20,97 | 24,89 | 32,76 | 284,60 |
| | | 6 x 7 | 19,82 | 18,23 | 6,14 | |
| | | 6 x 8 | 74,80 | 75,63 | 87,19 | |
| | | 7 x 7 | 7,4 | 7,33 | - | |
| | | 7 x 8 | 96,28 | 96,28 | 92,28 | |
| | | 8 x 8 | 65,40 | 62,24 | 62,23 | |
| | | 8 x 8 | 65,40 | 62,24 | 62,23 | |
| 11 | CC X CR | 6 x 6 | 41,50 | 43,94 | 44,00 | 49,60 |
| | | 7 x 8 | 8,14 | 5,66 | 5,60 | |
| 12 | CC X CR | 7 x 7 | - | - | 0,25 | 30,50 |
| | | 8 x 8 | 30,50 | 30,50 | 30,25 | |
| 13 | CC X CR | 6 x 7 | 6,10 | 4,47 | - | 6,10 |
| | | 7 x 8 | - | 1,62 | 6,10 | |
| 14 | CR X CC | 8 x 6 | 28,13 | - | - | 31,80 |
| | | 8 x 8 | 3,67 | 31,80 | 31,80 | |

Ao visualizarmos este quadro notamos que, via de regra, o número de regimes selecionados não variou, mas apenas as idades de corte, com pequena tendência a antecipação dos cortes.

Este resultado fica mais evidenciado quando calculada a rotação média ponderada para a taxa de 6% que ficou em 7,44anos e para 12% em 7,10 anos.

A aplicação da solução matemática apresentada acima resultou nas produções anuais mostradas no Quadro 17 e ilustradas nas Figuras 07, 08 e 09, em anexo.

QUADRO 17: Volume produzido anualmente com as soluções apresentadas pelo modelo de minimização variando a taxa de juro de 6, 8 e 12%.

| PERÍODO | MOD. MIN. 6% (Vol. m/ano) | MOD. MIN. 8% (Vol. m/ano) | MOD. MIN. 12% (Vol. m/ano) |
|---------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 50000,000 | 50000,000 | 49810,675 |
| 2 | 22000,000 | 22000,000 | 22000,000 |
| 3 | 24573,116 | 24942,336 | 25203,206 |
| 4 | 22000,000 | 22000,000 | 22000,000 |
| 5 | 22000,000 | 22000,000 | 22000,000 |
| 6 | 25459,324 | 24612,562 | 24542,929 |
| 7 | 15000,000 | 15000,000 | 15000,000 |
| 8 | 22000,000 | 22000,000 | 22000,000 |
| 9 | 22000,000 | 22000,000 | 22000,000 |
| 10 | 22000,000 | 22000,000 | 22000,000 |
| 11 | 22000,000 | 22000,000 | 22000,000 |
| 12 | 22000,000 | 22000,000 | 22000,000 |
| 13 | 22000,000 | 22000,000 | 22000,000 |
| 14 | 22000,000 | 22000,000 | 22000,000 |
| 15 | 40000,000 | 40000,000 | 34288,324 |
| 16 | 26165,890 | 25009,353 | 34473,087 |
| 17 | 22000,000 | 22031,871 | 22000,000 |
| 18 | 26275,169 | 27006,547 | 23288,058 |
| 19 | 22000,000 | 22000,000 | 22000,000 |
| 20 | 22000,000 | 22710,706 | 22781,737 |
| 21 | 22000,000 | 25000,000 | 22000,000 |

Este quadro nos mostra que a variação da taxa de juro não afetou a produtividade total da floresta, ficando em torno de 515.300,000 m³ para os três modelos, resultado que em parte difere do apresentado por KIDD (1969), que obteve uma diminuição da produção quando aumentou a taxa de juro de 3 para 10% ao ano.

5- CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho, permitiram as seguintes conclusões:

a) a inclusão do corte sustentado, tanto com função de custo como função de renda, homogeneizou o fluxo de produção de matéria-prima do longo do período de planeamento;

b) a utilização do corte sustentado leva a uma segmentação dos estratos florestais com diferentes regimes de manejo, bem como a redução do retorno total;

c) o aumento da taxa mínima atrativa provoca uma antecipação dos cortes, apesar de não provocar uma variação significativa no volume total produzido;

d) a aplicação de modelos de planejamento florestal baseados em programação matemática constitui-se em ferramenta rápida, eficaz e de grande operacionalidade ao manejador florestal.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, O. & WEINFRAUB, A. Planning for a vertically integrated industry. Operations Research, 30 (6): 1168-1182, 1982.
- DOLEZAL, B. A method of forest management for the planned introduction of intensive husbandry in Virgin forest stands. In: OPERATIONAL FOREST MANAGEMENT PLANNING METHODS, Romênia, 18-24 junho. 1978. Anais ... Berkeley, Pacific Southwest Range Exp. Stn. Forest Science, 1978. p. 1-6.
- FAO/SWE/TF. An introduction to planning forestry development. Roma, 1984. 86 p.
- FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; KLEIN, J. E.; BRENA, D. A. & MENEZES, L. F. Crescimento em área basal de Eucalyptus grandis com enfoque para o planejamento da produção florestal. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 6, Nova Prata, set. 1988. Anais ... Nova Prata, Prefeitura Municipal, 1988. p. 755-769.
- HARVEY, M. W. Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro, Prentice Hall do Brasil, 1986. 851 p.
- HILLER, F. S & LIEBERMAN, G. J. Introdução à pesquisa operacional. Rio de Janeiro, CAMPUS/EDUSP, 1988. 805 p.
- JOHNSON, K. N. & H. L. SCHEURMAN. Techniques for prescribing optimal timber an investment under of different objectives - discussion and synthesis. Forest Science, Bethesda, 23(1):1-31, 1977.
- KIDD, W. E. Forest regulation and the alternative rate - a case illustration. Journal of forestry, Bethesda, dec. 1969.
- KILKKI, P. Long term timber production planning via utility maximisation. Management Science, 21: 285-295, 1986.
- KIRBY, M. Large-scale budget application of mathematical programming in the forest service. In: OPERATIONAL FOREST PLANNING METHODS, Romênia, 18-24 junho. 1978. Anais... Berkeley, Pacific Southwest Range Exp. Stn. Forest Science, 1978. p.60-67.
- KOLENKA, I. Optimal control of raw timber production processes. In: OPERATIONAL FOREST PLANNING METHODS, Romênia, 18-24 junho. 1978. Anais ... Berkeley, Pacific Southwest Range Exp. Stn. Forest, 1978. p. 54-59.
- LIMA, A. B. N. P. M. Plano ótimo econômico de manejo de corte para florestas de Eucalyptus. Piracicaba, ESALQ, 1988. 88 p. Dissertação de Mestrado em Agronomia.
- LOUCKS, D. P. The development of a optimal program for sustained yield management. Journal of forestry, Bethesda, 62:485-490, 1964.
- NETTO, M. T. Um modelo de programação linear para o planejamento de florestas de Eucalyptus. Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro, 4(1): 19-38, 1984.
- RODRIGUEZ, L. C. E. & MOREIRA, M. M. Gerenciamento de florestas de Eucalyptus com modelos de programação linear. IPEF, Série Técnica. Piracicaba, 6(19):1-15, Maio 1989.

SCHNEIDER, P. R. FINGER, C. A. G.; MENEZES, L. F. & KLEIN, J.E. M. Fundamentos de planejamento da produção florestal de Eucalyptus grandis (HILL) Maiden e Eucalyptus saligna Smith. Santa Maria, FATEC/RIOCELL S.A., 1988.

_____, P. R.; FINGER, C. A. G.; MENEZES, L. F.; KLEIN, J.E. M.; TOTTI, J. A. & GONZAGA, J. V. Metodologia para análise econômica da condução da brotação e reforma de povoamento de Eucalipto, Santa Maria, FATEC/RIOCELL S. A., 1987. 45p. (Relatório Técnico).

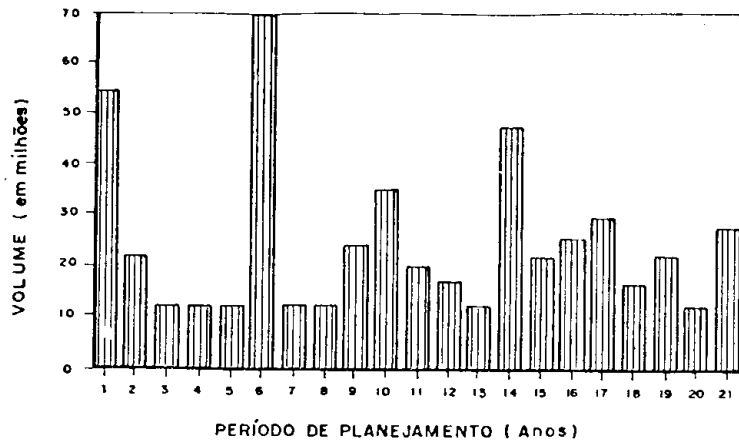


FIGURA 01: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de max. do VLP, MOD. A.

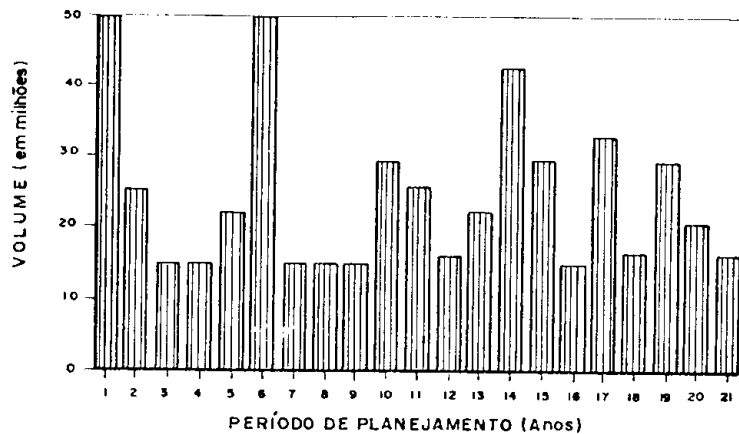


FIGURA 02: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de max. do VLP, MOD. B.

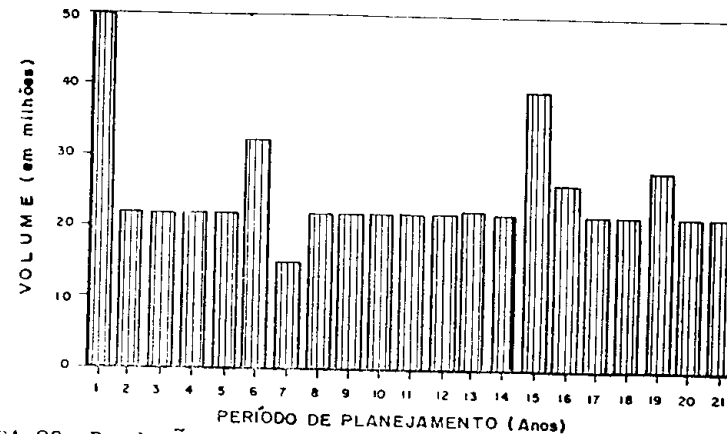


FIGURA 03: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de max. do VLP, MOD. C.

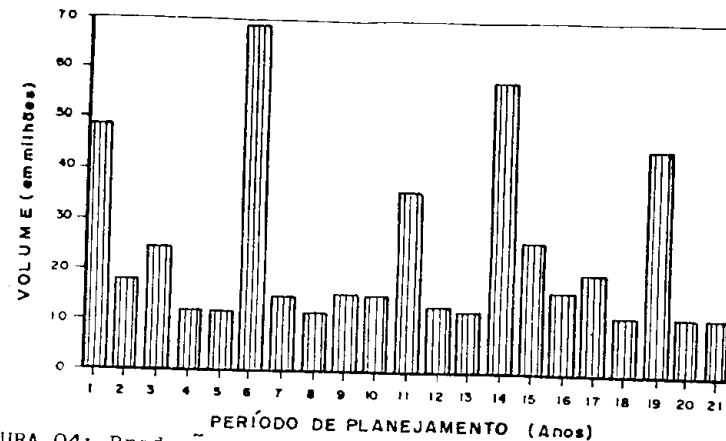


FIGURA 04: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de minimização, MOD. A.

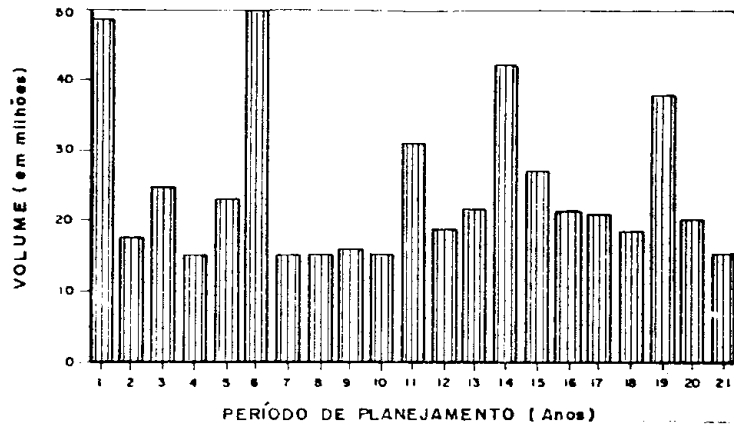


FIGURA 05: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de minimização, MOD. B.

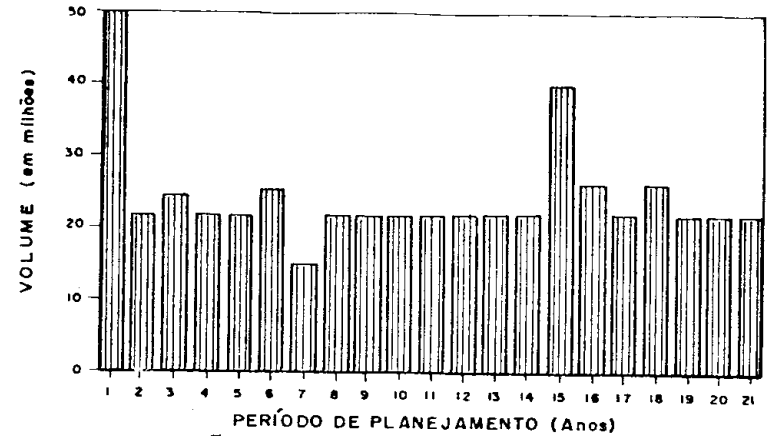


FIGURA 07: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de MIN. $t=6\%$, MOD. A.

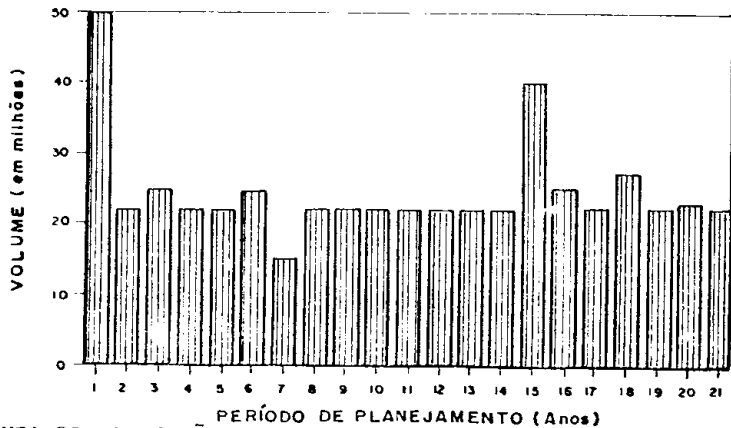


FIGURA 06: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de minimização, MOD. C:

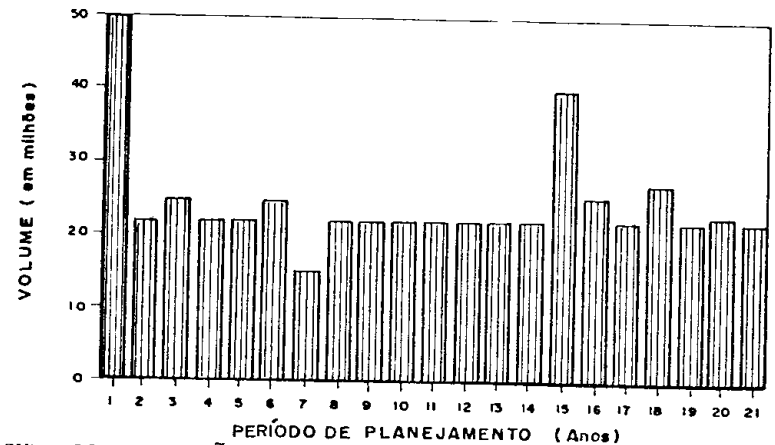


FIGURA 08: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de MIN. $t=8\%$, MOD. B.

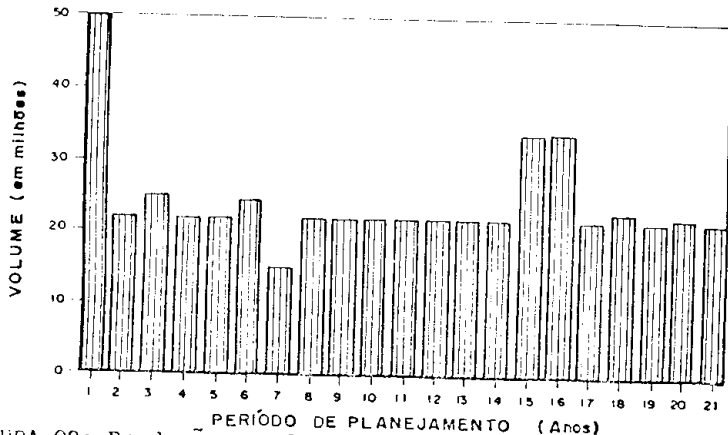


FIGURA 09: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de MIN. $t=12\%$, MOD. C.