

PLANEJAMENTO FLORESTAL VISANDO À MAXIMIZAÇÃO DOS LUCROS E A MANUTENÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO

Anabel Aparecida de Mello¹, Celso Carnieri², Julio Eduardo Arce³, Carlos Roberto Sanquetta⁴

(recebido: 16 de novembro de 2004; aceito: 11 de agosto de 2005)

RESUMO: Este estudo foi realizado na Indústria Pedro N. Pizzatto, município de General Carneiro, Paraná, com o objetivo de modelar o planejamento florestal, maximizando o lucro da empresa e considerando o estoque de carbono existente nas florestas. Utilizou-se o *Software* SISPINUS para prognosticar o diâmetro, a altura e o volume em pé de 11 projetos submetidos a 5 diferentes regimes de manejo, considerando uma rotação de 21 anos e, logo após, estimou-se a quantidade de carbono que permanece na floresta e que é retirada, após as intervenções previstas nos regimes. Na programação linear foram adotados 24 cenários, em função da demanda de madeira, taxa de desconto anual e estratégia comercial. Sendo assim, o cenário que apresentou o melhor resultado foi aquele que considera uma taxa de desconto de 8% ao ano, compra e venda de madeira e demanda 30% menor que a utilizada pela empresa, mostrando que quanto menor a exigência em demanda e menor a taxa de juros adotada, maior o retorno econômico obtido pelo modelo. As restrições de equilíbrio de carbono remanescente conseguiram evitar oscilações bruscas neste parâmetro. Os projetos apresentaram subdivisão de áreas, sugerindo a criação de novas e pequenas unidades de manejo, o que pode ter sido ocasionado pelo grande número de restrições do modelo.

Palavras-chave: Planejamento Florestal, Manejo Florestal, Carbono, Programação Linear.

FOREST PLANNING FOR MAXIMIZING THE FOREST REVENUE, TAKING INTO ACCOUNT THE STOCKED CARBON

ABSTRACT: This study was carried out in Pedro N. Pizzatto Industry farm land, located in General Carneiro, Paraná State, aiming at establishing a planning model for maximizing forest revenue, taking into account the carbon stocked in the forests under different management regimes. The data came from 11 stands and the SISPINUS growth and yield simulator was used to predict volume, mean tree height and dbh of these stands managed under five different options for a planning horizon of 21 years and the removed and remaining carbon stocks of each stand were estimated. Linear programming techniques were applied to 24 scenarios defined in function of log demand, the annual interest rate, as well as the commercial strategy. The best scenario indicated by the linear programming model was the option which takes into consideration an 8% interest rate, purchase and sale of logs in the market and a demand of 30% of the woody raw material consumed by the factor, showing that a lower interest rate increases the economic return. The carbon equilibrium constraints avoided excessive oscillations in this parameter. The stands originated after the application of the model showed irregular areas, some very small, probably caused by the great number of restrictions imposed by the model and the conversion of large stands into small ones might be suggesting the necessity of creating new management units.

Key words: Forest Planning, Forest Management, Carbon, Linear Programming.

1 INTRODUÇÃO

Com a implantação da lei dos incentivos fiscais na década de 60, a área de florestas plantadas cresceu enormemente. Os plantios florestais efetuados com esse recurso visavam aumentar a base florestal do País e também captar recursos para o desenvolvimento do setor.

Atualmente, as empresas continuam a implantar reflorestamentos, mas a qualidade final dos produtos e o correspondente valor agregado aos mesmos passaram a ser fatores fundamentais na tomada de decisões das empresas florestais, assim como a preocupação com o meio ambiente, que passou a ser também uma exigência de consumidores externos.

¹ Pesquisadora do Centro de Ciências Florestais da UFPR – Av: Lothário Meissner, 34000 – Jardim Botânico – 80.210-170 – Curitiba, PR – anabel_mello@yahoo.com.br

² Professor Titular do Departamento de Matemática da UFPR – Av: Lothário Meissner, 34000 – Jardim Botânico – 80.210-170 – Curitiba, PR – carnieri@mat.ufpr.br

³ Professor Titular do Centro de Ciências Florestais da UFPR – Av: Lothário Meissner, 34000 – Jardim Botânico – 80.210-170 – Curitiba, PR – jarce@floresta.ufpr.br

⁴ Professor Titular do Centro de Ciências Florestais da UFPR – Av: Lothário Meissner, 34000 – Jardim Botânico – 80.210-170 – Curitiba, PR – sanqueta@floresta.ufpr.br

Como as empresas reflorestadoras buscam a obtenção do maior retorno econômico possível com os produtos advindos de seus plantios, surge a necessidade de um planejamento coerente, visando à obtenção de múltiplos produtos e, também, à maximização dos lucros.

Para isso, existem ferramentas importantes que permitem analisar as informações e a tomada de decisão em função das condições de mercado ou da demanda da própria empresa, como os métodos biométricos que enfocam a prognose do crescimento e da produção da floresta e os métodos de avaliação econômica, de planejamento e de otimização, que consideram critérios econômicos na avaliação de projetos, aliados à programação matemática (BRAZ, 2001; OLIVEIRA, 1995; SCOLFORO, 1990; VOLPI et al., 2000).

Atualmente, outra grande preocupação das empresas de reflorestamento se refere a sustentabilidade, levando-se em conta fatores sociais, econômicos e ambientais, como, por exemplo, o estoque de carbono nas florestas, assunto bastante discutido nos últimos congressos e reuniões do setor florestal. Além de retirar carbono da atmosfera, contribuindo com o aspecto ambiental, o carbono acumulado na biomassa florestal pode se tornar uma fonte de renda através da venda de “commodities”, conforme discutido na Conferência de Kyoto realizada em 1997 (SILVA, 2000). Com a ratificação da Rússia, o Protocolo entrou em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005. Sendo assim, os países desenvolvidos comprometem-se a reduzir as emissões de CO₂ a uma margem de 5% do nível registrado em 1990, no período de 2008 a 2012. Segundo Rochadelli (2001), o estabelecimento de florestas pode contribuir significativamente com os acréscimos nos estoques de carbono, por meio da sua capacidade de armazenar o mesmo durante o processo de produção de biomassa. Sendo assim, os reflorestamentos assumem grande importância nas discussões sobre mudanças climáticas globais, pois apresentam grande potencialidade como seqüestradores de carbono.

Com o intuito de considerar os fatores acima mencionados, objetivou-se com este trabalho modelar, a longo prazo, o planejamento florestal otimizado de uma empresa de reflorestamentos, visando à maximização dos lucros e à manutenção de um

estoque de carbono desejável nas florestas submetidas a diferentes regimes de manejo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área do presente estudo é de propriedade das Indústrias Pedro N. Pizzatto e está localizada no Município de General Carneiro, região Centro-Sul do Paraná.

O estudo foi realizado em plantações de *Pinus taeda* pertencentes à empresa, situadas entre as coordenadas 26°20'35" e 26°26'13" Lat. S., e 51°19'49" e 51°25'29" Long. W. O clima da região é classificado como submontano úmido e muito úmido e segundo Maack (1968), possui temperatura média anual de 15,1°C. A região apresenta altitudes variando de 800 a 1100 m. O relevo predominante é ondulado à forte ondulado. De acordo com IBGE (1992), a formação vegetal encontrada nas áreas corresponde ao bioma denominado Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária.

2.2 Obtenção dos dados

Os dados utilizados neste estudo advêm de 11 projetos com plantios de *Pinus taeda* em diferentes idades, em diferentes índices de sítio e diferentes áreas. Na Tabela 1 apresentam-se as informações de cada projeto, utilizadas para obtenção de valores dendrométricos futuros destas florestas.

O índice de sítio dos projetos, para a idade índice de 15 anos, foi obtido com a utilização das fórmulas abaixo, obtidas no Laboratório de Inventário Florestal da UFPR.

$$IS_{25} = \exp \{ \ln (h_{dom}) + 9,32216638 + [(1/Id) - (1/25)] \}$$

$$IS_{15} = IS_{25} * 0,779898806$$

2.3 Análise dos dados

Para estimar a produção volumétrica dos plantios da empresa utilizou-se o programa de simulação florestal SISPINUS desenvolvido pelo CNPF-EMBRAPA.

Neste estudo foi avaliado o regime de manejo adotado pela empresa (regime 0) e mais quatro simulações. As características de cada regime são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1 – Dados dos projetos utilizados para realização das prognoses.**Table 1** – Data used to forecast growth and yields.

Projeto	G/ha (m ² /ha)	N/ha	Idade (anos)	IS 15	Área (ha)
Santo Antônio	22,6	212	19,8	18,9	25,4
Santo Antônio 2	43,3	510	17,3	20,3	40,0
Santo Antônio 3	32,6	880	8,3	19,2	10,0
Projeto 14	12,1	124	19,2	18,9	11,0
Projeto 13	39,1	403	20,2	20,4	53,1
Projeto 12	19,8	200	19,2	21,5	30,2
Projeto 11	23,2	200	22,1	20,5	80,0
Imbuia	31,5	596	10,2	19,0	43,0
Reflora I	34,1	606	16,2	18,4	200,0
Reflora II	32,2	506	13,2	19,0	150,0
São João	34,4	508	12,1	18,7	48,0

G/ha: área basal (m²/ha); N/ha: número de árvores por hectare; IS15: índice de sítio aos 15 anos.

Tabela 2 – Regimes de manejo adotados no estudo.**Table 2** – Management regimes used in the study.

Regimes	1 ^o Desbaste		2 ^o Desbaste		3 ^o Desbaste		4 ^o Desbaste		Corte Raso	
	Ano	% Retirado	Ano	% Retirado						
0	8	28	12	37	16	50	-	-	20	100
1	6	28	11	30	15	30	-	-	20	100
2	8	28	13	30	17	30	-	-	20	100
3	9	28	14	30	18	30	-	-	20	100
4	6	28	10	30	14	30	18	30	20	100

% Retirado = % do número de árvores existente retirado nos respectivos desbastes e no corte raso.

Para a obtenção dos valores de volume foram considerados, além das informações anteriormente descritas, os sortimentos utilizados pela empresa. Esses sortimentos são denominados de torno grande, torno pequeno e serraria, com os diâmetros mínimos de 30, 25 e 10 cm, respectivamente.

A prognose foi realizada até o ano 2022, considerando-se que as informações disponíveis foram obtidas no ano de 2002. A condição atual de cada projeto foi considerada e, logo após a data de corte raso destes, estabeleceu-se um período de descanso de 1 ano para terra, procedimento adotado pela empresa e um novo plantio foi simulado, considerando um espaçamento 3 x 3 m, totalizando 1111 árvores por hectare.

Sendo assim, obtiveram-se os valores de volume

total (m³), volume para laminação de torno grande (m³), volume para laminação de torno pequeno (m³) e volume para serraria (m³) para os diferentes regimes de manejo.

A partir das equações apresentadas na Tabela 3 foram estimadas a quantidade de biomassa verde (Kg) e de carbono total (Mg/ha) existente em cada projeto, de acordo com os regimes de manejo adotados, para cada ano do horizonte de planejamento. Vale ressaltar que 1 Mg equivale a 1 ton e é a unidade normalmente utilizada em estudos quantitativos de carbono.

De posse dos custos e receitas, fornecidos pela empresa (Tabela 4), calculou-se o Valor Presente Líquido (VPL) de cada projeto, que, segundo Rezende & Oliveira (2001), pode ser definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado.

Tabela 3 – Equações adotadas para estimar a biomassa verde com casca (kg) e o carbono (kg).**Table 3** – Equations adopted to predict the green biomass with bark (kg) and carbon (kg).

Biomassa Verde	Equação	R ² (%)	Syx (%)
Fuste	$PVF_{cc} = 0,0595 (DAP^2 * H)^{0,9279}$	95,07	13,46
Folhas	$PVF_{fol} = 0,0012(DAP^2 * H)^{1,0480}$	78,37	18,67
Galho Vivo	$PVG_{V_{cc}} = 0,0001(DAP^2 * H)^{1,3922}$	77,29	19,03
Quantidade de Carbono			
Fuste	$PCF = 0,1737 * PVF$	94,21	13,46
Folhas	$PCF_{fol} = 0,1422 * PVF_{fol}$	83,77	28,67
Galho Vivo	$PCGV = 0,1595 * PVGV$	98,69	9,01

DAP = Diâmetro à Altura do Peito; H = Altura Total; R² = Coeficiente de Determinação; Syx(%) = Erro Padrão Residual Percentual; PVF_{cc} = Peso Verde do Fuste com casca; PVF_{fol} = Peso Verde das Folhas; PVGV_{cc} = Peso Verde dos Galhos Vivos com casca; PCF = Peso de Carbono no Fuste; PCF = Peso de Carbono nas Folhas; PCF = Peso de Carbono nos Galhos Vivos. FONTE: Sanquetta et al. (2003).

Tabela 4 – Custos e receitas da produção de madeira, excluindo taxas de administração e impostos.**Table 4** – Wood production revenues and costs, without taxes.

Itens de custo	Ano de ocorrência	Valor
Mudas para plantio	0	177,76 (R\$/ha)
Plantio (mão-de-obra)	0	222,20 (R\$/ha)
Mudas para replantio (15%)	0	26,72 (R\$/ha)
Replantios	0	33,40 (R\$/ha)
Coroamentos (3-5-7 meses)	0	199,98 (R\$/ha)
Roçadas (3)	1 e 2	900,00 (R\$/ha)
Primeira Poda (1111 árv/ha)	3	61,11 (R\$/ha)
Segunda Poda (1111 árv/ha)	5	122,21 (R\$/ha)
Terceira Poda (500 árv/ha)	7	85,00 (R\$/ha)
Quarta Poda (250 árv/ha)	10	50,00 (R\$/ha)
Primeiro Desbaste	**	4,40 (R\$/st)
Segundo, Terceiro e Quarto Desbastes	**	4,00 (R\$/st)
Corte Raso	20	3,85 (R\$/st)
Transporte (Projetos: 14, Re flora I, Re flora II e Imbuia)	ano de corte	2,52 (R\$/st)
Transporte (Projetos: 11, 12, 13 e São João)	ano de corte	2,88 (R\$/st)
Transporte (Projetos: SA, SA2 e SA3)	ano de corte	3,10 (R\$/st)
Preço da Madeira de Laminação em torno grande	ano de corte	86,71 (R\$/st)
Preço da Madeira de Laminação em torno pequeno	ano de corte	62,86 (R\$/st)
Preço (médio) da Madeira de Serraria	ano de corte	24,75 (R\$/st)

SA: Santo Antônio; SA2: Santo Antônio 2; SA3: Santo Antônio 3.

A fórmula para determinação do VPL é apresentada a seguir.

$$\text{VPL} = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

em que:

VPL = Valor Presente Líquido;

C_j = custo no final do ano j ;

R_j = receita no final do ano j ;

i = taxa de desconto; e

n = duração do projeto, em anos.

Segundo os mesmos autores, é necessário que os horizontes de planejamento dos projetos sejam os mesmos para que possam ser comparados. Como nesse estudo isso não acontece e levando-se em consideração as situações iniciais de cada projeto estudado, ou seja, um novo plantio é realizado após o corte raso, utilizou-se o VPL infinito, ou seja:

$$\text{VPL}_{\infty} = \frac{\text{VPL} \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

em que:

n = rotação do povoamento.

Os valores de VPL foram calculados para cada projeto submetido aos diferentes regimes de manejo, considerando sua situação no início do horizonte de planejamento até a execução do corte raso. Logo após calculou-se o VPL infinito para esses projetos. Os valores de VPL infinito foram então descapitalizados para o ano 0, ou seja, ano de início do horizonte de planejamento e, logo após, somados aos valores de VPL encontrados para cada projeto nos diferentes regimes de manejo.

Realizou-se uma pequena simulação para variações na taxa de desconto. Adotaram-se as taxas anuais de juros de 8, 10, 12 (taxas mais utilizadas no mercado florestal) e 16,5% (taxa Selic na data das simulações).

2.4 Modelo de Programação Linear

Para otimizar a produção florestal da empresa com o objetivo de maximizar o lucro obtido com o corte das florestas e manter um nível de carbono fixado na área, utilizou-se um modelo de programação linear com a estruturação descrita por Puccini (1990):

a) Função Objetivo:

$$\text{MaxZ} = \sum_i \sum_j \text{VPL}_{ij} \cdot X_{ij}$$

em que:

VPL_{ij} = VPL do projeto i segundo o regime de manejo j ;

X_{ij} = número de hectares do projeto i a serem manejados segundo o regime de manejo j .

b) Restrições:

b.1) Restrições de Área:

$$\sum_j X_{ij} \leq A_i$$

em que:

$i = 1, 2, 3, \dots, 11$ (11 restrições).

Estas restrições impedem que o resultado (número de hectares do projeto i a ser retirado seguindo o regime de manejo j) exceda o número de hectares existente em cada projeto.

b.2) Restrições de Demanda:

$$\sum_i \sum_j V_{ijkl} \cdot X_{ij} \geq D_{kl}$$

em que:

V_{ijkl} = Volume obtido para o projeto i , no regime de manejo j , ano k e sortimento l (laminação torno grande, laminação torno pequeno e serraria);

D_{kl} = Demanda no ano k , para o sortimento l ;

$k = 1, 2, \dots, 21$ e $l = 1, 2$ e 3 , totalizando 63 restrições de demanda.

As restrições de demanda especificam a quantidade mínima de madeira para cada sortimento que deve ser obtida após o corte do projeto i , submetido ao regime de manejo j , para atender a demanda anual da fábrica.

b.3) Restrições de Equilíbrio de Carbono Remanescente:

$$\sum_i \sum_j \text{QCR}_{ijk} \cdot X_{ij} \geq 0,90 * \sum_i \sum_j \text{QCR}_{ijk-1} \cdot X_{ij}$$

$$\sum_i \sum_j \text{QCR}_{ijk} \cdot X_{ij} \leq 1,10 * \sum_i \sum_j \text{QCR}_{ijk-1} \cdot X_{ij}$$

em que:

QCR_{ijk} = quantidade de carbono remanescente no projeto i , submetido ao regime de manejo j , no ano k ;

QCR_{ijk-1} = quantidade de carbono remanescente no projeto i , submetido ao regime de manejo j , no ano $k-1$.

Para que a quantidade de carbono remanescente na área dos projetos mantenha-se em torno de 90% da existente antes das intervenções propostas pelos regimes de manejo j , foram estipuladas as restrições de equilíbrio para a quantidade de carbono remanescente.

Com o intuito de fornecer uma maior gama de

opções para viabilizar os resultados obtidos pelo modelo de programação linear, adotou-se simular um atraso, em até nove anos, no regime de manejo adotado pela empresa, sendo que após o corte raso esses novos regimes continuam a seguir as opções anteriormente descritas. Sendo assim, foram utilizados no modelo 70 regimes de manejo, definidos na Tabela 5.

Tabela 5 – Regimes de manejo adotados na simulação.

Table 5 – Management regimes used in the simulation.

Regimes	Condições
1	Situação atual – Regime 0; Plantio Novo – Regime 0
2	Situação atual – Regime 0; Plantio Novo – Regime 1
3	Situação atual – Regime 0; Plantio Novo – Regime 2
4	Situação atual – Regime 0; Plantio Novo – Regime 3
5	Situação atual – Regime 0; Plantio Novo – Regime 4
6	Situação atual – Regime 1; Plantio Novo – Regime 0
7	Situação atual – Regime 1; Plantio Novo – Regime 1
8	Situação atual – Regime 1; Plantio Novo – Regime 2
9	Situação atual – Regime 1; Plantio Novo – Regime 3
10	Situação atual – Regime 1; Plantio Novo – Regime 4
11	Situação atual – Regime 2; Plantio Novo – Regime 0
12	Situação atual – Regime 2; Plantio Novo – Regime 1
13	Situação atual – Regime 2; Plantio Novo – Regime 2
14	Situação atual – Regime 2; Plantio Novo – Regime 3
15	Situação atual – Regime 2; Plantio Novo – Regime 4
16	Situação atual – Regime 3; Plantio Novo – Regime 0
17	Situação atual – Regime 3; Plantio Novo – Regime 1
18	Situação atual – Regime 3; Plantio Novo – Regime 2
19	Situação atual – Regime 3; Plantio Novo – Regime 3
20	Situação atual – Regime 3; Plantio Novo – Regime 4
21	Situação atual – Regime 4; Plantio Novo – Regime 0
22	Situação atual – Regime 4; Plantio Novo – Regime 1
23	Situação atual – Regime 4; Plantio Novo – Regime 2
24	Situação atual – Regime 4; Plantio Novo – Regime 3
25	Situação atual – Regime 4; Plantio Novo – Regime 4
26	Situação atual – Regime 0 com CR aos 21 anos; Plantio Novo – Regime 0
27	Situação atual – Regime 0 com CR aos 21 anos; Plantio Novo – Regime 1

Continua...

To be continued...

Tabela 5 – Continuação...**Table 5** – Continued...

Regimes	Condições
28	Situação atual – Regime 0 com CR aos 21 anos; Plantio Novo – Regime 2
29	Situação atual – Regime 0 com CR aos 21 anos; Plantio Novo – Regime 3
30	Situação atual – Regime 0 com CR aos 21 anos; Plantio Novo – Regime 4
31	Situação atual – Regime 0 com CR aos 22 anos; Plantio Novo – Regime 0
32	Situação atual – Regime 0 com CR aos 22 anos; Plantio Novo – Regime 1
33	Situação atual – Regime 0 com CR aos 22 anos; Plantio Novo – Regime 2
34	Situação atual – Regime 0 com CR aos 22 anos; Plantio Novo – Regime 3
35	Situação atual – Regime 0 com CR aos 22 anos; Plantio Novo – Regime 4
36	Situação atual – Regime 0 com CR aos 23 anos; Plantio Novo – Regime 0
37	Situação atual – Regime 0 com CR aos 23 anos; Plantio Novo – Regime 1
38	Situação atual – Regime 0 com CR aos 23 anos; Plantio Novo – Regime 2
39	Situação atual – Regime 0 com CR aos 23 anos; Plantio Novo – Regime 3
40	Situação atual – Regime 0 com CR aos 23 anos; Plantio Novo – Regime 4
41	Situação atual – Regime 0 com CR aos 24 anos; Plantio Novo – Regime 0
42	Situação atual – Regime 0 com CR aos 24 anos; Plantio Novo – Regime 1
43	Situação atual – Regime 0 com CR aos 24 anos; Plantio Novo – Regime 2
44	Situação atual – Regime 0 com CR aos 24 anos; Plantio Novo – Regime 3
45	Situação atual – Regime 0 com CR aos 24 anos; Plantio Novo – Regime 4
46	Situação atual – Regime 0 com CR aos 25 anos; Plantio Novo – Regime 0
47	Situação atual – Regime 0 com CR aos 25 anos; Plantio Novo – Regime 1
48	Situação atual – Regime 0 com CR aos 25 anos; Plantio Novo – Regime 2
49	Situação atual – Regime 0 com CR aos 25 anos; Plantio Novo – Regime 3
50	Situação atual – Regime 0 com CR aos 25 anos; Plantio Novo – Regime 4
51	Situação atual – Regime 0 com CR aos 26 anos; Plantio Novo – Regime 0
52	Situação atual – Regime 0 com CR aos 26 anos; Plantio Novo – Regime 1
53	Situação atual – Regime 0 com CR aos 26 anos; Plantio Novo – Regime 2
54	Situação atual – Regime 0 com CR aos 26 anos; Plantio Novo – Regime 3
55	Situação atual – Regime 0 com CR aos 26 anos; Plantio Novo – Regime 4
56	Situação atual – Regime 0 com CR aos 27 anos; Plantio Novo – Regime 0
57	Situação atual – Regime 0 com CR aos 27 anos; Plantio Novo – Regime 1
58	Situação atual – Regime 0 com CR aos 27 anos; Plantio Novo – Regime 2
59	Situação atual – Regime 0 com CR aos 27 anos; Plantio Novo – Regime 3
60	Situação atual – Regime 0 com CR aos 27 anos; Plantio Novo – Regime 4
61	Situação atual – Regime 0 com CR aos 28 anos; Plantio Novo – Regime 0
62	Situação atual – Regime 0 com CR aos 28 anos; Plantio Novo – Regime 1
63	Situação atual – Regime 0 com CR aos 28 anos; Plantio Novo – Regime 2
64	Situação atual – Regime 0 com CR aos 28 anos; Plantio Novo – Regime 3
65	Situação atual – Regime 0 com CR aos 28 anos; Plantio Novo – Regime 4
66	Situação atual – Regime 0 com CR aos 29 anos; Plantio Novo – Regime 0
67	Situação atual – Regime 0 com CR aos 29 anos; Plantio Novo – Regime 1
68	Situação atual – Regime 0 com CR aos 29 anos; Plantio Novo – Regime 2
69	Situação atual – Regime 0 com CR aos 29 anos; Plantio Novo – Regime 3
70	Situação atual – Regime 0 com CR aos 29 anos; Plantio Novo – Regime 4

CR = Corte Raso

Para obter os resultados do modelo de programação linear utilizou-se o *software* Lingo 8.0 versão *free* e a versão 6.0 do *Extended Lingo PC*. Foram então criadas matrizes com 770 linhas e 21 colunas, contendo os volumes para os diferentes sortimentos e a quantidade de carbono remanescente e total estimada. Foram também criados vetores de Valor Presente Líquido para os 11 projetos, considerando os diferentes regimes de manejo.

Foram adotados 24 diferentes cenários (Tabela 6) para facilitar a escolha da empresa em relação à estratégia de planejamento a ser adotada, ou seja, opções de compra e venda maximizando o VPL e

também minimizando a compra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Estratégia comercial de compra e venda visando maximizar o VPL

Na Tabela 7 apresentam-se os resultados encontrados pelo modelo de programação linear com a utilização do *Software* Lingo, considerando os cenários que maximizam o Valor Presente Líquido dos projetos estudados, nas diferentes taxas de desconto utilizadas, para a estratégia comercial de compra e venda.

Tabela 6 – Diferentes cenários adotados no modelo de programação linear.

Table 6 – Different scenarios adopted in the Linear Programming model.

Cenário	Taxa	Demanda	Estratégia de Venda	Função Objetivo
1	8,0%	Empresa	Compra e Venda	Max VPL
2	10,0%	Empresa	Compra e Venda	Max VPL
3	12,0%	Empresa	Compra e Venda	Max VPL
4	16,5%	Empresa	Compra e Venda	Max VPL
5	8,0%	30% menor	Compra e Venda	Max VPL
6	10,0%	30% menor	Compra e Venda	Max VPL
7	12,0%	30% menor	Compra e Venda	Max VPL
8	16,5%	30% menor	Compra e Venda	Max VPL
9	8,0%	20% menor	Compra e Venda	Max VPL
10	10,0%	20% menor	Compra e Venda	Max VPL
11	12,0%	20% menor	Compra e Venda	Max VPL
12	16,5%	20% menor	Compra e Venda	Max VPL
13	8,0%	Empresa	Compra e Venda	Min Compra
14	10,0%	Empresa	Compra e Venda	Min Compra
15	12,0%	Empresa	Compra e Venda	Min Compra
16	16,5%	Empresa	Compra e Venda	Min Compra
17	8,0%	30% menor	Compra e Venda	Min Compra
18	10,0%	30% menor	Compra e Venda	Min Compra
19	12,0%	30% menor	Compra e Venda	Min Compra
20	16,5%	30% menor	Compra e Venda	Min Compra
21	8,0%	20% menor	Compra e Venda	Min Compra
22	10,0%	20% menor	Compra e Venda	Min Compra
23	12,0%	20% menor	Compra e Venda	Min Compra
24	16,5%	20% menor	Compra e Venda	Min Compra

Se a empresa resolve adotar essa estratégia comercial poderá vender a madeira que sobra para torno grande e torno pequeno e com esse lucro comprar a madeira para serraria. Vale ressaltar que como o estudo abrange apenas 34,54 % da área reflorestada da empresa a quantidade de madeira que faltará em alguns anos para alguns sortimentos poderá advir dos outros projetos existentes na área.

De acordo com os resultados encontrados na Tabela 7, o maior valor encontrado para a função objetivo foi no cenário que adotou uma taxa de desconto equivalente a 8% ao ano e uma demanda 30% inferior à exigida pela fábrica. Porém, deveria ser acrescentado o valor da compra da madeira da demanda não atendida.

Após a otimização desse cenário (Cenário 5), o maior número de hectares a ser manejado deve seguir o regime de manejo 63, que prevê a adoção do

regime de manejo da empresa, com corte raso aos 28 anos e o regime de manejo 2 para os plantios novos.

3.2 Estratégia comercial de compra e venda visando minimizar a compra de madeira

Pela Tabela 8 observam-se os resultados encontrados pelo modelo de programação linear através do *Software* Lingo, considerando os cenários que minimizam a compra de madeira para os projetos estudados, nas diferentes taxas de desconto aplicadas, utilizando a estratégia comercial de compra e venda. Os resultados mostram a quantidade de madeira que deverá ser adquirida pela empresa seguindo esse planejamento.

Seguindo essa estratégia a quantidade de madeira que faltará em alguns anos para alguns sortimentos também poderá advir dos outros projetos existentes na área da empresa.

Tabela 7 – Quantidade de madeira a ser comprada e vendida por sortimento e cenário, maximizando o VPL.

Table 7 – Wood quantity to be bought and sold in each assortment and scenery, maximizing the NPV.

Cenário	Função Objetivo (RS)	Compra Tgrande (m ³)	Compra Tpequeno (m ³)	Compra Serraria (m ³)	Venda Tgrande (m ³)	Venda Tpequeno (m ³)	Venda Serraria (m ³)
5	1,7373*10 ⁷	0,0	22446,2	97426,3	87742,6	5770,5	1144,8
9	1,6529*10 ⁷	325,1	31202,9	122954,2	85611,5	4605,6	0,0
6	1,5327*10 ⁷	844,7	23184,2	97384,3	86413,6	5824,2	1880,8
10	1,4479*10 ⁷	1164,6	31508,6	123042,3	85644,0	4404,4	0,0
7	1,4046*10 ⁷	0,0	22734,1	95730,7	86218,7	5903,4	1260,0
11	1,3163*10 ⁷	598,8	31084,5	120590,1	81028,6	4420,8	0,0
1	1,2796*10 ⁷	5620,6	45557,6	175846,9	56941,2	111,6	0,0
8	1,2195*10 ⁷	662,2	24359,7	92755,3	76841,3	6844,7	549,6
12	1,1277*10 ⁷	1412,7	32116,8	118637,2	70578,5	4777,6	0,0
2	1,0609*10 ⁷	5530,7	45458,0	175353,4	56419,7	110,6	0,0
3	0,9359*10 ⁷	5778,6	45549,5	175354,2	56256,0	127,7	0,0
4	0,7353*10 ⁷	5902,9	45579,1	175406,5	56326,0	134,2	0,0

Tgrande = Torno Grande; Tpequeno = Torno Pequeno

Tabela 8 – Quantidade de madeira a ser comprada em cada sortimento e cenário, minimizando a compra.

Table 8 – Wood quantity to be bought in each assortment and scenery, minimizing the purchase.

Cenário	Função Objetivo (m ³)	Compra Tgrande (m ³)	Compra Tpequeno (m ³)	Compra Serraria (m ³)
17, 18, 19 e 20	99897,4	6171,4	6957,4	120226,4
21, 22, 23 e 24	133966,0	6469,2	7322,0	142339,4
13, 14, 15 e 16	212852,0	11413,0	6096,9	200639,0

Tgrande = Torno Grande; Tpequeno = Torno Pequeno.

De acordo com os resultados encontrados na Tabela 8, os melhores valores encontrados para a função objetivo corresponderam aos cenários que adotaram a demanda 30% menor do que a exigida pela fábrica. Os resultados encontrados para esses cenários não apresentaram variação nos valores, pois não levaram em consideração valores de análise econômica, que acarretaria diferença nos resultados dentro dos cenários que utilizam a mesma demanda.

De acordo com os resultados encontrados, após a otimização, o maior número de hectares deve seguir o regime de manejo 6, que prevê a adoção do regime de manejo 1 e o regime de manejo adotado pela empresa para os plantios novos.

Os resultados encontrados, para os diferentes cenários considerados, apresentaram algumas áreas muito pequenas indicadas para seguir determinado regime de manejo. Neste caso, por não ser compensador adotar esse critério, deve-se utilizar o

regime mais indicado para o projeto em questão. Estes resultados podem ser ocasionados pelo número grande de restrições em comparação ao número relativamente reduzido de regimes de manejo gerados, o que impediria o programa de encontrar resultados ótimos utilizando apenas um determinado regime de manejo para cada um dos projetos estudados.

Já nos casos de projetos com áreas relativamente grandes, as quais foram divididas em áreas menores após a otimização, o programa pode estar sugerindo novas unidades de manejo, mediante as quais o empresário poderia obter um maior retorno econômico.

3.3 Volume e quantidade de carbono remanescente após a otimização

Após verificar os resultados encontrados pelos diferentes cenários optou-se pelo cenário que considera a compra e venda visando à maximização do lucro, (considerando uma taxa de desconto de 8% a.a. e uma demanda 30% menor do que a utilizada pela empresa), o qual apresentou o melhor resultado para função objetivo, para realizar a projeção gráfica da quantidade de volume para serraria, torno pequeno, torno grande e total, e da quantidade de carbono remanescente, mostrando assim como seria a distribuição dessas variáveis durante o horizonte de planejamento abordado nesse estudo, após a otimização. Esses resultados estão apresentados nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5. Analisando essas figuras pode-se verificar que as variáveis de volume e a quantidade de carbono ficaram bem distribuídas durante os anos utilizados no horizonte de planejamento do estudo.

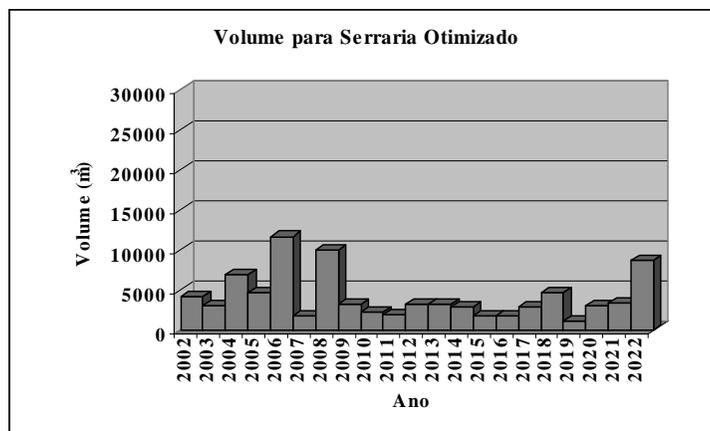


Figura 1 – Volume total (m³) para serraria encontrado após a otimização.

Figure 1 – Total stem volume (m³) found after the optimization to sawlog.

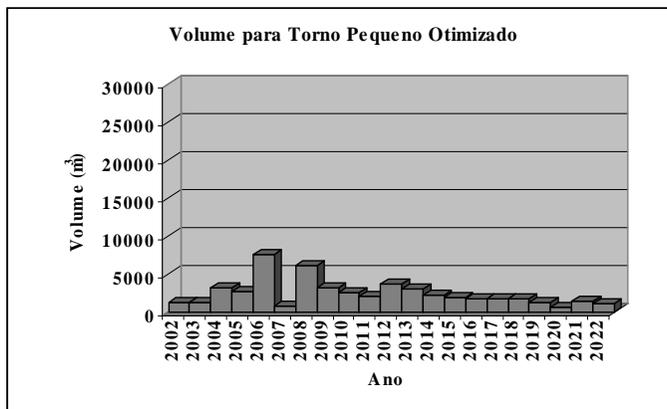


Figura 2 – Volume total (m³) para torno pequeno encontrado após a otimização.
Figure 2 – Total stem volume (m³) found after the optimization to small veneer log.

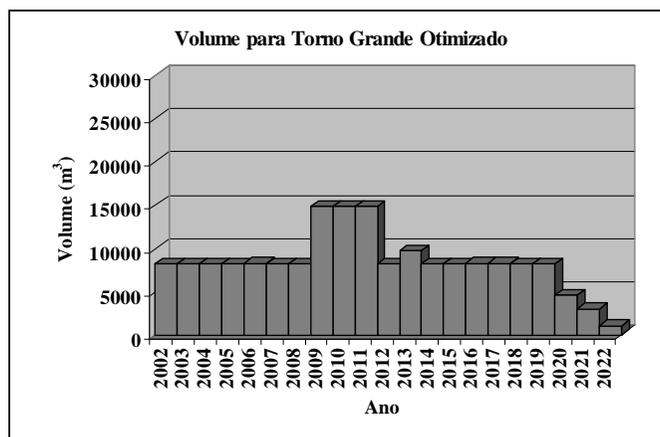


Figura 3 – Volume total (m³) para torno grande encontrado após a otimização.
Figure 3 – Total stand volume (m³) found after the optimization to long veneer log.

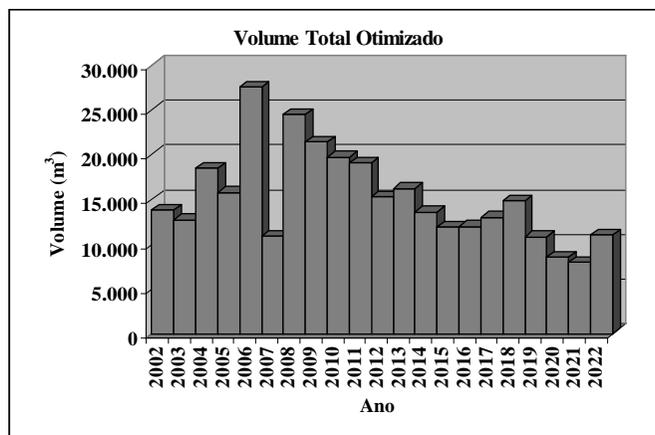


Figura 4 – Volume total (m³) encontrado após a otimização.
Figure 4 – Total stand volume (m³) found after the optimization.

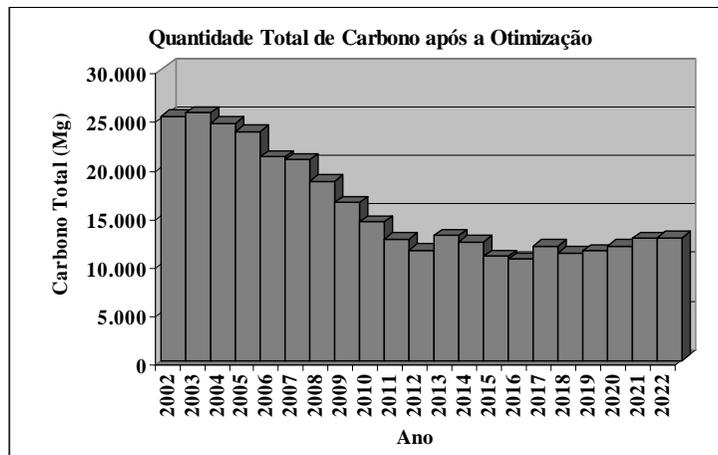


Figura 5 – Quantidade total de carbono (Mg) remanescente encontrada após a otimização.
Figure 5 – Total remaining carbon stock (Mg) found after optimization.

4 CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados encontrados as seguintes conclusões podem ser feitas:

As restrições de equilíbrio de carbono remanescente conseguiram evitar oscilações bruscas na variável. No entanto, no longo prazo este estoque de carbono diminui até ficar restrito ao nível indispensável para atender às restrições de demanda mínima.

O cenário que apresentou o melhor resultado para a função objetivo no modelo de programação linear foi o que considera uma taxa de desconto de 8% ao ano no cálculo do Valor Presente Líquido, a compra e venda da madeira e uma demanda 30% menor do que a utilizada pela empresa, mostrando que quanto menor a exigência em demanda e menor a taxa de juros adotada, maior o retorno econômico obtido através do modelo. Esta conclusão, embora óbvia pelo fato de incrementar o retorno financeiro ao diminuir a taxa de juros, deve ser cautelosamente interpretada, pois não foi contemplada neste estudo a avaliação do risco de reduzir o percentual de auto-abastecimento.

Um número grande de restrições impostas aos modelos de programação linear pode resultar na subdivisão de áreas ou no uso de áreas muito pequenas. A quebra em projetos grandes pode estar sugerindo a criação de novas unidades de manejo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAZ, E. M. **Um modelo em programação linear para garantia do rendimento sustentado em pequena propriedade na floresta tropical**. 2001. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92 p.
- MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Curitiba: CODEPAR, 1968. 350 p.
- OLIVEIRA, E. B. **Um sistema computadorizado de prognose do crescimento e produção de *Pinus taeda* L., com critérios quantitativos para a avaliação técnica e econômica de regimes de manejo**. 1995. 134 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.
- PUCINI, A. L. **Programação linear**. 2. ed. Rio de Janeiro: Copyright, 1990. 250 p.
- REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: UFV, 2001. 389 p.

ROCHADELLI, R. A **estrutura de fixação dos átomos de carbono em reflorestamentos**: estudo de caso: *Mimosa scabrella* Bentham, bracatinga. 2001. 86 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SANQUETTA, C. R.; ZILLOTTO, M. A. B.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; DALLA CORTE, A. P. **Estudo de viabilidade de projeto de implantação de florestas fixadoras de carbono**: estudo de caso no sul do estado do Paraná. Curitiba: FNMA, 2003. 92 p. Relatório final de atividades MMA/FNMA.

SCOLFORO, J. R. S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura de crescimento e produção, com**

otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. 1990. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.

SILVA, M. Mudança climática: desafios e oportunidades. In: MOREIRA, A.; SCHWARTZMAN, S. **As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros**. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2000. 165 p.

VOLPI, N. M. P.; CARNIERI, C.; SANQUETTA, C. R. Uma análise da influência da estocasticidade das informações sobre um modelo de programação linear. **Pesquisa Operacional**, [S.l.], v. 20, n. 1, p. 101-116, 2000.