



Influência de diferentes funções objetivo em modelos de regulação florestal¹

Influence of different objective functions on forest regulation models

Kaio Henrique Adame de Carvalho², Marcio Lopes da Silva³, Hélio Garcia Leite⁴, Daniel Henrique Breda Binoti⁵, Liniker Fernandes da Silva^{6*}

Resumo: A programação linear é considerada uma das ferramentas básicas da pesquisa operacional, sendo baseada em uma função linear de variáveis, chamada de função objetivo. Assim, objetivou-se com este trabalho demonstrar a influência de diferentes funções objetivo e suas implicações nos modelos de regulação florestal e suas soluções. Para isso, foi utilizado o Modelo I de programação linear em um estudo de caso, no qual foram empregados dados de 10 florestas com estruturas iniciais de povoamentos comumente encontrados no setor florestal. A sua solução foi obtida empregando o software RPF (Regulação da Produção Florestal), que foi utilizado também para simular diferentes cenários de manejo e planejamento. Utilizaram-se as seguintes funções objetivo: maximização da produção, maximização do valor presente líquido (VPL), minimização dos custos e minimização do custo médio de produção (CMP). Todos os métodos se mostraram viáveis e conseguiram regular as florestas. Os métodos de minimização foram mais eficientes na redução dos custos, tendo como consequência tanto a redução da área de corte anual e da produção anual quanto 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.

Palavras-chave: Programação Linear. Modelo I. Manejo Florestal.

Abstract: Linear programming is considered one of the basic tools of operational research, being based on a linear function of variables, known as an objective function. The aim of this work was to demonstrate the influence of different objective functions and their implications on forest regulation models and their solutions. For this, linear programming Model I was employed in a case study using data from 10 forests with early settlement structures commonly found in the forest sector. The solution was found using FPR (Forest Production Regulation) software, which was also used to simulate different management and planning scenarios. The following objective functions were used: maximisation of production, maximisation of net present value (VPL), minimisation of costs and minimisation of the average cost of production (CMP). All the methods proved viable for forest regulation. The methods of minimisation were more efficient at reducing costs, resulting in both a reduction in the annual cut area and annual production, as well as an increase in cutting age and productivity. The methods of maximisation were the most costly, with greater production and a greater annual cut area, lower cutting age and lower productivity.

Key words: Linear Programming. Model I. Forest Management.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 08/04/2016 e aprovado em 26/11/2016

¹Trabalho de conclusão de curso do primeiro autor

²Mestre em Ciência Florestal, UFV, Viçosa, MG, Brasil – kaio.adame@gmail.com

³Prof. Dr. Departamento de Engenharia Florestal (DEF), UFV, Viçosa, MG, Brasil – marlosil@ufv.br

⁴Prof. Dr. Departamento de Engenharia Florestal (DEF), UFV, Viçosa, MG, Brasil – hgleite@ufv.br

⁵Doutor em Ciência Florestal, UFV, Viçosa, MG, Brasil – danielhbinoti@gmail.com

⁶Prof. Dr. Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Rua Rui Barbosa, nº 710, Bairro: Centro, CEP: 44380-000, Cruz das Almas, BA, Brasil – liniker@ufrb.edu.br

INTRODUÇÃO

A sobrevivência das empresas depende da qualidade das informações disponíveis e da capacidade de gestão em reagir às mudanças. Atualmente, existem mais restrições sociais, legais e ambientais, havendo, ainda, 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). 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 os custos de produção, de colheita e de transporte da matéria-prima impactam significativamente o custo 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 (LEUSCHNER *et al.*, 1975), que utiliza o algoritmo simplex para chegar à otimização dos recursos florestais. Essa ferramenta tem sido amplamente utilizada na regulação da produção e otimização do transporte florestal (SILVA *et al.*, 2003; MCDILL; MANNING, 2011; CARVALHO *et al.*, 2015; AUGUSTYNCZIK *et al.*, 2015).

A programação linear é considerada uma das ferramentas básicas da pesquisa operacional, sendo baseada em uma função linear de variáveis, chamada função objetivo. Essa função objetivo é sujeita a várias equações ou inequações, sendo chamadas de restrições (LISBOA, 2002). Na programação linear, o impacto de cada alternativa de manejo sobre a função objetivo é expresso pelo coeficiente técnico associado à alternativa em questão (MARTINS; BORGES, 2007).

Normalmente na resolução dos problemas de regulação florestal se utilizam dois modelos de programação linear, o modelo I e o modelo II (RODRIGUES *et al.*, 2006). As variáveis de decisão do modelo I são unidades de área em uma unidade de manejo, em que esta unidade de manejo é constante ao longo de todo horizonte de planejamento, já no modelo II, as variáveis de decisão são unidades de área em uma classe de manejo ou em uma classe de idade, nas quais as unidades de manejo podem ser reagrupadas (JONHSON; SCHEURMANN, 1977).

Nos modelos tipo I, tem-se que as restrições mais utilizadas são as de área, essas garantem que a soma das áreas de cada prescrição não seja maior que as áreas de cada unidade de manejo. As restrições de demanda garantem a demanda anual de madeira controlando sua variação. E as restrições de regulação garantem que ao final do horizonte de planejamento a floresta esteja regulada ou próxima da regulação. Atualmente, já existem modelos mais complexos, englobando maior número de restrições que tentam atender as demandas sociais e ambientais (MONTE, 2012; BINOTI *et al.*, 2014).

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 pode ser mais interessante de serem utilizadas em determinadas situações, como, por exemplo, quando as empresas não vendem a madeira, sendo esta utilizada para consumo próprio. Nesse caso, o mais interessante em um problema de programação linear (PPL) seria a minimização dos custos.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho demonstrar a influência de diferentes funções objetivo na regulação de florestas e suas implicações no plano de manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O estudo de caso foi conduzido empregando dados de 10 florestas plantadas. Sendo os dados de uma das 10 florestas obtidos de uma empresa florestal em Minas Gerais, já as outras 9 florestas foram obtidas a partir da floresta real, simulando estruturas iniciais de povoamentos encontrados no setor florestal.

Cada floresta tem sua área total e estrutura distinta, porém todas divididas em 100 unidades de manejo; outros dados pertinentes estão apresentados na Tabela 1. A madeira destina-se à manutenção de uma fábrica de celulose. A classe de idade atual de cada floresta está representada na Tabela 2.

Tabela 1 - Características de 10 florestas estudadas
Table 1 - Characteristics of 10 forests under study

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

Tabela 2 - Distribuição de áreas em hectares da idade inicial de 10 classes de florestas analisadas
 Table 2 - Area distribution in hectares of the initial age of the 10 classes of forests analysed

Florestas	Idade (anos)													Área Total (ha)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	293	148	412	411	298	323	339	286	161	349	-	-	-	3020
2	293	307	327	252	148	378	254	520	304	325	-	-	-	3108
3	132	440	244	347	417	141	255	322	431	260	-	-	-	2989
4	470	135	205	259	258	348	336	401	304	289	-	-	-	3005
5	357	90	306	436	283	212	203	363	167	458	-	-	-	2875
6	261	320	203	227	198	308	318	287	347	430	-	-	-	2899
7	628	485	331	315	204	277	424	294	-	-	-	-	-	2958
8	157	318	302	114	231	111	310	378	169	131	343	163	283	3010
9	299	371	260	305	175	490	336	320	220	443	-	-	-	3219
10	331	304	191	244	272	224	250	394	282	356	-	-	-	2848

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), mediante as funções objetivo (1 a 10), também denominadas de restrições do problema, no qual foi possível realizar a simulação de 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 (P)

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

Função Objetivo - 2: Maximização do Valor Presente Líquido (VPL)

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

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

Função objetivo - 3: Minimização do Custo Total (CT)

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

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

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

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

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

Todas sujeitas a:

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

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

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

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

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 planejamento, 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 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 volumétrica 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; Dmin_k = demanda mínima no ano k; Dmax_k = demanda máxima no período k; X_{jk} = 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.

Foram analisados quatro modelos para cada uma das florestas estudadas. Sendo, ao todo, 40 modelos analisados. Para o modelo de maximização do VPL e minimização de custos, foi utilizada uma taxa de juros de 8% aa (VIRGENS *et al.*, 2016), preço da madeira de 80 R\$ por m³ e um preço residual da madeira de 20 R\$ por m³ (CARVALHO *et al.*, 2015).

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; 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 e 8 anos, que representam o intervalo no qual as plantações de eucalipto das empresas de celulose no Brasil atingem o máximo incremento médio anual (IMA).

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 esses valores compatíveis com a curva de produção e com a idade regulatória de 6 anos. O objetivo é analisar a influência das variáveis econômicas considerando que a única prescrição de manejo possível é a 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 por Binoti (2010). Para essas 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 totais anuais podem ser observados na Tabela 3. O custo de colheita utilizado foi de R\$ 20,00 por m³, sendo o custo de transporte de R\$ 0,5 por km.

$$Volume (m^3 ha^{-1}) = \frac{485,68}{1 + 7,4275e^{-0,4062 Idade(anos)}} \quad (11)$$

Tabela 3 - Custos empregados para a avaliação econômica dos modelos de regulação florestal

Table 3 - Costs employed in the economic evaluation of the forest regulation models

Ano	Custo Total (R\$)
1º ano	4059,05
2º ano	1627,05
3º ano	757,95
4º ao 14º ano	88,12

Fonte: Adaptado de Binoti (2010).

Os custos totais do ano 1 (Tabela 3) são referentes às atividades de correção e adubação (Calcário e NPK), capinas (manual e química), combate às formigas, coveamento mecanizado, irrigação com caminhão pipa, subsolagem

e fosfatagem, aplicação cupinicida nas raízes das mudas, transporte e plantio com uso do gel de plantio (para manter a umidade) e levantamento topográfico. No segundo ano, foram considerados os custos com adubação (NPK), capina manual, combate às formigas, roçada, construção de aceiros e coroamento das mudas. No terceiro ano, consideraram-se custos com capina manual, combate às formigas, roçada e manutenção de aceiros. Do quarto ano em diante, consideraram-se os custos com capina manual e combate às formigas. No primeiro e segundo ano, considerou-se, ainda, o custo com ajudantes florestais, em horas de trabalho.

RESULTADOS

Os modelos testados apresentaram soluções viáveis em todos os cenários avaliados, exceto para as florestas 7 e 8, sendo, para essas, implantadas alterações nos modelos de regulação. A floresta 7, com maior proporção de plantios mais jovens (Tabela 2), não conseguiu suprir a demanda mínima de madeira em alguns anos, sendo que a estratégia utilizada para regulação florestal 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 na floresta 8, com maior proporção de plantios mais velhos (Tabela 2), a demanda de madeira nos anos iniciais extrapolava a demanda máxima. Nesse caso, permitiu-se que as idades de corte variassem de 5 a 10 anos, permitindo, assim, regular a floresta em um prazo de 14 anos.

Os modelos testados foram avaliados quanto à área de corte média anual (Figura 1), à produção média anual (Figura 2), ao custo médio de produção anual (Figura 3), à idade média de corte anual (Figura 4) e à produtividade média (Tabela 4). Deve-se atentar que a função objetivo de minimização dos custos médios de produção (CMP) diferiu da função de custo total da produção (CT).

Os métodos que minimizam os custos apresentaram área cortada média bem menor quando comparados à maximização do VPL e da produção (Figura 1). O método de maximização da produção apresentou para todas as florestas a maior área média de corte anual. O método de maximização do VPL apresentou uma área média de corte bem próxima do método de maximização da produção.

Os dois métodos de minimização, apesar de apresentarem resultados diferentes, buscaram ter a área de corte menor, bem como produção menor (Figura 1). Observou-se que esses métodos sempre procuram atingir o limiar inferior da demanda de madeira, devido aos custos de colheita e de transporte. Entre os dois métodos, a diferença da área de corte foi bem pequena. Para algumas florestas, a minimização dos custos foi o método que obteve a menor área de corte anual, enquanto para outras florestas foi a minimização do CMP.

Quanto à produção, o resultado apresentado foi bem parecido com a área de corte anual (Figura 2). O método

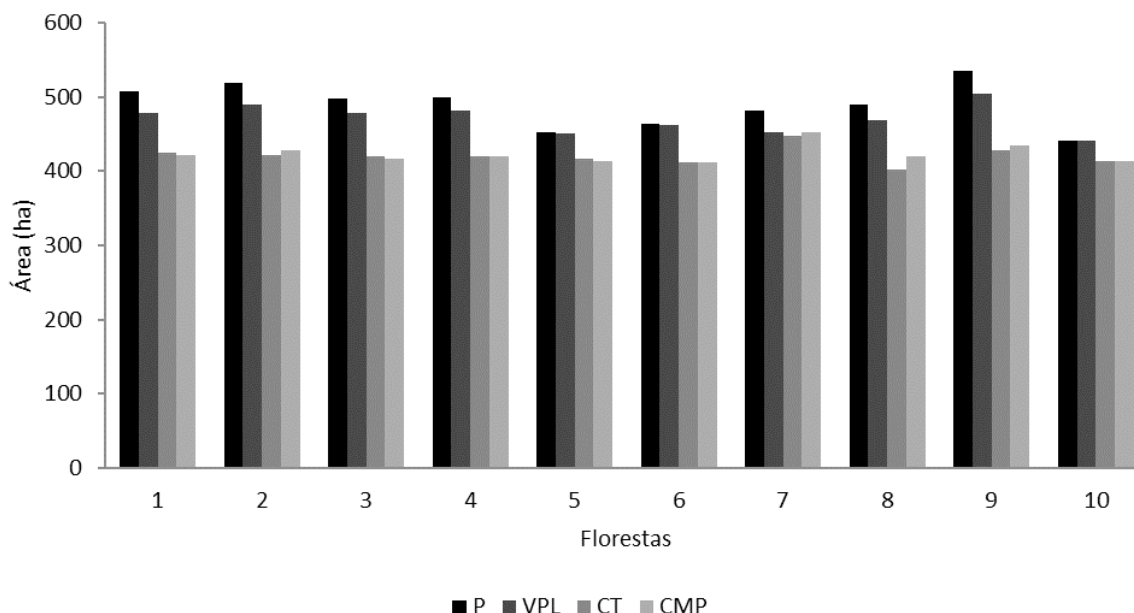


Figura 1 - Área de corte média anual das 10 florestas analisadas para cada função objetivo. P – Produção; VPL – Valor Presente Líquido; CT – Custo Total e CMP – Custo médio de produção.

Figure 1 - Average annual cut area in the 10 forests analysed for each objective function. P – Production, VPL – Net Present Value, CT – Total Cost, and CMP – Average cost of production.

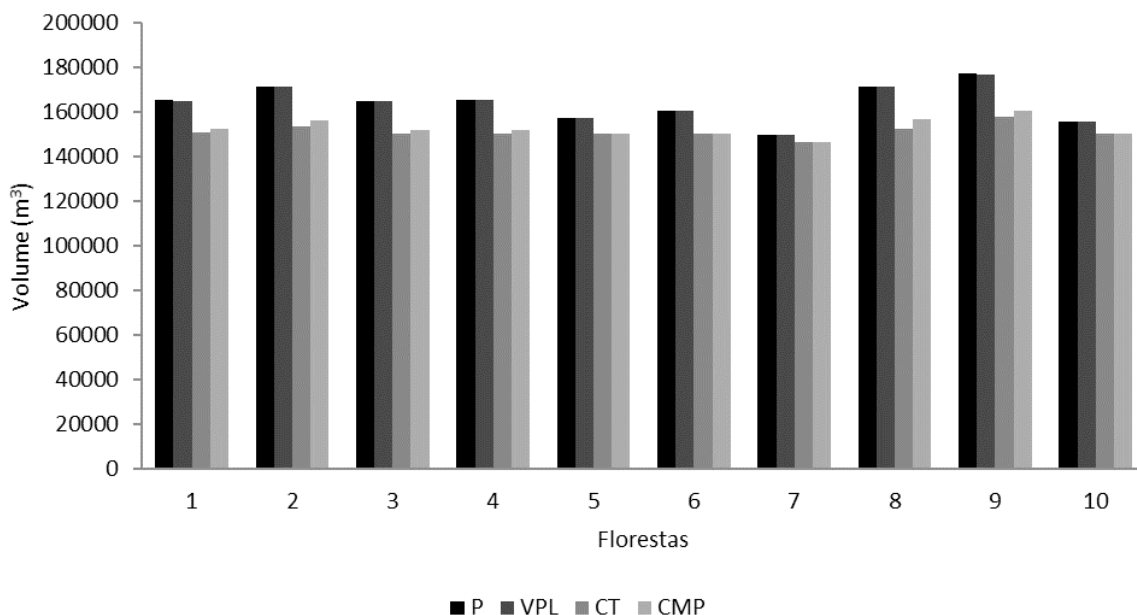


Figura 2 - Produção média anual das 10 florestas estudadas para cada função objetivo.

Figure 2 - Average annual production in the 10 forests under study for each objective function.

de maximização do VPL e da produção (P) foram os que apresentaram maiores produções e os métodos de minimização de custos menores. Cabe ressaltar que, apesar da quantidade produzida ser menor nos métodos de minimização de custos, essa produção atendeu à demanda da empresa.

Com relação ao custo médio de produção anual de cada floresta (Figura 3), verificou-se que ele varia em todas as funções objetivo. Observou-se, também, que a economia gerada com a possível redução de custos ao longo dos anos chega a R\$ 20.000, quando se comparam os métodos

de maximização e de minimização. Entre os métodos de minimização de custos ocorrem também variações, que chegaram a R\$ 10.000, não sendo possível concluir sobre o método que melhor reduz custos.

Quando se compara as idades, observa-se que os métodos de maximização do VPL e da produção são os

métodos que apresentam as menores idades médias de corte (Figura 4). Em compensação, quando se utiliza dos métodos de minimização de custos, essa idade aumenta.

No entanto, para todas as florestas e para todos os métodos, a média das idades de corte não ultrapassou 9 anos, sendo a idade média de corte de 7,5 anos. Os métodos

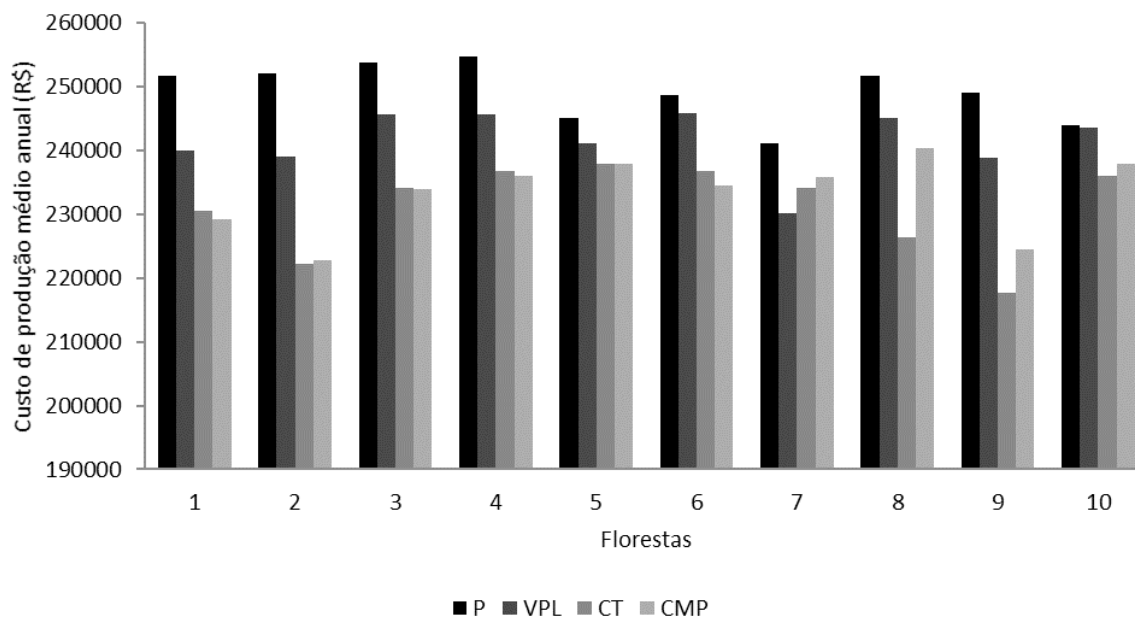


Figura 3 - Custo de produção médio anual das 10 florestas estudadas para cada função objetivo.

Figure 3 - Average annual production costs in the 10 forests under study for each objective function.

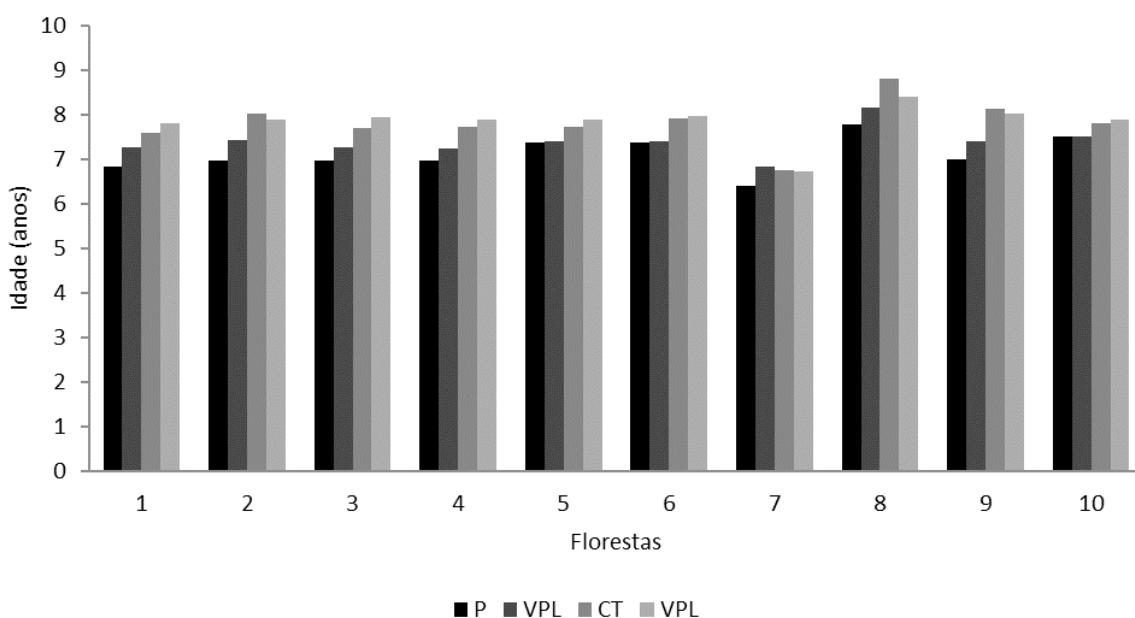


Figura 4 - Idade média de corte das 10 florestas estudadas para cada função objetivo.

Figure 4 - Average cutting age in the 10 forests under study for each objective function.

de minimização de custos tiveram em média 1 ano a mais na idade média de corte, quando comparado aos outros dois métodos.

Observa-se que, para todas as florestas, existe uma relação entre idade média de corte (Figura 4) e custo médio de produção anual (Figura 3). Quanto menor a idade média de corte maior o custo médio de produção anual, considerando

os dois métodos de minimização de custo. Afinal, com a idade de corte maior se produz mais em uma mesma área, reduzindo, assim, os custos de colheita e transporte.

Já a produção média seguiu a mesma tendência da idade (Tabela 4). Quanto maior a idade maior a produção. Sendo, portanto, os métodos de minimização de custos os que obtiveram maior produção.

Tabela 4 – Função objetivo e produção média de madeira das florestas estudadas

Table 4 – Objective function and average value for timber production in the forests under study

Função objetivo	Produção de madeira (m ³ por ha)									
	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

DISCUSSÃO

Um dos principais parâmetros de qualidade da madeira na fabricação de celulose é a densidade básica (DIAS; SIMONELLI, 2013). 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 gasto de reagentes. Segundo Gomide *et al.* (2005), quando se tem densidades mais altas, as cargas de álcali requeridas são elevadas para obtenção do kappa objetivo.

Apesar da floresta 8 ser regulada, sua madeira talvez não seja a mais indicada para a produção de celulose, devido, principalmente, à avançada idade dos plantios, que reflete diretamente no diâmetro e na 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, aumentando o seu consumo de combustíveis. Também pode ocorrer incompatibilidade do tamanho e do diâmetro das árvores com a capacidade das máquinas. Para minimizar esses problemas, uma posição a ser tomada seria a escolha da função objetivo que retornaria a floresta regulada com idade média de corte menor, o que, de acordo com a Figura 4, ocorre quando se maximiza a produção.

Diante da incapacidade do modelo em regular a floresta 7, em função da demanda mínima de madeira não ter sido atingida em alguns anos, outra estratégia a ser adotada seria aumentar o número de alternativas para cada unidade de

manejo, além da diminuição da demanda de madeira do ano 4 para 100.000 m³.

Ainda no caso da floresta 7, a compra de 50.000 m³ de madeira para o ano 4 seria uma possibilidade para garantir o suprimento de madeira mínimo necessário. Considerando o preço da madeira no valor de R\$ 80,00 por m³, tal necessidade geraria para a empresa um custo de R\$ 4.000.000, valor que pode ser mais bem planejado e distribuído ao longo do ano, gerando dispêndio mensal de R\$ 333.333,34. A opção pela compra de madeira do mercado está sujeita a riscos, visto que as flutuações no preço de mercado podem causar influências no resultado do modelo, principalmente nos que têm como função objetiva a minimização de custos (BRUN, 2002). Uma alternativa capaz de ajudar na gestão desses riscos seria a implementação de contratos de comercialização futura de madeira (SOARES *et al.*, 2007), porém essa opção ainda tem sido pouco explorada no Brasil.

Outra solução seria a empresa disponibilizar mais terras para plantio, com colheita planejada aos 4 anos; nesse caso, para suprir a demanda dos 50.000 m³, seria necessário plantar 253,55 ha, considerando a curva de produção da floresta atual, que aos 4 anos tem produção de 197,2021 m³ por ha. Nesse caso, a empresa pode comprar, arrendar ou fomentar produtores, arcando com os custos de plantio e colheita.

A vantagem em escolher alternativas que tenham como princípio a parceria para o cultivo florestal, casos do fomento e do arrendamento, é que a empresa não precisaria fazer investimentos na aquisição de terras. Afinal, segundo Silva *et al.* (2008), o custo da terra pode ultrapassar 15% do custo total de produção, levando-se em conta que as áreas de preservação permanente e de reserva legal não podem ser usadas. O elevado custo da terra tem sido responsável até mesmo pela instalação de indústrias de celulose em regiões

de menor tradição na silvicultura (ORLANDINI *et al.*, 2011), reforçando como o custo da terra têm sido um fator limitante.

Assim, a opção pela parceria no cultivo florestal tem sido cada vez mais comum (SOUZA *et al.*, 2015). Essa opção constitui uma importante fonte de renda para os pequenos produtores rurais (OLIVEIRA *et al.*, 2006), auxilia a manutenção da população no campo (SILVA *et al.*, 2009), além de facilitar o acesso à tecnologia e recursos financeiros (ROCHADELLI *et al.*, 2008).

A regulação florestal em um modelo único de planejamento, considerando todas as áreas da empresa florestal e dos fomentados, pode ser realizada de forma a priorizar a renda dos proprietários rurais, potencializando os benéficos efeitos sociais do fomento florestal (RODE *et al.*, 2015).

Na decisão de fazer novos plantios, além de dispor de novas áreas, a empresa teria que planejar toda a logística de produção nas áreas adicionadas. Também se deve levar em consideração o tempo hábil para as atividades silviculturais como: preparo do solo e plantio, que podem inviabilizar a decisão por disponibilizar novas áreas para plantio. Afinal, a idade mínima de corte permitida é de 4 anos. Em todo caso, para decidir sobre a compra de madeira ou a disposição de novas áreas para plantio, seria necessária uma análise econômica das alternativas.

A apresentação de maior área cortada por parte das funções objetivo que minimizam os custos, vista na figura 1, ocorreu pelo fato de que os custos com colheita e transporte são os mais elevados em um plano de manejo, sendo que quanto menor a área cortada, menores serão os custos (MACHADO; LOPES, 2000). Resultados semelhantes também foram encontrados por Brun (2002), ao comparar um modelo que maximizava o valor presente das receitas líquidas com um modelo que minimiza os custos de produção da floresta.

Por outro lado, o método de maximização da produção apresentou a maior área média de corte anual (Figura 1) por representar a máxima produção possível atendendo às restrições. O método de maximização do VPL apresentou uma área média de corte bem próxima a do método de maximização da produção.

Os métodos de minimização de custos se mostraram interessantes já que com uma área de corte menor (Figura 1) se tem uma produção capaz de suprir a demanda da empresa. Outro ponto a ser observado é o fato da redução da área de corte anual gerar maior disponibilidade de áreas, que não serão utilizadas no plano de manejo. Essas áreas poderiam ser utilizadas pela empresa para outros fins ou até mesmo vendidas, diminuindo o capital financeiro imobilizado em terras (SOUZA *et al.*, 2015) e o problema social que a concentração de terra pode causar.

O aumento da idade média de corte nos métodos que minimizaram o custo (Figura 4) ocorreu porque quando se quer reduzir custos se busca uma produção maior em mesma área, o que ocorre nos plantios florestais com o aumento da idade. Carmo *et al.* (2011) encontraram que, para uma produção de 250 m³ por ha, o custo médio de produção foi menor que para produções de 140, 180 e 220 m³ por ha, reforçando que a maior produção resulta em custo médio de produção menor.

CONCLUSÕES

Todas as funções objetivo são viáveis e conseguem regular as florestas, sendo que a utilização de cada uma depende dos objetivos da empresa;

As funções objetivo de minimização são mais eficientes na redução dos custos;

A utilização das funções objetivo 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;

As funções objetivo de maximização são mais dispendiosas, com maior produção e maior área de corte anual, menor idade de corte e menor produtividade. A idade reduzida de corte dessas funções objetivo pode ser uma vantagem já que o plantio se destina à produção de celulose;

A função objetivo de maximização da produção é diferente da função objetivo de maximização do VPL, sendo que máxima produção não condiz com o máximo lucro.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

ALVES, M. V. G. Sistema computacional para gestão de florestas plantadas. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; ARCE, J. E.; SILVA, C. L. Planejamento espacial da colheita considerando áreas máximas operacionais. *Cerne*, v. 21, n. 4, p. 649-656, 2015.

BINOTI, D. H. B. Estratégias de regulação de florestas equiâneas com vista ao manejo de paisagem. 2010. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; GLERIANI, J. M.; OLIVEIRA, M. L. R.; CAMPOS, J. C. C.; MONTE, M. A. Regulation of even-aged forests with inclusion of environmental constraints. *Cerne*, v. 20, p. 29-36, 2014.

- 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. 160 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Quiroz”, Piracicaba.
- CARMO, F. C. A.; FIEDLER, N. C.; GUIMARÃES, P. P.; PEREIRA, D. P.; ANDREADE, W. S. P. Análise de custos na implantação de cultivos de Eucalipto em áreas acidentadas no sul do Espírito Santo. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 473-479, 2011.
- CARVALHO, K. H. A.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S. Influência da taxa de juros e do preço da madeira em modelos de regulação florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 143-151, 2015.
- DIAS, O. A.; SIMONELLI, G. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 3632-3646, 2013.
- 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**, 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**, v.18, n.1, p.1-31, 1977.
- LEUSCHNER, W. A.; PORTER, J. R., REYNOLDS, M. R. A linear programming model for multiple-use planning. **Canadian Journal of Forest Research**, v.5, p.485-91, 1975.
- LISBOA, E. F. A. Apostila do curso Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: 2002. 53 p.
- MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Colheita florestal. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 501 p.
- MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Cerne**, v. 6, n. 2, p. 124-129, 2000.
- MARTINS, H.; BORGES, J. G. Addressing collaborative planning methods and tools in forest management. **Forest Ecology and Management**, v. 248, n. 1, p. 107-118, 2007.
- MCDILL, M. E.; MANNING, P. J. Optimal parameter settings for solving harvest schedule models with adjacency constraints. **Mathematical and Computational Forestry & Natural Resource Sciences**, v. 3, p. 0-10, 2011.
- MONTE, M. A. Inclusão de critérios sociais na modelagem matemática do planejamento florestal. 2012. 74 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- OLIVEIRA, A. D.; VALVERDE, S. R.; COELHO, F. M. C. Aspectos de relevância econômica no fomento florestal a partir da percepção dos produtores rurais envolvidos. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 593-601, 2006.
- ORLANDINI, D.; SILVA, E. N.; VALVERDE, S. R.; GOMES, J. M. Potencialidades das regiões brasileiras para instalação de uma fábrica de celulose. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1053-1060, 2011.
- REZENDE, J. L. P., OLIVEIRA, A. D. Análise econômica e social de projetos florestais. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 486 p.
- RODE, R.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA, M. L. R.; BINOTI, D. H. B.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SOUZA, A. L.; SILVA, M. L.; COSENZA, D. N. Comparação da regulação florestal de projetos de fomento com áreas próprias de empresas florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 81, p. 11-19, 2015.
- RODRIGUES, F. L.; SILVA, G. F.; LEITE, H. G.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. E. M. Um modelo de regulação florestal e suas implicações na formulação e solução de problemas com restrições de recobrimento. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 769-778, 2006.
- ROCHADELLI, R.; SILVA, J. C. G.; RODRIGUES, F.; SCHNEIDER, A. V.; PETLA, D. Expansão florestal via fomento no segundo planalto paranaense: uma abordagem através da estrutura fundiária das propriedades rurais da região. **Revista Cerne**, v. 14, n. 2, p. 163-169, 2008.
- SILVA, G. F.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L.; RODRIGUES, F. L.; SANTOS, H.N. Problemas com o uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima, em regulação florestal. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 677-688, 2003.
- SILVA, M. L.; REZENDE, J. L. P.; LIMA JUNIOR, V. B.; CORDEIRO, S. A.; COELHO JUNIOR, L. M. Métodos de cálculo do custo da terra na atividade florestal. **Revista Cerne**, v. 14, n. 1, p. 75-81, 2008.

SILVA, F. L.; GRIFFITH, J. J.; JACOVINE, L. A.; VALADARES, J. H.; FERNANDES, M. A. S.; SILVA, E. C. G. Estudo da relação de confiança em programas de fomento florestal de indústria de celulose na visão dos produtores rurais. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 723-732, 2009.

SOARES, N. S.; SILVA, F. L.; SILVA, M. L.; SILVA JUNIOR, A. G.; LIRIO, V. S. Viabilidade da implantação de um contrato de comercialização futura da madeira de reflorestamento no Brasil. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 307-314, 2007.

SOUZA, V. S.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R.; BERGER, R.; SILVA, J. C. G. L.; DELACOTE, P. Rentabilidade Econômica do Arrendamento de Terra para Cultivo de Eucalipto em São Paulo. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 345-354, 2015.

VIRGENS, A. P.; FREITAS, L. C.; LEITE, A. M. P. Análise Econômica e de Sensibilidade em um Povoamento Implantado no Sudoeste da Bahia. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 211-219, 2015.