

SIMONE SILVA

**REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FLORESTA EQUIÂNEA UTILIZANDO  
SISTEMAS MULTIAGENTES, PROGRAMAÇÃO LINEAR E  
PROGRAMAÇÃO INTEIRA MISTA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal.

VIÇOSA – MG  
AGOSTO – 2013

SIMONE SILVA

**REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FLORESTA EQUIÂNEA UTILIZANDO  
SISTEMAS MULTIAGENTES, PROGRAMAÇÃO LINEAR E  
PROGRAMAÇÃO INTEIRA MISTA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal.

APROVADA em Agosto de 2013

---

Prof. Helio Garcia Leite  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Laércio Antônio Gonçalves Jacovine

---

M. Sc. Gustavo Marcatti

## AGRADECIMENTO

Á Deus;

À toda minha família, meu irmão Marcelo pelo grande incentivo, minha irmã Mariana pelo companheirismo e torcida, minha avó Odette (In memorian) e minha tia avó Hilda (In memorian) pelas orações e estímulos aonde quer que elas estiverem;

Ao professor Helio Garcia, pelo apoio, base, ensinamentos e confiança, que foi um grande exemplo de pessoa e professor;

Ao Kaio, pela imensa ajuda e compreensão para que eu pudesse dar o input inicial nesse estudo;

Ao Daniel Binoti, pelo apoio, ajuda e boa vontade para que este trabalho fosse realizado;

Ao Rafael Rode pelas dicas e contribuições;

À Gláucia Cordeiro, pelas experiências e sugestões;

Aos meus amigos de Viçosa, que fizeram com que cada momento da minha graduação se tornasse inesquecível.

## **BIOGRAFIA**

Simone Silva, filho de Homero Flávio da Silva e Margarida Maria Gabetto e Silva, nasceu no dia 28 de junho de 1989 em Muraé, Minas Gerais.

Em 2006, concluiu o ensino médio na Escola São Paulo Muraé, Minas Gerais.

Em março de 2008, ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

Em setembro de 2009, iniciou o estágio sob orientação do professor Helio Garcia Leite no Departamento de Engenharia Florestal.

Foi aceita como bolsista de iniciação científica Fapemig sob orientação do professor Helio Garcia Leite no período de fevereiro de 2012 à fevereiro de 2013.

## CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3. OBJETIVO .....	9
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	10
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
6. CONCLUSÕES .....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

## EXTRATO

SILVA, Simone. Monografia de Graduação. Universidade Federal de Viçosa, Agosto de 2013. **Regulação da produção de floresta equiânea utilizando sistemas multiagentes, programação linear e programação inteira mista.** Orientador: Helio Garcia Leite.

O objetivo deste trabalho foi de comparar soluções de um problema de regulação florestal empregando Programação Linear (PL), Programação Inteira Mista (PIM) e Sistema Multiagentes (SMA). Os dados utilizados foram obtidos de povoamentos de eucalipto com uma área total de 4269,29 ha, contendo 120 talhões com área média de 35 ha. A produção foi estimada para determinação da produção volumétrica de cada talhão. Para gerar o modelo de programação matemática foi utilizado o software RPF versão 0.15. Os cenários do SMA foram gerados empregando a ferramenta Visual Basic for applications® do Microsoft Excel®. O problema resolvido por Programação Linear e Inteira Mista gerou um VPL global de R\$16.079.219,15 e de R\$16.044.441,20 respectivamente que foi superior ao VPL obtido com SMA que foi de R\$ 14.249.408,71. Estas diferenças se devem à uma menor variação da produção anual pelo SMA (143.261,86 m<sup>3</sup> a 154.873,87 m<sup>3</sup>) em relação àquelas do modelo de PL (129.999 m<sup>3</sup> a 180.000 m<sup>3</sup>) e PIM (130.011,31 m<sup>3</sup> a 179.473,27m<sup>3</sup>). Isto resultou em um maior volume madeira produzido em todo o horizonte de planejamento para a melhor solução encontrada. Assim, pode-se dizer que as soluções de planejamento florestal utilizando

SMA são boas, mas não necessariamente ótimas (comparadas áquelas por meio de Programação Linear e Inteira Mista). Foi possível concluir que SMA é uma abordagem eficiente para resolução de problemas de regulação florestal.

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos houve um aumento na procura por produtos de origem florestal, tanto de bens diretos como indiretos. Esta procura se deve ao aumento populacional que acaba exercendo uma grande pressão nas áreas naturais, ocasionando perdas geralmente irreversíveis em virtude da forma inadequada de como essas atividades são realizadas. Segundo Barros Junior et al., (2010) as pressões de mercado e a globalização atual vem exigindo que as empresas florestais se tornem mais competitivas, sendo necessária uma produção de alta qualidade e de baixo custo.

Isto faz com que o manejador florestal faça o planejamento de longo e de curto prazo de modo eficiente. Este planejamento de longo prazo envolve a regulação da produção.

A regulação visa proporcionar o fluxo contínuo de matéria prima das florestas para as indústrias e/ou centros consumidores. Conforme Banhara (2009), uma das principais etapas do processo de tomada de decisão ao regular a produção é analisar as possíveis alternativas disponíveis para elaborar os planos de manejo em longo prazo, bem como estabelecer as metas a serem atendidas em médio e curto prazo. A tomada de decisão é marcada pela necessidade de buscas de soluções ótimas ou subótimas para problemas complexos (SANTOS, 2007).

De acordo com Rodrigues (1997), a regulação da produção florestal é uma das atividades mais difíceis no planejamento florestal. Uma floresta regulada busca alguns objetivos como: possibilidade de fornecer produtos que atendam às especificações de



mercado e em quantidades que oscilem dentro de limites fixados; ser compatível com a disponibilidade de capital financeiro e intelectual; garantir um emprego regular da mão de obra; e apresentar um custo mínimo ou um retorno máximo dentro de um horizonte de planejamento (RODRIGUES, 1996).

Algumas técnicas utilizadas em problemas de gerenciamento florestal são: programação linear (PL), programação inteira (PI), programação multiobjetivo e dentre outras. Apesar de serem utilizadas frequentemente, algumas vezes o uso destas ferramentas pode acabar sendo comprometido pelo gerador de modelos adotado, uma vez que as restrições impostas vão se tornando mais complexas, principalmente diante das recentes preocupações com o uso mais adequado dos recursos florestais (RODRIGUES, 2001).

Diante disso, novas técnicas vêm sendo apresentadas para solução de problemas de manejo, principalmente pelo uso de técnicas do ramo da computação matemática denominada Inteligência Artificial (IA) como: Algoritmos Genéticos (RODRIGUES, 2004a; GOMIDE, 2009), Busca de Tabu (RODRIGUES et al., 2003) e entre outros. Um campo da IA com destaque nos últimos anos é a Inteligência Artificial Distribuída (IAD), a qual se preocupa com a divisão do problema em partes (agentes) capazes de interagir e buscar soluções individuais que concorram para uma melhor solução do todo. O uso de ferramentas de IAD em manejo florestal é ainda incipiente, o que proporciona margem ao desenvolvimento de estudos para aplicação da mesma nos variados problemas de manejo florestal (ARAUJO JUNIOR, 2012).

Desse modo, a proposta do estudo foi de aplicar conceitos e práticas de inteligência artificial pelo emprego de Sistemas Multiagentes na resolução de um problema de regulação da produção de um povoamento florestal, com intuito de minimizar os problemas de planejamento a longo prazo, proporcionando uma maior confiabilidade e segurança nas tomadas de decisões do manejador. Por fim, comparar as soluções desse problema com as obtidas por meio dos modelos usuais de Programação Linear e Programação Inteira Mista.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 - Regulação da Produção Florestal**

A Regulação da produção florestal permite estabelecer um equilíbrio entre a intensidade de corte e o tempo necessário para o restabelecimento do volume extraído da floresta, de modo a garantir a produção florestal contínua (RODRIGUES, 2001).

O termo Regulação da Produção Florestal está relacionado à determinação de quando, onde, quanto, o que, e como colher de acordo com os objetivos do manejador. Essa regulação exige muita habilidade e conhecimento técnico por parte deste, pois além de ser complexo acaba envolvendo um grande número de variáveis (RODRIGUES, 1996).

O crescente aumento da demanda por produtos florestais ocorre junto à sua escassez, fazendo com que o planejamento da produção florestal seja feito de forma mais eficaz, de maneira a proporcionar um fluxo contínuo de matéria prima das florestas para as indústrias ou demais centros consumidores. Portanto o uso da regulação florestal permite que o planejamento da produção madeireira possa ser capaz de realizar planos para suprir as fábricas e prescrições para cada unidade de manejo (ARAÚJO JUNIOR, 2012).

Segundo (LEUSCHNER, 1990) a regulação da produção florestal consiste na obtenção anual ou periódica de produtos da floresta em igual volume,tamanho e

qualidade, tendo como alvo a produção sustentável. Esta por sua vez não se limita à madeira, mas sim a qualquer produto da floresta. Em manejo florestal considera-se a floresta regulada como um modelo teórico, e este é o objetivo principal do manejador florestal. A regulação ainda possui uma estrutura que garante o atendimento às restrições de demanda, sociais e ambientais que irão originar a sustentabilidade do empreendimento (CAMPOS & LEITE, 2009).

Atualmente, torna-se estritamente necessário cada vez mais o uso de ferramentas que ajudem no encaminhamento e direcionamento das decisões corretas para que o empreendimento florestal seja sustentável (ARAÚJO JUNIOR, 2012). As técnicas mais utilizadas para suporte à decisão em métodos de regulação da produção de uma floresta incluem desde métodos convencionais como corte por área ou por volume, até métodos mais sofisticados na alocação de recursos escassos (mão de obra, produção volumétrica, dinheiro, tempo) como os modelos de Programação Linear (Modelo I e Modelo II), de Programação Inteira e Mista, de simulação ou meta-heurística (algoritmos genéticos, busca tabu, “simulated annealing”) e muitas vezes domínio de alguma linguagem de programação. Tais técnicas exigem grande conhecimento em programas computacionais devido à complexidade existente em sua modelagem, porém são técnicas bastante promissoras (DIAS, 2005; SILVA, 2001).

## **2.2 - Programação Linear e Inteira Mista no Planejamento Florestal**

Quando um plano de Manejo Florestal é elaborado são consideradas as diversas variáveis, informações, estratégias cujos efeitos são de difícil previsão.

Nem sempre o método utilizado facilitará a resolução dos problemas abordados, contudo organiza a sua forma de resolução. Por esse motivo a Programação Linear vem chamando a atenção de pesquisadores de áreas como: Economia e Gerenciamento Florestal, onde ela é tratada como uma ferramenta de auxílio nas tomadas de decisões, na definição de quando, quanto, onde cortar; reformar e qual regime de manejo adotar respeitando as restrições de operação, os recursos da empresa e, ao mesmo tempo maximizando as receitas obtidas (RODRIGUES, 1991).

Deve se levar em consideração que a técnica de otimização empregada irá depender da formulação do modelo e das características da floresta. Os principais métodos utilizados para resolução dos modelos de Planejamento Florestal são:

Programação Linear, Programação Multiobjetivo, Programação Inteira e Mista, Programação Dinâmica, Meta Heurística e Simulação (BETTINGER et al., 2009).

A Programação Linear é tida como uma ferramenta básica da Pesquisa Operacional (PO), que serve para a otimização de custos ou recursos, com base em uma função linear de variáveis a qual denominamos função objetivo, que está sujeita a uma série de equações, e ou inequações lineares chamadas de restrições (LISBOA, 2002).

Para solucionar problemas florestais envolvendo os modelos de Programação Linear (PL) e Programação Inteira Mista (PIM), são utilizadas duas abordagens para a geração das alternativas de manejo, desenvolvidas por Johnson & Scheurman (1977) sendo denominadas modelo I e modelo II.

No caso do modelo I, que foi o modelo utilizado neste estudo, tem se um conjunto de alternativas de manejo que será gerado para cada unidade de manejo. Uma vez escolhida determinada alternativa para dada unidade, esta permanecerá sobre tal intervenção durante todo o horizonte de planejamento considerado, o que garantirá um caráter único a esta unidade (RODRIGUES et al., 2006).

O enorme sucesso da Programação Linear é devido em partes pela eficiência demonstrada por meio do uso do método simplex, na resolução de problemas de grande porte (BETTINGER et al., 2009).

Segundo Silva et al. (2006), entre as diversas ferramentas aplicadas com o objetivo de otimizar a produção florestal, as técnicas de Programação Linear (PL) constituem, sem dúvida, o método mais utilizado. Porém de acordo com Fatureto & Santos (1999a; 1999b) e Silva et al. (2003), citado por Silva et al. (2006), apesar da inegável importância das técnicas de PL para solução de problemas de planejamento florestal, deve-se reconhecer que esta metodologia apresenta algumas deficiências, tais como as pressuposições de que o relacionamento entre as variáveis consideradas é linear, as restrições devem ser estritamente respeitadas e as escolhas são feitas a partir de um único critério e um único objetivo, contudo a maior vantagem ao se utilizar estas técnicas, é que quando uma solução é gerada, ela é considerada ótima.

A formulação do modelo de Programação Inteira Mista pode ser gerada a partir do modelo de Programação Linear, contudo, esta sofre algumas modificações. Na formulação desse modelo, variáveis e restrições passam a assumir valores discretos e contínuos. As variáveis de decisão que antes estavam associadas a uma determinada

prescrição sobre uma dada unidade agora passam a ter um valor binário, portanto, se o valor for 1 a alternativa de manejo será imposta, se for 0 não será imposta (BINOTI, 2011).

De acordo com Santos (2008) a aplicação de Programação Linear e Inteira no Setor Florestal, tem sido frequente conforme os trabalhos desenvolvidos por: LEAK, 1964; NAVON e McCONNEN, 1967 ; PEREIRA et al., 1981; RODRIGUES et al., 1998; VOLPI et al.; 1999: RODRIGUES et al., 1999; SILVA et al., 2003; BINOTI, ET al., 2011, entre outros.

### **2.3 - Sistemas Multiagentes**

Um Sistema Multiagente (SMA) é uma espécie de grupos de entidades autônomas e próprias que agem, decidem e percebem de acordo com interesse individual de cada uma, podendo também cooperar com os outros para atingir objetivos em comum (SUN, 2005). Os SMA reativos são constituídos por inúmeros agentes (divisão do problema em partes), pois a inteligência surge das interações dos agentes e do ambiente, por outro lado SMA cognitivos são constituídos por uma quantidade menor de agentes, e a inteligência surge do conhecimento, competência, intenção e crenças de cada agente, o que permite negociar e coordenar suas ações visando à resolução de um problema. Já os sistemas híbridos constituem-se de uma junção de sistemas cognitivos com reativos (GRIGOLETTI, 2007).

A Inteligência Artificial Distribuída (IAD) tem como base o comportamento social, onde os vários agentes atuam em um determinado ambiente, por meio de regras e metas a serem seguidas e interação simultânea. A idéia central da Inteligência artificial seria a simulação da inteligência humana na máquina (ARAUJO JUNIOR, 2012).

Para Hubner (2003) a base para os SMA é o agente, que é uma entidade lógica ou física com missão atribuída, capaz de cumprir de maneira autônoma e em coordenação com outros agentes.

De acordo com Grigoletti (2007) a simulação computacional é uma ferramenta que vem sendo largamente utilizada para análise e entendimento dos comportamentos emergentes das ações do homem sobre o meio ambiente, permite assim a compreensão de sistemas complexos, nos quais modelos matemáticos não têm sido suficientes. Por este motivo tem se criado modelos baseados em SMA para criação de simulações as

quais são importantes para subsidiar a tomada de decisão em um ambiente, cujas definições do mercado estão ainda obscuras. Por meio delas, é possível antecipar as possíveis variações no cenário externo, traçar objetivos para cada situação e, ainda, avaliar um grande número de variáveis simultaneamente (FERREIRA, 2009).

Atualmente, por meio dos sistemas computacionais, as ferramentas para tomada de decisão tornaram-se mais sofisticadas, proporcionando maior realismo em termos de visão de futuro. Dessa forma, desloca-se de uma solução fechada e objetiva para soluções mais abrangentes e flexíveis, facilitando a tomada de decisão, uma vez que há um maior número de soluções a serem trabalhadas. Mas, vale lembrar que nem sempre a solução ótima para um problema de planejamento florestal (quando se emprega a Programação Linear), será aquela conduzida pelos manejadores (ARAÚJO JUNIOR, 2012).

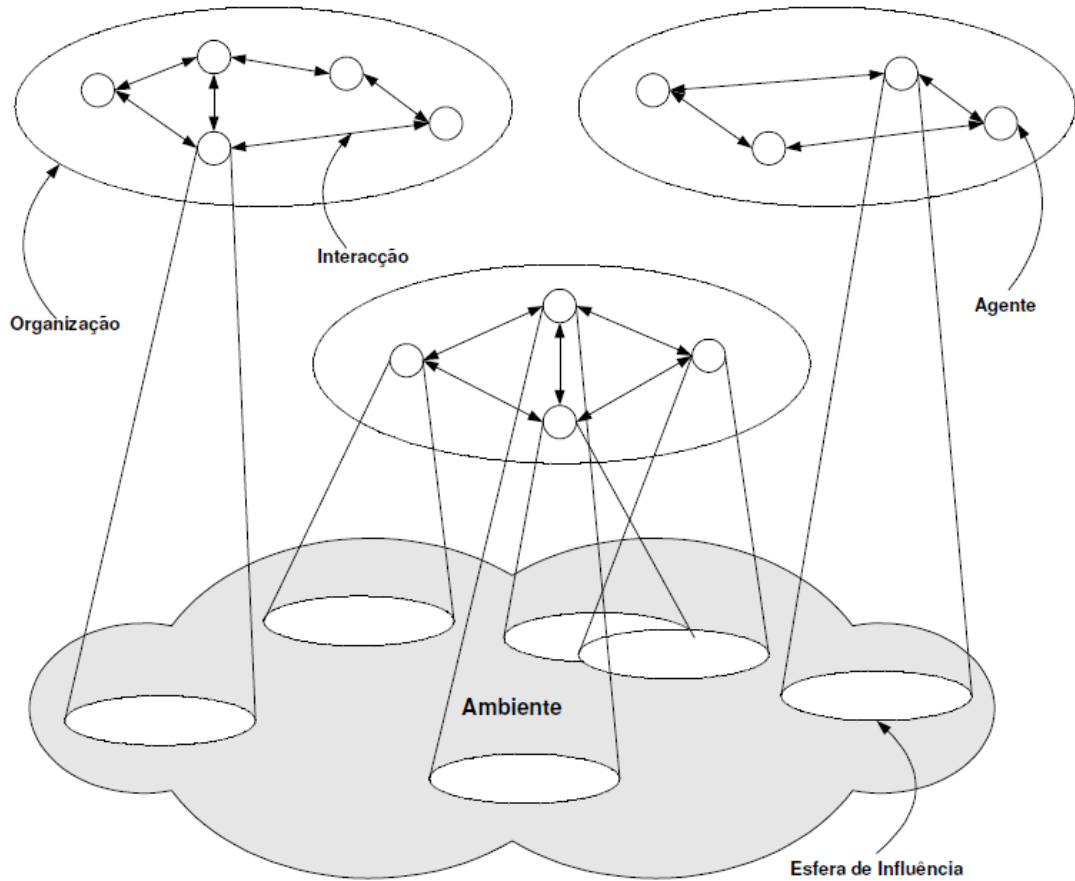
O uso da Programação Linear pode ocasionar limitações no que diz respeito a não-integridade das suas respostas, ocasionando o fracionamento das unidades de manejo e resultando em problemas de ordem operacional, outro fator importante é que a PL aborda uma única função objetivo, sendo que em uma empresa podemos ter vários objetivos (SILVA, 2001).

As vantagens da utilização de Sistemas Multiagentes estão associadas à possibilidade de representação de sistemas complexos, com interação entre entidades dinâmicas e autônomas (BARRETEAU et al., 2004).

Esses Sistemas podem ser considerados como uma ferramenta capaz de representar o conhecimento, as crenças, o comportamento e a comunicação dos indivíduos (PURNOMO, 2006). Permite ainda a combinação de diferentes técnicas de otimização e obtenção de soluções potencialmente melhores do que aquelas obtidas por técnicas individuais (PASSOS & FONSECA, 2005). Apesar de pouco difundido no Brasil, a modelagem de Sistemas Multiagentes já vem sendo largamente aplicada em outros países com foco em questões ambientais, principalmente pelo fato de que SMA's possuem habilidade para representar sistemas complexos, com interações entre entidades autônomas e dinâmicas, como já mencionado anteriormente (BARRETEAU et al., 2004).

A Inteligência Artificial Distribuída vem sendo utilizada em diversos trabalhos de gerenciamento e ordenação da produção por meio de Sistemas Multiagentes (SMA)

(FIORILLI, 2007; VIEGAS, 1998; BASTOS, 1998; OGLIARI et al., 2005), principalmente pelo fato de que cada processo de uma cadeia de ordenação da produção pode ser modelado como um agente, cada um com suas regras de decisão (FERREIRA, 2009).



**Figura1-** Estrutura de um Sistema Multiagente. Fonte: Adaptado de Jennings (1999).

### **3. OBJETIVO**

O objetivo do presente estudo foi comparar soluções de um problema de regulação da produção florestal, empregando Programação Linear, Programação Inteira Mista e Sistema Multiagentes.



## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 - Coleta de dados.**

Os dados utilizados neste estudo foram coletados de parcelas permanentes do Inventário Florestal Contínuo (IFC) realizado em povoamentos de eucalipto. Nas medições das parcelas foram mensuradas o diâmetro, situação do fuste de todas as árvores e altura de algumas delas. Foi utilizada a altura de árvores dominantes para ajuste de modelos hipsométricos e para determinação da capacidade produtiva das unidades de manejo. A mensuração das árvores procedeu-se de maneira convencional, sendo o diâmetro medido por meio de fita diâométrica, e a altura por meio de um clinômetro.

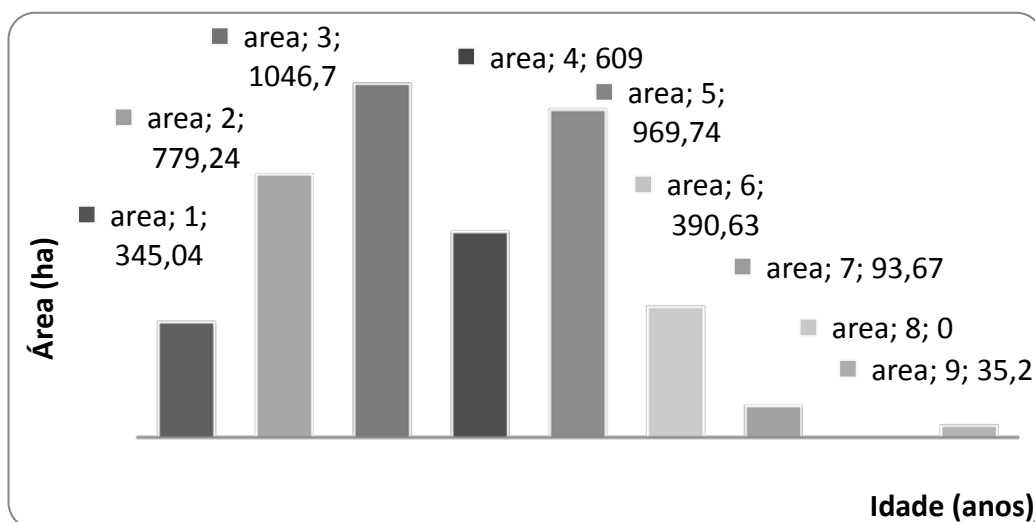
Os dados de diâmetro ao longo do fuste foram obtidos através do procedimento de cubagem de árvores, de acordo com as distribuições dos diâmetros e das alturas observadas no inventário. O processamento dos dados foi realizado em planilhas eletrônicas por meio do Software Excel 2007<sup>®</sup>.

Para estimar a produção, foi empregado o seguinte modelo:

$$Y = e^{\beta_0 + \frac{\beta_1}{IS}} + \varepsilon$$

onde  $Y$  é a produção em  $m^3ha^{-1}$ ,  $I$  a idade (meses) e  $S$  ( índice de local) . Os valores encontrados para a produtividade estão representados na Figura 6.

A área utilizada para as simulações foi de 4.269,29 ha, distribuída em 120 talhões com área média de 35 ha. A distância média entre os talhões e a unidade de processamento da madeira foi de 41,1 km, estando o talhão mais distante localizado a 80 km. A distribuição inicial da área por classe de idade encontrada nesse estudo pode ser observada pela Figura 1.



**Figura 2** - Distribuição de áreas por classe de idade em uma floresta de eucalipto de 4.269,29 ha de área.

Os modelos de Programação Linear e Inteira Mista foram formulados segundo a teoria do Modelo I descrito por Johnson & Scheurman (1977). A solução foi obtida empregando o Software RPF (BINOTI et al., 2011), utilizado também para simular cenários de manejo e planejamento. A versão utilizada no presente trabalho foi a versão 0.15 e permite trabalhar em modelos de regulação utilizando a Programação Linear ou a Programação Inteira Mista. As configurações do computador utilizado para a resolução

dos problemas foram: Sistema operacional Windows 7 Ultimate 32 bits; processador intel core i5-2430M 2,4 GHz , memória RAM 4Gb.

#### 4.2 - Programa RPF - Regulação da Produção Florestal

O programa Regulação da Produção Florestal (RPF) foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar os gestores florestais, acadêmicos e extensionistas na construção de modelos de regulação da produção florestal, tendo como principal característica ser distribuído gratuitamente. O projeto RPF é formado de vários sistemas os quais são designados para a solução de situações específicas dos problemas de regulação da produção florestal (BINOTI, 2011). Apesar de parecer complexo o programa é simples de trabalhar e permite uma gama muito grande de variações de modelos. Segundo Binoti (2011), o sistema ainda possui a vantagem de ser portátil, portanto permite sua utilização em diferentes sistemas operacionais como Linux, Windows e Mac OS.

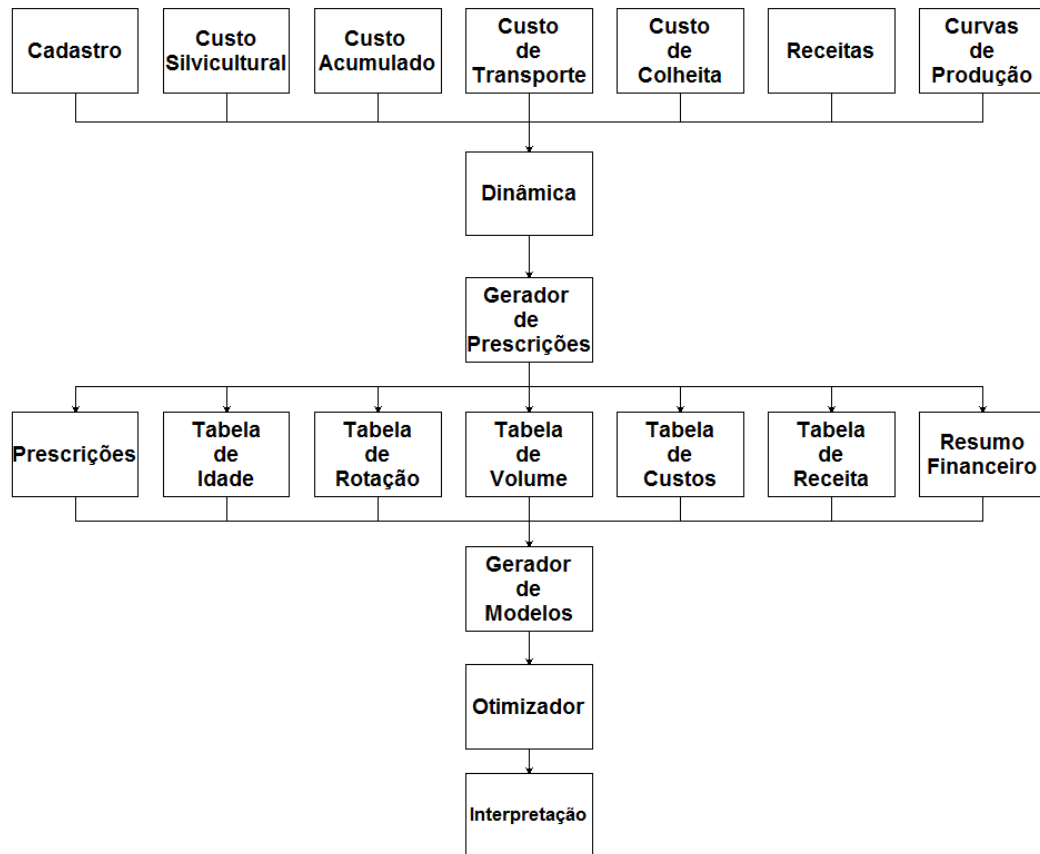
Conforme consta no sistema e observado na Figura 2 tem-se os desenvolvedores do mesmo juntamente com o e-mail de contato.



**Figura 3** - Desenvolvedores do sistema RPF.

A estrutura básica do software RPF está demonstrada na Figura 3. Na parte superior da tabela estão esquematizados todos os dados prévios necessários para que o sistema funcione e possa atingir a regulação. Logo abaixo está a forma de escrever o modelo e todas as suas possibilidades, representado pela “Dinâmica”. Tendo os dados prévios e a parte da dinâmica definida, utiliza-se o gerador de prescrições o qual rapidamente gerará todas as tabelas relevantes as prescrições. Em seguida o modelo

pode ser exportado como modelo de programação linear ou como de programação inteira mista, sendo necessária a utilização de um solver, no caso estudado o software Lingo 9.0 para a resolução do problema formulado. Após a resolução do problema, a solução deve ser salva e importada para o sistema RPF, que será encarregada de compilar e organizar os resultados.



**Figura 4** - Estrutura de funcionamento do software RPF. Fonte: Binoti (2011)

### 4.3 - Formulação da função objetivo: Maximização do Valor Presente Líquido (VPL)

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

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

Em que:

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

Os valores resumidos dos custos calculados encontram-se na Tabela 1. O custo de colheita foi de R\$20,00/m<sup>3</sup>, este custo foi obtido por meio da expressão utilizada por Binoti (2010):

$$\text{Custo (R\$/m}^3\text{)} = 37,59 \text{ Produtividade}^{-0,035}.$$

A receita obtida após o processamento da madeira foi de R\$ 80,00/ m<sup>3</sup>, sendo R\$40,00/m<sup>3</sup> o valor residual adotado. Este por sua vez se diz respeito ao valor que a madeira restante assume ao final de todo o horizonte de planejamento, seria como se fosse o “resto” que sobrou após o último corte.

A taxa de juros girou em torno de 8,75% ao ano, considerando uma taxa de inflação zero em um horizonte de planejamento de 15 anos (Figura 8).

**Tabela1-** Custos empregados para avaliação econômica do problema de planejamento florestal.

<b>Idade</b>	<b>Custos R\$/ha</b>
1	4.059,05
2	1.627,81
3	836,68
4	9,39
5	88,12
6	88,12
7	88,12

Adaptado de Binoti (2010).

O objetivo principal deste trabalho foi à proposição, solução e comparação de um problema de planejamento a longo prazo por meio de Pesquisa Operacional e Sistemas Multiagentes, o qual foi desenvolvido por (ARAÚJO JUNIOR, 2012), onde a avaliação econômica foi feita por meio do VPL esquematizado abaixo:

$$VPL = \sum \frac{(receitas) - (custos)}{(1+i)^n}$$

Em que  $i$  é a taxa de juros adotada e  $n$  o número de anos até a incidência do custo ou receita.

Os dados, custos, taxas de juros, horizonte de planejamento e produtividade adotados foram os mesmos abordados para a formulação dos modelos de Programação Linear e Inteira Mista.

Para a criação do Sistema Multiagente, utilizou-se uma ferramenta do Software Microsoft Excel 2007<sup>®</sup> denominada Visual Basic for Applications<sup>®</sup>, de maneira que houvesse uma interação entre os agentes, e destes com o ambiente, à qual proporcionou resultados que orientaram na tomada de decisão do problema de planejamento acerca das prescrições sobre as áreas que foram manejadas. A partir dessa ferramenta foram realizadas simulações contendo diversos cenários, dos quais foi escolhida a melhor solução gerada pelo maior valor do VPL global encontrado em cada cenário.

Cada agente foi definido como uma entidade atuante no Gerenciamento da Produção Florestal, sendo que sua ação era diretamente associada ao que os demais

agentes estavam realizando. O SMA abordado nesse estudo foi composto por três agentes atuantes e o ambiente, o qual foi representado pelo povoamento florestal.

O Agente de Inventário, responsável por calcular a idade dos talhões, indicar quais talhões foram passíveis de corte, juntamente com o volume disponível em cada um deles. A atividade deste, dependia da informação gerada pelo agente de colheita e ambiente, essa informação era em relação ao ano anterior, de modo a determinar a idade atual dos talhões e o estoque de madeira disponível.

O Agente de Colheita cujo objetivo foi determinar quais talhões seriam colhidos, recebia informações do agente de inventário à respeito dos talhões disponíveis para corte e seu volume correspondente, além também, de receber informações do ambiente em relação ao número de talhões, e do agente de controladoria sobre a madeira já armazenada.

O Agente de Controladoria por sua vez era responsável por administrar a demanda anual de madeira. Este possuía a tarefa de indicar para o agente de colheita o volume de madeira que foi colhido, além do mais, ele possuía a função de emitir boletins indicando o VPL global ou volume de madeira total que um determinado cenário gerou. Por fim, verificava se este mesmo cenário gerado possuía uma solução melhor do que a anterior por meio da comparação dos resultados (ARAÚJO JUNIOR, 2012).

#### **4.4 - Problema de planejamento florestal**

O planejamento de longo prazo para a área considerada neste estudo estabelece inicialmente a demanda anual mínima de 130.000 m<sup>3</sup> e máxima de 180.000 m<sup>3</sup> de madeira. O manejo florestal preconiza um ciclo de apenas uma rotação com imediata reforma das áreas colhidas. Permitiu-se o corte de florestas com idade maior ou igual a 6 anos, buscando limitar, ao final do horizonte de planejamento, essa idade para o intervalo entre 5 e 6 anos. Buscou-se ainda atender a restrição de integridade dos talhões, ou seja, não foi permitido que obtivesse volume de apenas uma parte do talhão em cada período de colheita, pois apenas uma alternativa de manejo foi permitida em cada talhão.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 contém um resumo dos resultados obtidos pela maximização da receita líquida (VPL) da função objetivo, utilizada na formulação dos modelos de PL e PIM, seguido do VPL originado do melhor cenário encontrado nas simulações do SMA.

**Tabela 2-** Comparação de resultados obtidos por PL, PI e SMA.

<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b>		
<b>SMA</b>	<b>PL</b>	<b>PIM</b>
R\$ 14.249.408,41	R\$ 16.079.219,15	R\$ 16.044.441,20



A partir dos dados e métodos descritos foram geradas tabelas no RPF contendo custos, prescrições, produtividade, receitas e restrições esquematizadas abaixo.

Região	Fazenda	Unidad...	Idade	Área	Rotação	Custo ...	Custo ...	Custo ...	Custo ...	Curva ...	Distância	Situação
A	B	1	1	22.39	1	1	1	21	1	31	21	1R
A	B	2	1	33.54	1	1	1	67	1	29	67	1R
A	B	3	1	36.65	1	1	1	23	1	25	23	1R
A	B	4	1	34.24	1	1	1	19	1	22	19	1R
A	B	5	1	41.22	1	1	1	30	1	23	30	1R
A	B	6	1	26.55	1	1	1	38	1	22	38	1R
A	B	7	1	27.31	1	1	1	26	1	25	26	1R
A	B	8	1	27.45	1	1	1	39	1	22	39	1R
A	B	9	1	20.93	1	1	1	41	1	29	41	1R
A	B	10	1	21.66	1	1	1	10	1	29	10	1R
A	B	11	1	30.98	1	1	1	23	1	27	23	1R
A	B	12	1	22.12	1	1	1	69	1	24	69	1R
A	B	13	2	35.33	1	1	2	60	1	30	60	2R
A	B	14	2	53.54	1	1	2	79	1	24	79	2R
A	B	15	2	40.6	1	1	2	25	1	30	25	2R
A	B	16	2	30.78	1	1	2	8	1	27	8	2R
A	B	17	2	31.83	1	1	2	24	1	23	24	2R
A	B	18	2	40.18	1	1	2	33	1	24	33	2R
A	B	19	2	27.53	1	1	2	44	1	26	44	2R

**Figura 5** - Planilha de cadastro contendo os dados que serviram de input para geração dos modelos.

Na Figura 6 têm-se as abas de custos e receitas. Os custos são separados em custos silviculturais, custo acumulado, custo de transporte e custo de colheita, onde todos foram importados, nas receitas constam preenchidos os valores de madeira processada e valor residual, ambos citados anteriormente.

Índice	Situação	Valor (R\$/ha)
1	CR	3676.22
1	1R	1434.01
1	2R	563.21
1	3R	96.93
1	4R	96.93
1	5R	96.93
1	6R	96.93
1	7R	96.93
1	8R	96.93
1	9R	96.93
1	10R	96.93
1	11R	96.93
1	12R	96.93
1	13R	96.93
1	14R	96.93
1	15R	96.93

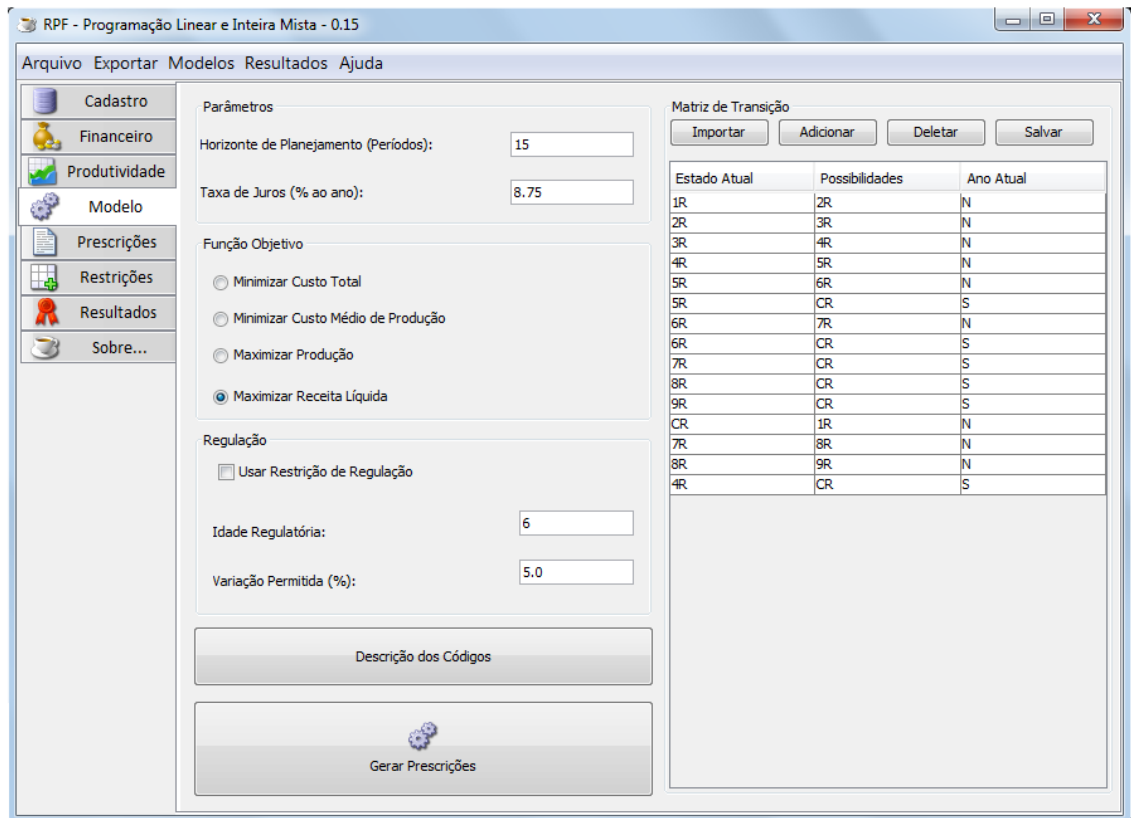
**Figura 6** - Planilha de custos e receitas utilizados para gerar os modelos de PL e PIM.

Na Figura 7 está esquematizada a tabela de curvas de produção onde as produtividades foram calculadas anteriormente por meio da equação descrita no item 4.1. O modelo montado apresentou apenas uma curva, para uma rotação e varias idades.

Índice	Rotação	Idade (anos)	Produção (m³/ha)
1	1	1	9.954
1	1	2	66.289
1	1	3	124.713
1	1	4	171.060
1	1	5	206.771
1	1	6	234.630
1	1	7	256.799
1	1	8	274.790
1	1	9	289.650
1	1	10	302.114
1	1	11	312.710
1	1	12	321.824
1	1	13	329.742
1	1	14	336.684
1	1	15	342.819
2	1	1	7.664
2	1	2	58.164
2	1	3	114.302
2	1	4	160.234
2	1	5	196.234
2	1	6	224.623
2	1	7	247.382
2	1	8	265.952
2	1	9	281.354

**Figura 7-** Planilha de curvas de produção estimadas pelo modelo descrito no item 4.

Na Figura 8 têm-se a tabela de montagem do modelo, onde a matriz de transição indicou as possibilidades que ocorreram na floresta durante o horizonte de planejamento. Por exemplo, no caso do código 5R (idade 5 da primeira rotação), este pode ir pra 6R (idade 6 da primeira rotação) ou para CR (corte seguido de reforma imediata), e se ocorrer o CR a ação será feita no ano atual conforme descrito pelo código S (sim) e não pelo N (neste caso a ação seria feita no ano posterior). Nesta aba também é definido o horizonte de planejamento (15 anos), a taxa de juros (8,75%), o método a ser utilizado (maximização da produção ou do VPL, e minimização dos custos ou do CMP), a idade regulatória (6 anos) e a taxa de variação permitida na área de regulação (5%).

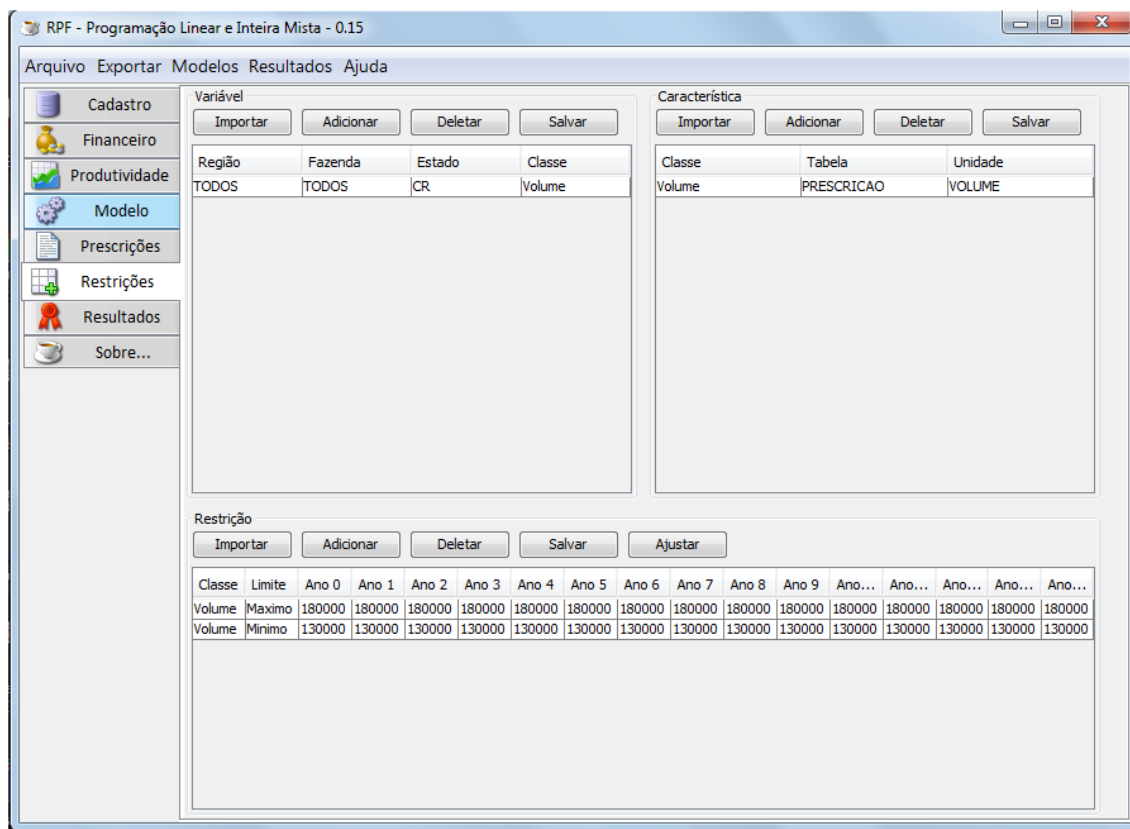


**Figura 8** - Planilha contendo a matriz de transição e restrições de regulação.

A tabela “variável” na aba restrições define quais regiões e fazendas terão restrições, no estudo as restrições foram as mesmas para todas as fazendas e todas as regiões. No item “estado”, tem-se uma referência aos códigos da matriz da transição que geraram a produção, ou seja, que foram passíveis de restrição, no caso também pode haver outros códigos como, por exemplo, se houver áreas com talhadia, venda de terra e outros. Já o item “classe”, presente nas três tabelas desta aba, indica qual classe você irá determinar nas suas restrições, se é volume e/ou corte. Na tabela gerada, o item “volume” que foi o item abordado nesse estudo, representou às restrições de demanda. Esta restrição visa limitar a produção volumétrica entre os limites desejados para o atendimento da demanda de consumo.

A Tabela “características” apresenta o local onde o programa busca as informações para gerar as restrições. O modelo gerado apresenta o item “tabela” com a palavra “prescrição” que indica que na geração do modelo o programa procurou em toda a tabela de “prescrição” na aba “prescrições” o estado CR, colocando as unidades de volume, conforme indicado na Figura 9. Já na tabela de “restrição” têm-se as

restrições para cada ano do horizonte de planejamento sendo no item “limite” especificado o volume máximo e o mínimo de cada restrição.



**Figura 9** - Planilha contendo as restrições de demanda máxima e mínima.

As Tabelas 3, 4 e 5 contém um resumo da simulação gerada pelos modelos de PL, PIM e SMA. Este resumo permite a comparação de cada solução, uma vez que este retrata a idade média de corte dada em anos, a produtividade média ( $m^3/ha$ ), os custos (R\$), receitas (R\$), e produção anual ( $m^3$ ) obtida pelos dois modelos e pelo sistema.

Lembrando que estes valores são apenas aproximativos, pois alguns parâmetros como produtividade e idade de corte são resultantes de valores médios, os outros parâmetros como: custos, receitas e produção, são referentes aos valores totais obtidos em cada ano.

**Tabela 3** - Resumo gerado pelo modelo de PL contendo idade média de corte, produção, custos e receitas ao longo dos anos do horizonte de planejamento.

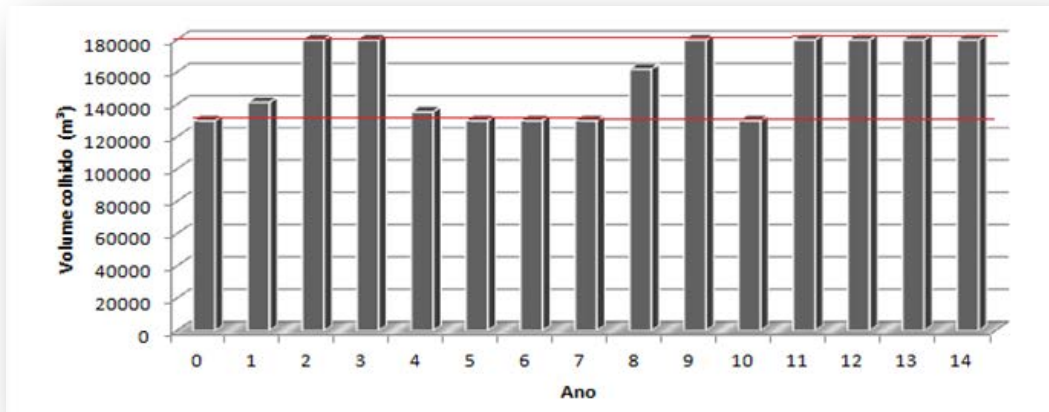
Ano	Idade Média	Produtividade	Volume Total	Custo Total	Receita Líquida
0	6	219	130.000	1.041.552	332.811
1	6	207	141.311	205.925	347.862
2	6	205	180.000	249.658	427.453
3	6	209	180.000	243.874	4.024.794
4	6	210	135.419	244.172	405.043
5	6	213	130.000	204.611	322.114
6	6	219	130.000	192.591	315.097
7	6	214	130.000	187.285	308.546
8	6	214	161.937	225.748	392.677
9	6	206	180.000	282.609	493.158
10	7	211	130.000	195.491	284.046
11	6	207	180.000	266.247	466.053
12	6	205	180.000	265.317	442.066
13	5	196	180.000	262.708	41.647
14	5	183	180.000	300.425	483.291

**Tabela 4** - Resumo gerado pelo modelo de PIM contendo idade média de corte, produção, custos e receitas ao longo dos anos do horizonte de planejamento.

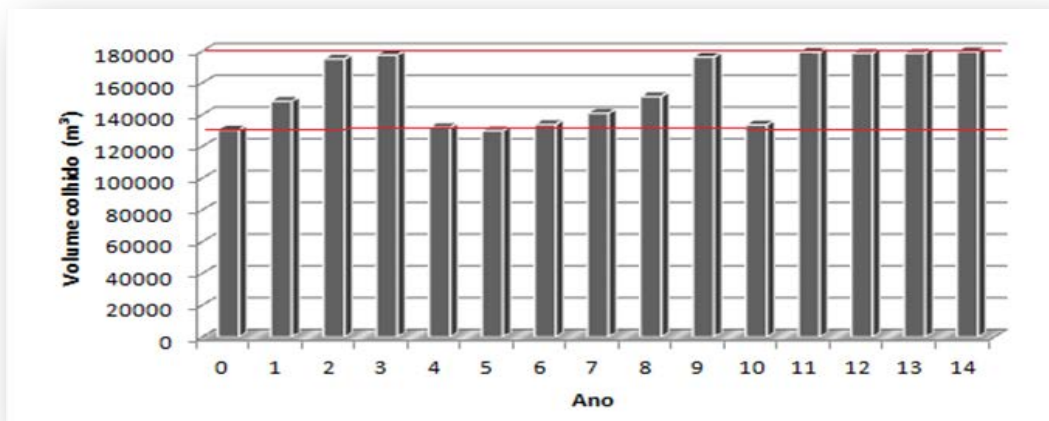
Ano	Idade Média	Produtividade	Volume Total	Custo Total	Receita Líquida
0	6	214	3.627	941.289	290.148
1	6	207	3.321	163.17	265.642
2	6	204	4.294	201.994	343.509
3	6	207	5.372	247.672	429.758
4	7	210	2.099	133.96	167.918
5	6	214	4.955	21.854	96.362
6	6	217	4.98	228.962	398.363
7	6	207	4.593	223.718	3.674.582
8	6	196	3.75	194.771	299.973
9	6	178	1.767	118.428	141.365
10	6	189	4.096	194.533	327.707
11	6	215	5.806	258.472	464.485
12	6	177	1.592	122.037	127.331
13	7	229	2.278	117.61	182.25
14	8	263	2.899	126.548	231.907

**Tabela 5** - Tabela contendo Resumo gerado pelo SMA contendo idade média de corte, produção, custos e receitas ao longo dos anos do horizonte de planejamento.

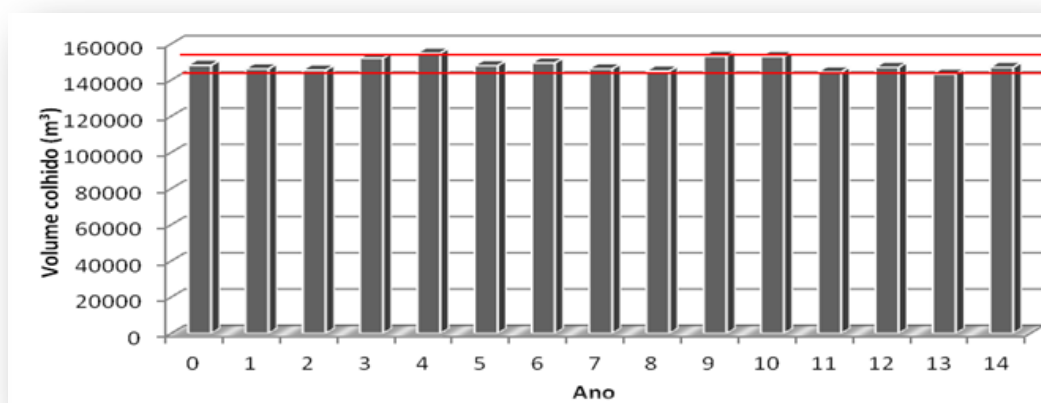
Ano	Idade Média	Produtividade	Volume Total	Custo Total	Receita Líquida
0	6	207	148.154	960.501	328.098
1	6	203	146.171	174.23	277.653
2	6	201	145.467	188.765	308.283
3	6	211	152.124	215.999	369.17
4	6	222	154.874	210.53	356.152
5	6	215	147.905	222.487	380.444
6	6	208	149.46	204.436	329.908
7	6	203	146.171	178.893	277.653
8	6	200	144.933	188.606	307.647
9	6	213	153.178	217.043	373.343
10	6	213	152.983	214.062	355.963
11	6	200	144.46	225.085	371.173
12	6	203	146.996	197.421	308.954
13	6	201	143.262	177.431	275.288
14	6	202	146.991	196.629	327.289



**Figura 10** - Volume colhido ao longo do horizonte de planejamento usando Programação Linear(PL).



**Figura 11** - Volume colhido ao longo do horizonte de planejamento usando Programação Inteira Mista (PIM).



**Figura 12** - Volume colhido ao longo do horizonte de planejamento usando Sistema Multiagentes (SMA).

O problema proposto resolvido por meio de PL e PIM encontrou uma solução ótima, onde se considerou a maximização das receitas, apresentando um VPL global de R\$16.079.219,15 e R\$16.044.441,20 respectivamente, contudo o valor deste para a Simulação Multiagentes ficou em torno de R\$14.249.408,71. Estas diferenças se devem a uma menor variação da produção anual pelo SMA, em um intervalo de (154.873,87 m<sup>3</sup> a 143.261,86 m<sup>3</sup>), que foi inferior a estabelecida pela PL (180.000 m<sup>3</sup> a 129.999 m<sup>3</sup>) e PIM (130.011,31 m<sup>3</sup> a 179.473,27 m<sup>3</sup>), uma vez que os SMA's proporcionaram um volume de madeira de 2.223.131,03 m<sup>3</sup> durante todo o horizonte de planejamento para melhor solução encontrada (estas variações da produção anual estão exemplificadas nas Figuras 10, 11 e 12).

A solução por meio de PL apresentou um valor de volume de madeira superior de aproximadamente 2.348.667 m<sup>3</sup>. Deste modo, a solução via Programação Linear apresentou o maior VPL do estudo e ocasionou um ganho a mais de R\$ 1.829.810,44 em comparação com Sistema Multiagentes, este ganho poderá ser destinado a investimentos necessários a empresa como, por exemplo, em construções de novas filiais visando aumento da produção, ou até mesmo em investimentos que beneficiem a imagem da empresa. A diferença entre os VPL global obtido com o modelo de PIM em relação ao VPL obtido por meio de Programação Linear pode ser considerado com o custo da inclusão das restrições de integridade. Por outro lado, a diferença entre o VPL da solução pelo Sistema Multiagente e aquele encontrado pelo modelo de PL se deve a



diferença entre a ótima e a boa solução. A PI possui a vantagem de não permitir a divisibilidade das unidades de manejo, pois o fracionamento destas seguido do arredondamento é considerado inviável do ponto de vista operacional (SILVA et al., 2003). Por outro lado a PI pode se apresentar inviável para a solução de problemas de grande porte, por exigir alto esforço computacional. Deste modo a resolução de problemas desse tipo demandaria o uso de métodos alternativos como a SMA.

Assim, o foco deste trabalho foi no sentido de ampliar as pesquisas de implementação de Sistemas Multiagentes para analisar e resolver problemas de regulação da produção florestal de modo a evidenciar a superioridade dos métodos clássicos de Programação Linear na otimização da solução. O uso da heurística para solução deste tipo de problema mostrou-se viável e não deve ser descartada, uma vez que as simulações tiveram um resultado satisfatório, pois proporcionaram uma distribuição homogênea da produção anual ao longo de todo o horizonte de planejamento, enquanto os métodos clássicos apresentaram grandes variações, as quais do ponto de vista econômico não são desejáveis. Assim, novas pesquisas precisam ser conduzidas visando aprimorar os Sistemas Multiagentes com a inclusão de sistemas de busca mais eficientes, posto que muitos problemas requerem restrições de integridade e não podem ser resolvidos pelo algoritmo de Programação Inteira.

## 6. CONCLUSÕES

O Sistema Multiagentes utilizado é eficiente para resolução do problema de regulação proposto, embora tenha gerado uma boa solução, e não a ótima.

Para as condições e dados deste estudo, a inclusão da restrição de integridade resulta em perda de R\$ 34.777,95 (0,21%) no VPL global quando se compara com a solução por programação linear.

Novas pesquisas precisam ser conduzidas visando aprimorar os Sistemas Multiagentes das soluções matemáticas obtidas pelo Método Simplex, incluindo sistemas de busca mais eficientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO JUNIOR, C. A. **Simulação multiagentes aplicada ao planejamento da produção florestal sustentável**. 2012.71p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

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

BARRETEAU, O.; BOUSQUET, F.; MILLIER, C.; WEBER, J. Suitability of Multi-Agent Simulations to study irrigated system viability: application to case studies in the Senegal River Valley. **Agricultural Systems**, v.80, p.255-275, 2004.

BARROS JUNIOR, A. A. de.; ARROYO, J. E. C.; SANTOS, H. N. Grasp com path relinking para um problema de planejamento florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 41.2009, Porto Seguro, BA. **Anais do XLI SBPO**, 2009. v. 1. p. 1953-1964.

BASTOS, R. M. **Uma estratégia para Alocação de Recursos Baseados em Sistemas Multiagentes**. 1998. 266 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1998.

BETTINGER, P; BOSTON, K.; SIRY, L. P.; GREBNER, R. L. **Forest Management and Planning**. Elsevier. 2009. 331p.

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

BINOTI, D. H. B; BINOTI, M. L. M. da S.; LEITE, H. G. **RPF (Regulação da Produção Florestal)**. Software, versão 0.15, Viçosa-MG, 2011.

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

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

DIAS, A. N. **Um modelo para gerenciamento de florestas de eucalipto submetidas a desbaste**. 2005. 135f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FATURETO, C. R. C.; SANTOS, H. N. Tomada de decisão sob critérios múltiplos: metodologias e oportunidades de aplicação no Agribusiness - Parte I. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 13-27, 1999a.

FATURETO, C. R. C.; SANTOS, H. N. Tomada de decisão sob critérios múltiplos: metodologias e oportunidades de aplicação no Agribusiness - Parte II. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Viçosa, v. 2, n. 2, p. 83-94, 1999b.

FERREIRA, L. **Um modelo de simulação baseado em agentes para análise de cadeias de suprimento**. 2009. 180 f. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

FIORIOLLI, J. C. **Modelagem matemática do Efeito Chicote em cadeias de abastecimento**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

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

GROGOLETTI, P. S. **Uma arquitetura baseada em sistemas multiagentes para simulações em geoprocessamento**. 2007. 113f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

JENNINGS, N. R. Agent-Oriented Software Engineering. In: PROCEEDINGS OF THE 9TH EUROPEAN WORKSHOP ON MODELLING AUTONOMOUS AGENTS IN A MULTI-AGENT WORLD : MULTI-AGENT SYSTEM ENGINEERING(MAAMAW-99), 1999, Heidelberg, Germany. **Anais**. . . Springer-Verlag, 1999. v.1647, p.1-7.

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

LEAK, W. B. **Estimating maximum allowable timber yields by linear programming**. Resp.Pap. NE-17. Upper Darby. PA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 1964.

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

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

LISBOA, E. F. A. **Apostila do curso de pesquisa operacional**. Rio de Janeiro- RJ: 2002. 53p.

NAVON, D. I.; McCONNEN, R. J . Evaluating forest management policies by parametric linear programming. Berkeley, Calif., Pacific SW. **Forest & Range Exp Sta**. U.S Forest Serv. Res.,1967. 13p (Paper PSW-42).

OGLIARI, I.; BAGATINI, D. D. S.; FROZZA, R. Processo de alocação de recursos utilizando sistema multiagente. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. 25., 2005, São Leopoldo, RS. **Anais eletrônicos: A universalidade da computação: um agente de inovação e conhecimento.** Disponível em: <[http://www.unisinos.br/\\_diversos/congresso/sbc2005/\\_dados/anais/pdf/arq0141.pdf](http://www.unisinos.br/_diversos/congresso/sbc2005/_dados/anais/pdf/arq0141.pdf)>.

Acesso em : 5/01/2013

PASSOS, C. A. S.; FONSECA, S. L. A. Uma arquitetura multiagente para solução de problemas de sequenciamento da produção. **Journal of Computer Science**, v.4, n.2, p.38-45, 2005.

PEREIRA, A. R.; LADEIRA, H. P.; BRANDI, R. M. Minimização do custo total do transporte de carvão vegetal de Eucalipto no Estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.5, n.1, p 73-79, 1981.

PURNOMO, H.; GUIZOL, P. Simulating forest plantation co-management with a multi-agent system. **Mathematical and Computer Modelling**, n.44, p.535-552, 2006.

RODRIGUES, F. L. **Regulação de florestas equiâneas utilizando programação linear.** 1997. 109f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

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

RODRIGUES, F.L.; LEITE, H.G.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, M.L. Regulação de florestas equianeas utilizando programação linear: uma aplicação da teoria do modelo II. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.22, n.2, p. 193-213, 1998.

RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L.; GOMES, A. M. Determinação de estratégias ótimas de reforma, condução da brotação e compra de terras utilizando programação linear. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.23, n.2, p. 196-186, 1999.

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

RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C.A.A.S. Metaheurística simulated annealing para solução de problemas de planejamento florestal com restrições de integridade. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, V.28, n.2, p. 247-256 , 2004a.

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 resolução de problemas com restrições de recobrimento. **Revista Árvore**, Viçosa-MG v.30, n.5, p.769-778, 2006.

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

SILVA, A. A. L. **Emprego de modelos de crescimento e produção em análise econômica de decisão de manejo florestal**. 2001, 79f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

SILVA, G.F.; LEITE, H.G.; SILVA, M.L.; RODRIGUES, F.L.;SANTOS, H. N. Problemas com uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima , em regulação florestal. **Revista Árvore**, Viçosa- MG, v.27, n.5,p. 677-688,2003.

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

SUN, R. **Cognition and Multi-Agent Interactions: From Cognitive Modeling to Social Simulation**. Cambridge University Press, 2005.

VIEGAS, F. **Planejamento distribuído em um sistema multi-agente para pcp.** 1998.30 f. Dissertação (Mestrado em Informática) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 1998.

VOLPI, N. M. P.; CARNIERI, C.; SANQUETTA, C. R. O impacto da estocasticidade das informações em um modelo de planejamento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.23, n.1, p. 103-112, 1999.