



ANA LUIZA RUFINI

**USO MÚLTIPLO E SUSTENTÁVEL DO
CERRADO *SENSU STRICTO*: UTILIZANDO
PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA**

**LAVRAS - MG
2014**

ANA LUIZA RUFINI

**USO MÚLTIPLO E SUSTENTÁVEL DO CERRADO *SENSU STRICTO*:
UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Florestas de Produção, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo

Coorientadores

Prof. Dr. Lucas Rezende Gomide

Prof. Dr. Antônio Carlos Ferraz Filho

**LAVRAS - MG
2014**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Rufini, Ana Luiza.

 Uso Múltiplo e Sustentável do Cerrado *Sensu Stricto*:
 Utilizando Programação Linear Inteira / Ana Luiza Rufini. –
Lavras : UFLA, 2014.

 81 p. : il.

 Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2014.

 Orientador(a): José Roberto Soares Scolforo.

 Bibliografia.

 1. Planejamento. 2. Manejo Florestal. 3. *Dimorphandra mollis*
 Benth. 4. Regulação da floresta. 5. Fava d'anta. I. Universidade
 Federal de Lavras. II. Título.

O conteúdo desta obra é de responsabilidade do(a) autor(a) e de seu orientador(a).

ANA LUIZA RUFINI

**USO MÚLTIPLO E SUSTENTÁVEL DO CERRADO *SENSU STRICTO*:
UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Florestas de Produção, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 15 de agosto de 2014.

Prof. Dr. Lucas Rezende Gomide	UFLA
Prof. Dr. Júlio Eduardo Arce	UFPR
Prof. Dr. Antonio Carlos Ferraz Filho	UFLA
Dra. Ivonise Andrade	INVENTAR

Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo
(Orientador)

**LAVRAS – MG
2014**

Ao meu irmão,
Bruno César Rufini (*in memoriam*)
Combateu o bom combate
Foi aguerrido e lutador
Um certo dia em plena tarde
Suas armas entregou
Deixou lembranças e saudade
Mas, junto a Deus descansou...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me amparar nos momentos difíceis, me dar força para superar as dificuldades e mostrar os caminhos nas horas incertas.

Aos meus pais (Bruno e Ana), que sempre primaram pela minha Educação, juntamente com minhas irmãs (Sílvia e Márcia), por serem alicerces sólidos para sustentar e amparar meus momentos de dor.

Ao meu marido e companheiro de todas as horas, Leonardo, por sempre me apoiar e, sobretudo, por acumular muitas das minhas responsabilidades maternas nesses últimos tempos.

À minha filha Maria Cecília, pelas demonstrações de afeto ao requisitar minha presença e por me estimular nos momentos difíceis, ao me oferecer carinho e amor incondicional.

Ao meu orientador, professor José Roberto Scoforo, por ser sempre o exemplo que é, pelas constantes demonstrações de sabedoria, por seu reconhecimento, apoio e incentivo a cada momento.

Aos professores Lucas e Antônio, pelo papel de “coorientadores” a eles imposto e pela disposição em ajudar todas as vezes que se fez necessário.

À todos os professores do DCF, em especial aos do LEMAF, por cada dúvida tirada, por cada ensinamento transmitido.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal e à Capes, pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudos.

Aos companheiros e amigos de jornada, Vinícius, Thiza, Emmanuel e Kalill, pelas inúmeras ajudas prestadas e pelas horas de trabalhos juntos.

A todas as pessoas que trabalham no LEMAF e DCF, aqui representados pela Gláucia, Elisabeth, Chica e Juliano, obrigada por tudo.

E a todos que, de alguma maneira, contribuíram para a conclusão de mais uma etapa em minha vida. Muito obrigada!

RESUMO

O presente estudo teve por objetivo aplicar a PLI na regulação da produção de um fragmento de cerrado *Sensu Stricto*, situado no município de Varzelândia, Minas Gerais, considerando uma abordagem de exploração em faixas, de acordo com a legislação daquele estado, aliada ao extrativismo da fava-d'anta (*Dimorphandra mollis* Benth.), visando, ainda, selecionar o melhor cenário para que se configure um manejo florestal sustentável. Para tal, foram utilizados dados de inventários florestais realizados nos anos de 2006 e 2010, no qual mediu-se a CAP a 1,30 m de altura e a altura total de todas as árvores com $CAP \geq 15,7$ cm, presentes em 15 parcelas de 10 m x 100 m, distribuídas sistematicamente na área. Com os dados do inventário, foi realizada uma prognose do crescimento e da produção por meio da cadeia de Markov ou matriz de transição. Para o planejamento, foram estabelecidos 9 cenários que compreenderam o corte de árvores visando à produção de carvão e ao extrativismo de frutos de fava-d'anta, tendo, para cada um dos cenários, sido realizada uma análise econômica por meio do VPL. A formulação matemática utilizada no estudo corresponde ao modelo I, descrito por Johnson e Sherman (1977), em que a função objetivo foi maximizar o VPL, com as restrições de integridade das unidades de manejo, controle de fluxo de produção volumétrica, controle de área a ser explorada e produção de fava-d'anta. Ao analisar os resultados, verificou-se que todos os cenários apresentaram solução factível, ou seja, todos maximizaram o VPL, com valores variando entre R\$291.327,55 e R\$539.797,32 (cenários 1 e 2, respectivamente) e que todos os cenários avaliados são economicamente viáveis sob as condições de custos e receitas aplicadas, pois apresentaram VPL positivo. Verificou-se, ainda, que os cenários que envolvem a extração de frutos de fava-d'anta são mais viáveis economicamente que os demais, mesmo que a produtividade de fava seja até 75% menor que a atual, mostrando, assim, que o manejo do cerrado *Sensu Stricto* aliado ao extrativismo de frutos pode ser uma boa alternativa para incrementar a renda dos moradores das comunidades do entorno de áreas manejadas.

Palavras-chave: Planejamento. Manejo Florestal. *Dimorphandra mollis* Benth. Regulação da produção. Fava-d'anta.

ABSTRACT

This study aimed to apply the PLI in regulating the production of a fragment of cerrado *sensu stricto*, in the city of Varzelândia, Minas Gerais, considering an exploration approach tracks, according to the laws of that state, along with the extraction of fava-d'anta (*Dimorphandra mollis* Benth.), to also select the best setting to set sustainable forest management. To this end, we used forest inventory data obtained in 2006 and 2010, which measured the CAP to 1,30 m high and the total height of all trees with $CAP \geq 15,7$ cm, present in 15 installments 10 m x 100 m, systematically distributed in the area. With the inventory data, a prognosis of growth and production was carried out by a Markov chain transition matrix or. For planning, were established nine scenarios that comprised the cutting of trees aimed at producing coal and the extraction of fruit fava-d'anta, where for each scenario, an economic analysis was performed by means of the NPV. The mathematical formulation used in the study corresponds to the model I, in which the objective function is to maximize the NPV with the integrity constraints of the management units, volumetric production flow control, control area to be explored and production of fava-d'anta. When analyzing the results, it was found that all scenarios presented feasible solution, all maximized the NPV, with values ranging from R \$ 291,327.55 and US \$ 539,797.32 (scenarios 1 and 2, respectively) and that all scenarios evaluated are economically viable under the conditions of applied costs and revenues, as presented positive NPV. It was also found that the scenarios involving the extraction of fruit fava-d'anta are more economically viable than the others, even if the bean productivity is up to 75% less than the current, thus showing that the management of cerrado *sensu stricto* ally to fruit extraction can be a good alternative to increase the income of the residents of the surrounding communities of managed areas.

Keywords: Planning. Forest Management. *Dimorphandra mollis* Benth. Regulation of production. Fava-d'anta.

LISTA DE TABELAS

		Página
TABELA 1	Estatística descritiva dos inventários realizados na área de estudo	40
TABELA 2	Geração da árvore de manejo para a exploração do talhão 1, para os diferentes cenários (os cenários 4, 6 e 8, e 5, 7 e 9, tem a mesma configuração dos cenários 2 e 3, respectivamente)	48
TABELA 3	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA)	52
TABELA 4	Custo de produção de carvão vegetal originado da vegetação do cerrado no norte de Minas Gerais, corrigidos pelo fator de correção	53
TABELA 5	Prognose do número de indivíduos e do volume para a área de estudo	57
TABELA 6	Volumes calculados para os 14 anos do horizonte de planejamento (sem as espécies proibidas de corte) e seu incremento em relação ao volume do inventário realizado em 2010	59
TABELA 7	Produtividade média por hectare para vagens de fava d'anta (<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.)	60
TABELA 8	Resumo dos resultados do processamento dos cenários avaliados	62
TABELA 9	Alternativa de manejo selecionada para cada talhão em cada cenário avaliado, com seus respectivos valores de área explorada (ha), volume explorado (m ³) e produtividade de Fava d'anta (kg) e VPL (R\$), para cada ciclo de corte	64

LISTA DE FIGURAS

		Página
FIGURA 1	Fluxograma da estrutura hierárquica de funcionamento do planejamento florestal	31
FIGURA 2	Carta de potencialidade social de Minas Gerais, evidenciando a área de estudo	36
FIGURA 3	Mapa do Zoneamento climático de Minas Gerais, evidenciando a área de estudo	36
FIGURA 4	Mapa das classes de solo de Minas Gerais, evidenciando a área de estudo	37
FIGURA 5	Mapa o relevo de Minas Gerais, evidenciando a área de estudo	37
FIGURA 6	Mapa do fragmento com os talhões e suas respectivas faixas demarcadas	45
FIGURA 7	Mapas de krigagem representando a densidade absoluta (a, N/ha) e a dominância absoluta (b, m ² /ha) de indivíduos de fava d'anta no bioma Cerrado no estado de Minas Gerais	55
FIGURA 8	Mapa da exploração ao longo do horizonte de planejamento, de acordo com o cenário 2	69

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 O Cerrado	15
3.2 Manejo Florestal do cerrado	17
3.2.1 Legislação	20
3.3 Extrativismo da fava d'anta	24
3.4 Modelagem do crescimento e produção de florestas inequiâneas	26
3.5 Planejamento florestal e tomada de decisão	29
3.5.1 Programação Linear	32
4 MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1 Caracterização das áreas de estudo	35
4.2 Inventário Florestal	38
4.3 Estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da parte aérea lenhosa	39
4.4 Mapeamento da densidade (DA) e dominância absoluta (DoA) de fava d'anta	40
4.5 Prognose do crescimento e produção	41
4.6 Talhonamento e construção das faixas	44
4.7 Formulação matemática para o manejo do cerrado	46
4.8 Análise Econômica	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1 Distribuição da fava d'anta em Minas Gerais	54
5.2 Prognose	55
5.3 Utilização de frutos de <i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	59
5.4 Planejamento de uso múltiplo do cerrado	61
6 CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS	71
ANEXO	79

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupando uma área equivalente a 23% do território nacional. Em Minas Gerais é o bioma de maior expressão, chegando a ocupar 28% de sua expansão territorial. Entretanto, é um dos biomas que mais sofrem atualmente com o desmatamento, influenciado pela expansão urbana e as atividades agropecuárias, pela produção de matérias-primas e de insumos de origem vegetal, infraestrutura e produção mineral, o que tem levado à fragmentação florestal desse tipo de vegetação e colocando em risco a manutenção dos recursos florestais existentes.

O estado de Minas Gerais é o maior produtor de carvão vegetal do país, destinado à siderurgia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, ABRAF, 2013; ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA, AMS, 2013). A indústria de produtos siderúrgicos relacionados ao ferro-gusa, em operação no estado, tem como uma de suas principais fontes de matéria-prima as florestas nativas. A madeira dessas florestas é transformada em carvão vegetal, largamente utilizado como fonte de energia ou como oxirredutor no processo de transformação do minério para o ferro-gusa. Em 2012 foram consumidos cerca de 20 milhões de metros de carvão (mdc) em Minas Gerais, o que corresponde a, aproximadamente, 70% do consumo nacional, que foi 27 milhões de metros. Deste total, pouco mais de 8 milhões de metros de carvão, ou seja, aproximadamente 30%, foram produzidos utilizando madeira de vegetação nativa (AMS, 2013).

De acordo com Cifloresta (2014), o preço pago pelo carvão vegetal em Minas Gerais varia de acordo com a região do estado, mas, em média, o carvão oriundo de florestas plantadas custava R\$90,00 por mdc e o de vegetação nativa atingiu o valor máximo de R\$80,00 por mdc, em agosto de 2012.

Duboc et al. (2008) afirmam que de todo o carvão produzido, proveniente de vegetação nativa, 34,5% são oriundos de vegetação de cerrado e que a exploração desse bioma é feita de forma intensa, de modo que a reposição da vegetação não acompanha a exploração.

Na tentativa de minimizar os impactos causados pela exploração desordenada do cerrado em Minas Gerais, começou a vigorar, em 2005, a Portaria nº 191 do Instituto Estadual de Florestas (IEF) (revogada pela Portaria nº8/2013 do mesmo órgão) (IEF, 2005; 2013), que dispunha sobre as normas de controle da intervenção em vegetação nativa e plantada no estado de Minas Gerais, onde áreas revestidas por vegetação nativa só poderiam ser susceptíveis de corte mediante Plano de Manejo Florestal. Abriram-se, assim, caminhos para o Manejo Florestal Sustentável do Cerrado, hoje amparado pela Resolução Conjunta IEF/SEMAD nº 1905 de 2013 (IEF/SEMAD, 2013).

O Manejo Florestal Sustentável consiste na administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos e sociais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo, sendo capaz de promover a conservação ambiental e a melhoria da qualidade de vida das comunidades locais, além de valorizar o uso da floresta como atividade permanente.

Assim, torna-se uma boa alternativa aliar o extrativismo de espécies de valor econômico ao manejo florestal, pois a coleta de produtos naturais é uma alternativa de renda para as populações do entorno de áreas manejadas. A atividade extrativista é observada em diversas áreas do Norte de Minas Gerais, destacando-se o extrativismo da fava-d'anta (*Dimorphandra mollis* Benth.), de onde se extraem os princípios ativos rutina, quercetina e ramnose, utilizados pela indústria farmacêutica para a fabricação de medicamentos e cosméticos (GOMES & GOMES, 2000).

Nesse âmbito, sugere-se, então, que áreas de Cerrado manejadas adequadamente possam gerar ocupação permanente para um grande número de pessoas, fornecer matéria-prima para a indústria, além de preservar a biodiversidade, garantindo a conservação da vegetação nativa e oferecendo benefícios de valor social.

Para que a obtenção de recursos oriundos de áreas manejadas seja permanente, é necessário um planejamento florestal, que pode ser identificado como a organização de uma série de atividades distribuídas no tempo, com o propósito de atender aos objetivos do manejo florestal (BANHARA et al., 2010; BASKENT; KELES, 2005). Um planejamento bem estruturado poderá auxiliar na definição da melhor alternativa possível para os planos de manejo de longo prazo, bem como estabelecer as metas a serem atendidas em médio e curto prazo.

Diante do exposto, no presente trabalho busca-se conciliar ferramentas do manejo florestal e técnicas de planejamento operacional para tentar implantar um cenário ótimo de manejo florestal sustentável, em áreas de cerrado *Sensu Stricto*, de forma que se tenha uma produção volumétrica contínua e que a sociedade ao redor das áreas manejadas também lucre com o extrativismo de espécies como a fava-d'anta, ao longo de todo o horizonte de planejamento.

2 OBJETIVOS

Este trabalho foi realizado com o objetivo geral de aplicar a programação linear inteira na regulação da produção de um fragmento de cerrado *Sensu Stricto*, situado no município de Varzelândia, em Minas Gerais, considerando uma abordagem de exploração em faixas, de acordo com a legislação do estado de Minas Gerais (Resolução conjunta IEF/SEMAD nº 1905 de 2013), aliada ao extrativismo da fava-d'anta (*Dimorphandra mollis* Benth.), visando, ainda, selecionar o melhor cenário para que se configure um Manejo Florestal Sustentável.

Os objetivos específicos foram:

- a) mapear a densidade (DA) e a dominância absoluta (DoA) da *Dimorphandra mollis* Benth. no bioma Cerrado em Minas Gerais, visando ao manejo de seus frutos;
- b) fazer a prognose do crescimento e da produção volumétrica de um fragmento de cerrado *Sensu Stricto*, situado no município de Varzelândia, MG;
- c) verificar a possibilidade de utilização dos frutos da *Dimorphandra mollis* Benth. como forma de gerar renda para as comunidades entorno da área de estudo;
- d) aplicar a programação linear inteira na área de cerrado *Sensu Stricto*, buscando a maximização do VPL, sob as restrições de área, volume e vagem de fava-d'anta explorada anualmente em um horizonte de planejamento de 14 anos;
- e) definir o melhor cenário como exemplo para o manejo florestal sustentável em áreas de cerrado *Sensu Stricto* em Minas Gerais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O Cerrado

O Cerrado brasileiro é o segundo maior bioma do país, estendendo-se das margens da Floresta Amazônica até os estados de São Paulo e Paraná, constituindo a maior savana neotropical. Ocupa uma área de, aproximadamente, 2 milhões de km², o que equivale a 23% do território nacional (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997). No Cerrado são encontrados 5% da biodiversidade mundial e um elevado número de endemismo de fauna e flora, englobando um terço da biota brasileira (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA, UNESCO, 1998).

Em Minas Gerais, é o bioma de maior expressão, ocorrendo, principalmente, nas porções central, noroeste e oeste do estado e ocupando uma área de, aproximadamente, 106 mil km², ou seja, 28% de sua expansão territorial (CARVALHO et al., 2008).

A vegetação do bioma Cerrado apresenta fisionomias que incluem formações florestais, savânicas e campestres. Nas formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão) ocorre o predomínio de espécies arbóreas, formando um dossel que pode ser contínuo ou descontínuo. A formação savânica (Cerrado *Sensu Stricto*, Parque de Cerrado, Palmeiral e Veredas) refere-se a áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato gramíneo, sem a formação de um dossel contínuo. Já a formação campestre (Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo) é representada por áreas com

predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Segundo Scolforo et al. (2008b), o cerrado apresenta-se como a fitofisionomia mais produtiva do cerrado mineiro, podendo-se encontrar volumes aproximadamente iguais a 117m³/ha; já no cerrado *Sensu Stricto*, os volumes variam de 40 a 80m³/ha e no campo cerrado, 18m³/ha.

O tipo fitofisionômico predominante do bioma Cerrado é o cerrado *Sensu Stricto*, que se caracteriza pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações retorcidas e, geralmente, com evidências de queimadas. Os troncos das plantas lenhosas têm, em geral, cascas com cortiça grossa e as folhas são, geralmente, rígidas e coriáceas, o que confere aspectos de adaptação às condições de seca (xeromorfismo). O estrato arbóreo cobre de 5% a 70% da área, dependendo do subtipo do Cerrado *Sensu Stricto*, ou seja, denso, típico, ralo e rupestre (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Os solos deste tipo de vegetação caracterizam-se por apresentar elevada acidez, baixa fertilidade e boa drenagem (EITEN, 1994) e, são bastante porosos e com textura que varia entre média e argilosa a muito argilosa. O Cerrado é encontrado em locais de clima do tipo tropical chuvoso e regularmente sazonal, com a presença de invernos secos e verões chuvosos.

O Cerrado tem, ainda, a flora mais rica entre as savanas do mundo, sendo classificado como um dos “hotspots” mundiais (ALHO; MARTINS, 1995), ou seja, locais onde concentrações excepcionais de espécies endêmicas estão sofrendo significativas perdas de habitat (MYERS et al., 2000).

Apesar do seu tamanho e importância, o Cerrado é um dos ambientes mais ameaçados do mundo, pois, com a expansão das fronteiras agrícolas brasileiras, ele perdeu muito de seus domínios nas últimas décadas. No estado de Minas Gerais, o Cerrado sofreu e tem sofrido forte pressão em razão das

severas intervenções antrópicas relacionadas à expansão urbana e agropecuária, à infraestrutura e à produção mineral. De acordo com Carvalho et al. (2008), nos anos de 2005 a 2007 este bioma perdeu, aproximadamente, 66 mil hectares de vegetação e ainda pode desaparecer até 2030, se medidas sustentáveis não forem tomadas imediatamente (PREVEDELLO; CERVALHO, 2006).

Diante do exposto, e considerando a forma desordenada de ocupação e exploração do cerrado, o que vem acarretando prejuízos sociais, econômicos e ambientais para as pessoas que dependem desta região para o seu sustento, bem como para a sociedade em geral, torna-se necessária a busca de alternativas que conciliem a conservação e o uso da vegetação deste bioma, lançando mão de técnicas de manejo economicamente viáveis.

3.2 Manejo Florestal do Cerrado

Diversos autores já conceituaram manejo florestal, porém, todas as ideias tendem a convergir para um mesmo sentido. Para Meyer et al. (1961), é um conjunto de técnicas que permite organizar a produção florestal com base no rendimento contínuo. Segundo Scolforo (1998), o manejo florestal, de forma geral, é a utilização, de forma sensata e sustentada, dos recursos florestais, de maneira que as gerações futuras possam usufruir dos mesmos benefícios da geração presente. Já para Richter (1963), é a otimização da organização de uma propriedade florestal, planejando-se e controlando-se os eventos que ocorrem periodicamente, visando à preservação ou à maximização contínua da produção florestal. Ainda de acordo com Scolforo (1998), a terminologia manejo florestal pode ser abordada segundo dois enfoques. No primeiro, é visto como uma prática em que o objetivo maior é aumentar a qualidade, as dimensões e, se possível, a quantidade do produto final, observando-se, em todas as fases, a

viabilidade sócio-econômica e ambiental do processo produtivo. Já no segundo enfoque, manejo florestal é considerado um processo de tomada de decisão.

Schneider (2004) definiu um outro conceito importante ligado ao manejo florestal, segundo o qual as intervenções em uma floresta devem trazer benefícios financeiros e não financeiros em longo prazo, de forma que as condições ecológicas não sejam prejudicadas de forma irreversível.

O manejo sustentável é aquele que favorece uma produção contínua do recurso explorado, sem a deterioração dos demais recursos e benefícios envolvidos. Assim, o manejador florestal deve balizar suas decisões em informações biológicas, econômicas, sociais, ambientais e de mercado, de forma a proporcionar a sustentabilidade dessa prática e, por consequência, a perpetuação da atividade florestal no local (SCOLFORO, 1998).

O Novo código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) (BRASIL, 2012), refere-se ao manejo florestal sustentável como a administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos e sociais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e só permite a execução do mesmo por meio de um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) e obedecendo aos princípios gerais de conservação dos recursos naturais, de conservação da estrutura da floresta e de suas funções, de manutenção da diversidade biológica e do desenvolvimento sócio-econômico da região.

Nesse contexto, diversos estudos foram realizados visando avaliar a sustentabilidade da prática do manejo florestal em áreas de cerrado *Sensu Stricto*. Scolforo et al. (2000), analisando, entre os anos de 1986 e 1998, o desenvolvimento em área basal e em número de indivíduos de um cerrado *Sensu Stricto* situado no município de Coração de Jesus, MG, submetido a diferentes níveis de intervenção (testemunha, 50%, 70%, 80%, 90% e 100% de remoção de área basal), concluíram que o corte raso (100%) apresentou o maior acréscimo

percentual no número de árvores e em área basal, em relação ao existente antes da instalação do experimento, e sugeriram um ciclo de corte de dez a doze anos.

Já Oliveira et al. (2002), avaliando a economicidade do mesmo experimento, constataram que a exploração do cerrado para produção de lenha é viável economicamente para os níveis de intervenção de 70%, 80%, 90% e 100% de remoção de área basal, considerando um ciclo de corte de 10 anos.

Oliveira et al. (2006) também avaliaram diferentes níveis de intervenção (testemunha, corte raso, corte seletivo com redução de 50%, 60%, 70% e 80% em área basal, com acréscimo e diminuição de 20% do quociente de De Liocourt), em uma área de cerrado *Sensu Stricto* localizada no município de Brasilândia, MG. Estes autores observaram que, entre a instalação do experimento em 1997 e até 2004, ou seja, em sete anos, houve recuperação da estrutura florística, da altura média e do número de plantas em todos os tratamentos.

Onze anos após a implantação deste experimento, Souza (2010) constatou que todos os tratamentos foram capazes de manter um conjunto de espécies representativas semelhantes à população anterior aos cortes, manter o padrão da exponencial negativo para a distribuição diamétrica e recuperar o número de indivíduos, a área basal, o volume, o peso seco e o carbono.

Entretanto, Scolforo et al. (2008b), utilizando uma amostra de 10 planos de manejo em áreas de cerrado em Minas Gerais, observaram que estes planos levarão, em média, 20 anos para recuperar a área basal original. A explicação para tal fato está relacionada à maneira imprópria pela qual os planos foram executados, principalmente pela presença de animais domésticos na área, acarretando em queimadas, o que provocou a morte e o estresse das plantas, elevando o tempo de recuperação em área basal. Já nos casos em que se teve maior cuidado com a área manejada, o tempo estimado para a recuperação da área basal variou entre 13 e 16 anos, o que é mais condizente com o de um

cerrado submetido à exploração utilizando práticas conservacionistas. Sendo assim, quando o cerrado é manejado e protegido de animais domésticos e fogo, ele se recupera quantitativamente, sendo viável sua exploração. Estes mesmos autores, ainda em 2008, propuseram a estratégia do método de exploração de talhadia simples em faixas alternadas, ou manejo em faixas para a vegetação do cerrado. Desse modo, mantêm-se faixas de vegetação intactas para a promoção de abrigo e alimento para a fauna, propicia-se um melhor manejo da paisagem, permite-se um maior controle do manejo e não se vai contra a Resolução Conjunta IEF/SEMAD nº 1905, de 2013, que vigora sobre planos de manejo no cerrado mineiro, segundo a qual a intervenção máxima em área basal é de 50%.

Diante do exposto, reforça-se a idéia de que o manejo sustentável do cerrado em Minas Gerais é uma alternativa conservacionista, viável economicamente e que a intervenção em áreas com esse tipo de vegetação não resulta em perdas de diversidade da flora. Contudo, o manejo florestal mostra-se como uma boa alternativa no combate ao desmatamento desenfreado, podendo contribuir para a diminuição da conversão de vegetação nativa em pastagens, agricultura e áreas degradadas.

3.2.1 Legislação

Segundo Bozini (2012), a exploração de espécies vegetais para a produção de carvão nas siderúrgicas, no Brasil, data do século XVI, entretanto, somente no início do século passado é que houve, efetivamente, normas jurídico-ambientais que a regulamentassem. A primeira foi o Decreto nº 12.944/18, que trazia em seu conteúdo incentivos à siderurgia, mas não abordava preocupações de ordem ambiental. A primeira norma a regulamentar a exploração de madeira para a produção de carvão vegetal com preocupações ambientais foi o Decreto nº 23.793/34 (Primeiro Código Florestal).

O primeiro Código Florestal Brasileiro surgiu, pois, em 1934, em meio à forte expansão cafeeira. Entre outras medidas, ele obrigava os proprietários a preservarem 25% da área de suas terras com a cobertura de mata original, a chamada “quarta parte”. O objetivo era assegurar o fornecimento de carvão e de lenha. Esta mesma Lei também estabeleceu o conceito de florestas protetoras para garantir a saúde de rios, lagos e áreas de risco (encostas íngremes e dunas), entretanto, não previa as distâncias mínimas para a proteção dessas áreas.

O código foi atualizado em 1965 (Lei nº 4.771), estabelecendo, entre outros pontos, as limitações ao direito de propriedade no que se refere ao uso e à exploração do solo e das florestas, e das demais formas de vegetação. Transformou a “quarta parte” em reserva legal, já com o objetivo de preservar os diferentes biomas. Na Amazônia, metade dos imóveis rurais devia ser reservada para essa finalidade e, no restante do país, 20%. Ainda assim, a floresta podia ser 100% desmatada, desde que fosse replantada, mesmo com espécies estranhas àquele bioma.

Em 1986 foi instituída a Lei nº 7.511, que impediu o desmatamento das áreas nativas, mesmo se houvesse a recuperação da vegetação original. Os limites das APPs nas margens dos rios também foram aumentados (de 5 m para 30 m). Três anos mais tarde, a Lei nº 7.803/89 determinou que a reposição das florestas fosse feita, prioritariamente, com espécies nativas. O tamanho das APPs nas margens dos rios voltou a ser alterado, com a criação de áreas protegidas ao redor de nascentes, bordas de chapadas ou em áreas em altitude superior a 1.800 m.

A partir de 1996, o Código Florestal passou a ser modificado por diversas Medidas Provisórias, até que a Comissão Especial do Código Florestal aprovou, no dia 6 de julho de 2010, uma proposta para a modificação do Código Florestal Brasileiro. Assim, em 25 de maio de 2012, foi publicada a Lei nº

12.651, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências.

O Novo Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651, de 2012) estabelece normas gerais de uso sustentável das florestas e demais formas de vegetação nativa em harmonia com a promoção do desenvolvimento econômico. Em seu capítulo primeiro, artigo 3º, inciso VII, o termo manejo sustentável é definido como sendo “a administração da vegetação natural para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras ou não, de múltiplos produtos e subprodutos da flora, bem como a utilização de outros bens e serviços”.

Em seu capítulo VII, a Lei ressalta que a exploração de florestas nativas e formações sucessoras, de domínio público ou privado, dependerá de licenciamento pelo órgão competente do Sisnama, mediante aprovação prévia de Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) que contemple técnicas de condução, exploração, reposição florestal e manejo compatíveis com os variados ecossistemas que a cobertura arbórea forme e que o PMFS será submetido a vistorias técnicas para fiscalizar as operações e as atividades desenvolvidas na área de manejo.

No âmbito Estadual, a Portaria nº 191, do Instituto Estadual de Florestas (IEF), de 16 de setembro de 2005, versava sobre o Manejo Florestal e estabelecia que as áreas revestidas com quaisquer tipologias vegetais nativas primárias ou em estágios médios e avançados de regeneração somente poderiam ser susceptíveis de corte ou de utilização para fins exclusivos de suprimento industrial, atividades de carvoejamento, obtenção de lenha, madeira ou de outros produtos e subprodutos florestais mediante Plano de Manejo Florestal Simplificado em Faixas, prescrito no artigo 55, § 2º do Decreto nº 43.710, de

8/01/04. Ele deve ser elaborado e executado sob responsabilidade técnica de profissional habilitado e analisado, vistoriado e, quando aprovado, monitorado e fiscalizado pelo IEF. Esta Portaria foi revogada pela Portaria IEF nº 8, de 2013 e, hoje, o Manejo Florestal Sustentável no Estado de Minas Gerais é amparado pela Lei nº 20.992, de 16 de outubro de 2013 e pela Resolução Conjunta IEF/SEMAD nº 1.905, de 12 de agosto de 2013. A Lei nº 20.992/2013 também é conhecida como Lei Florestal Mineira e baseou-se no Novo Código Florestal Brasileiro para a sua elaboração (MINAS GERAIS, 2013).

A Lei Florestal Mineira estabelece, em seu artigo 69, os parâmetros para a exploração da vegetação nativa que não implique em uso alternativo do solo. Fica expresso na Lei que a exploração florestal visando às atividades de carvoejamento e obtenção de lenha, madeira e outros produtos e subprodutos florestais deve ser feita por pessoa física ou jurídica e só pode ser realizada por meio de Plano de Manejo Florestal Sustentável analisado e aprovado pelo órgão ambiental competente, que fiscalizará e monitorará sua aplicação. Nas áreas do bioma Cerrado, poderá ser adotado, mediante aprovação do órgão ambiental competente, o regime de manejo florestal em sistema de exploração em faixas ou por talhadia em talhões alternados, observada a capacidade de regeneração da fisionomia vegetal manejada.

Já a Resolução Conjunta IEF/SEMAD nº 1.905/2013 descreve, em seu anexo VI, as exigências necessárias para a elaboração do Plano de Manejo, sendo que as intervenções programadas não podem exceder a 50% da área basal existente, para as tipologias florestais e contatos/enclaves, por classe diamétrica e por espécie.

3.3 Extrativismo da fava-d'anta

Segundo alguns autores, como Neumann e Hirsch (2000) e Soldati e Albuquerque (2008), a comercialização de Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNM) vem sendo reconhecida como uma possível forma de integrar a conservação da biodiversidade com a geração de renda para a população local. Como exemplo de PFNM podem-se citar frutas, óleos, exsudados, resinas, cascas, folhas e plantas ornamentais e medicinais, entre outros.

O extrativismo de PFNM, normalmente, está associado ao conhecimento do homem em relação ao produto extraído e ao uso ao qual é destinado, mas também a uma demanda de mercado (GOMES; GOMES; JESUS, 2010).

De acordo com Gomes e Gomes (2000), a atividade extrativista é observada em diversas áreas do norte de Minas Gerais, onde as populações locais têm vasto conhecimento sobre hábitos e usos da fauna e flora, e se destaca o extrativismo da fava-d'anta.

A fava-d'anta (*Dimorphandra mollis* Benth.), também conhecida como faveira, favela, falso-barbatimão ou barbatimão-de-folha-miúda, é uma planta arbórea, heliófita, característica do cerrado e de campo cerrado. Sua madeira pode ser utilizada para diversos fins, entre eles lenha e carvão. Sua casca é rica em tanino e já foi muito utilizada para curtir couro (LORENZI, 2002). Segundo Oliveira e Scolforo (2008), ela distribui-se naturalmente na região central do Brasil, especialmente nos estados de Minas Gerais, Goiás e São Paulo.

A espécie *D. mollis* pertence à família Fabaceae (LORENZI, 2002). O gênero *Dimorphandra* apresenta grande relevância econômica, pois as espécies *D. mollis* e *D. gardneriana* são importantes fontes de flavonoides para a indústria farmacológica (LANDIN; COSTA, 2012).

Assim, a principal importância e o maior valor econômico dado às plantas de *D. mollis* estão em seus frutos (vagens) que têm elevado teor de

flavonoide rutina e seus derivados quercetina, troxerrutina, ramnose e galactomananos (GOMES, 1998). A rutina foi descoberta em 1936, pelo bioquímico Albert Szent-Gyorgi e se apresenta sob a forma de um pó sem sabor e de cor amarelo-esverdeada (LANDIN; COSTA, 2012). Nos dias atuais é largamente utilizada na indústria farmacêutica e cosmética, devido às suas propriedades, tais como aumento na absorção de vitamina C pelo organismo, antioxidante, controle da hipertensão arterial, prevenção de hemorroidas e ação diurética, entre outros.

De acordo com INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2008), no ano de 2008, 561 mil toneladas de rutina e seus derivados foram comercializadas no Brasil ao valor de, aproximadamente, 32 milhões de reais, sendo a maior parte destinada à exportação. A fava-d'anta é responsável por cerca de 50% da produção mundial de rutina, cabendo o restante à espécie chinesa *Sophora japonica*, sendo necessários cerca de 10 kg de vagens secas de fava-d'anta para produzir 1 kg de rutina (GOMES et al., 2010).

Gomes (1998), avaliando a dinâmica socioambiental do extrativismo da fava-d'anta, verificou, no norte de Minas Gerais, que todo o mercado era monopolizado pela indústria farmacêutica Merck®. Silva (2014), avaliando as relações socioambientais do extrativismo da fava-d'anta no sul do Ceará, também encontrou uma única empresa responsável pela compra da vagem extraída, a Quercegen Agronegócios Ltda., que comprou, em 2011, a divisão de Produtos Naturais da Merck®. Com essa transação, o Brasil passou a ser líder mundial na produção de quercetina, um dos derivados da rutina.

De acordo com Nunes et al. (2012), os frutos de fava-d'anta são vendidos diretamente dos coletores para os comerciantes locais e destes para os comerciantes regionais, até chegarem a grandes indústrias farmacêuticas. Entretanto, verificou-se que os coletores são a parte menos beneficiada nessa comercialização, pois recebem R\$0,40/kg de vagem (verde), enquanto os

comerciantes locais (atravessadores) vendem para um terceiro (comerciante regional, cooperativas regionais) por cerca de R\$1,50/kg de vagem (seca), apontando, assim, uma cadeia de comercialização altamente assimétrica na distribuição de renda (GOMES, 1998; NUNES et al., 2012; SILVA, 2014).

3.4 Modelagem do crescimento e produção de florestas inequiâneas

Sobre as florestas nativas, além do fato de elas apresentarem uma grande complexidade em sua composição, como um grande número de indivíduos com diferentes características silviculturais, tecnológicas e ecológicas, há poucas informações sobre como suas plantas crescem, seja em áreas intactas, em áreas exploradas, ou, ainda, em áreas sujeitas ao manejo florestal. Sendo assim, um dos pontos importantes a serem abordados para estas florestas é a definição de um ciclo de corte e também o conhecimento de como o número de árvores por classe de diâmetro evolui ao longo do tempo (SCOLFORO, 1998).

Segundo Felfili (1995), as comunidades florestais são dinâmicas e as mudanças ocorrem continuamente em níveis de população, de espécies e de indivíduos ao longo do tempo. Sendo assim, um instrumento poderoso para auxiliar o planejamento florestal são os modelos de crescimento e produção.

Muhairwe (2003) afirma que o desenvolvimento de modelos de crescimento para florestas de espécies mistas inequiâneas deve estar voltado para as mudanças na estrutura e na composição da floresta e refletir as respostas das operações silviculturais.

Embora estes modelos impliquem numa simplificação da realidade, obter a prognose da distribuição diamétrica das árvores que compõem a floresta possibilita várias ações, podendo-se citar a definição do ciclo de corte para a floresta, a avaliação da viabilidade econômica de se praticar ou não o manejo para a floresta e fazer parte de uma gama de critérios que auxiliarão na decisão

sobre que espécie poderá ser removida da floresta, afetando a manutenção da diversidade florística com menor intensidade (PULZ et al., 1999).

De acordo com Condit, Hubbel e Foster (1993), estimar o crescimento de florestas nativas a longo prazo só é possível extrapolando-se os registros de crescimento de curto prazo, pois a maioria das espécies não tem anéis de crescimento.

Para Vanclay (1994), um modelo de crescimento de um povoamento florestal é uma abstração da dinâmica natural de uma floresta e pode incorporar crescimento, mortalidade e outras mudanças na composição e na estrutura da floresta. Scolforo (2006) considerou, ainda, alguns conceitos básicos para melhor entender a terminologia utilizada nos modelos de crescimento e produção. São eles:

- a) estudos de dinâmica de populações – monitoramento ao longo do tempo das mudanças na vegetação em termos de distribuição e abundância;
- b) mortalidade e sobrevivência – a mortalidade é o número de indivíduos que morrem em um dado período de tempo, e a sobrevivência é a expressão inversa da mortalidade e refere-se à proporção de sobreviventes em relação ao número inicial de indivíduos;
- c) recrutamento – é a admissão de um indivíduo em uma determinada população ou comunidade, ou seja, indivíduos que ingressaram em um levantamento, mas não estavam presentes no anterior;
- d) crescimento de árvores – é o aumento das dimensões (diâmetro, altura, área basal, volume, biomassa e outros) de uma ou mais árvores, em um dado período de tempo.

Para que ocorra um manejo florestal sustentável, estas informações são de extrema importância, pois é necessário que grande número de indivíduos de regeneração jovem das espécies economicamente importantes ingresse regularmente no povoamento e que um número mínimo de árvores sobreviva e cresça ao tamanho de abate a cada ciclo de corte (AZEVEDO; SOUZA; JESUS, 1995).

Modelos de crescimento e produção de florestas nativas (Inequiâneas) dependem de um sistema de parcelas permanentes para fornecer informações da dinâmica da floresta, como taxas de crescimento, número de árvores, área basal, recrutamentos e mortalidade (KOHYAMA; TAKADA, 1998; SCOLFORO, 2006).

Segundo Scolforo (2006), existem os modelos de produção global para floresta nativa que necessitam de uma base de dados de crescimento oriunda de um inventário florestal contínuo, dados estes que, normalmente, não estão disponíveis. Nos modelos por classe diamétrica podem ser utilizadas diversas técnicas, entretanto, para todas elas é fundamental considerar as formas como os diâmetros encontrados se distribuem nas classes diamétricas. Entre as diferentes técnicas, podem-se citar o incremento diamétrico médio, o incremento diamétrico variável, a matriz de transição ou cadeia de markov e o método de Condit, Hubber e Foster (1993), entre outros.

Scolforo et al. (1996), estudando o crescimento e a produção em diâmetro e área basal das espécies de uma floresta semidecídua montana em Lavras, MG, geraram um modelo de produção para prognóstico de sua estrutura, utilizando o método do incremento diamétrico médio, reconhecendo dispersão dentro da classe de diâmetro. Os autores detectaram que, em 20 anos, 13 novas árvores passarão a ter, no mínimo, 50 cm de diâmetro e que a floresta em questão apresenta, no médio prazo, potencial para ser explorada comercialmente.

Pulz et al. (1999) avaliaram a acuracidade da predição diamétrica da mesma floresta pelo método da matriz de transição e concluíram que o método mostrou-se eficiente para fins de prognose da estrutura diamétrica, apesar de ter sido detectada mudança na estrutura da floresta, particularmente da taxa de recrutamento e de mortalidade. Observaram, ainda, que, quando comparado aos métodos da razão de movimentação de diâmetro e Wahlenberg, ele apresentou o mesmo grau de eficiência para fins de prognose do número total de árvores.

Rossi et al. (2007), avaliando a modelagem do recrutamento em florestas, ressaltaram a dificuldade de tal evento, pois o recrutamento apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal, e plantas com DAP inferior a 10 cm, geralmente, não são medidas. Entretanto, afirmaram que tal modelagem gera informações relevantes sobre a taxa de regeneração do cerrado, sendo vital para o planejamento do ciclo de produção.

3.5 Planejamento florestal e tomada de decisão

O planejamento florestal é considerado uma das principais etapas do processo de tomada de decisão e, quando é organizado de forma hierárquica, busca analisar as possíveis alternativas disponíveis para elaborar os planos de manejo de longo prazo, bem como estabelecer as metas a serem atendidas em médio e em curto prazo (BANHARA, 2010; BASKENT; KELES, 2005). Ainda segundo Baskent e Keles (2005), o planejamento florestal pode ser identificado como a organização de uma série de atividades distribuídas no tempo, com o propósito de atender aos objetivos do manejo florestal. De acordo com Mendonza e Sprouse (1989), a utilização de modelos estatísticos e matemáticos no planejamento florestal fornece ao tomador de decisões informações pertinentes que ajudam a compreender melhor os efeitos da implantação de uma atividade proposta.

A hierarquia do planejamento florestal é organizada em três níveis, estratégico, tático e operacional, que se diferenciam pelo objetivo e as atividades específicas. Assim, os objetivos de cada nível devem ser consistentes e apoiados nos demais níveis (BASKENT; KELES, 2005). Nesse contexto, os objetivos referem-se aos resultados finais e as atividades específicas ou estratégias são as ações e as destinações de recursos para que os objetivos sejam atendidos.

Os níveis hierárquicos do planejamento são definidos conforme Mitchell (2004), citado por Gomide (2009), da seguinte maneira (Figura 1):

- a) planejamento estratégico – caracteriza-se pela tomada de decisão no que diz respeito aos objetivos e às estratégias de longo prazo, ou seja, é a escala mais distante do ano zero, em termos de tempo, quando comparado aos outros níveis do planejamento;
- b) planejamento tático – é uma extensão do planejamento estratégico, em que os objetivos e atividades descritas naquele tornam-se mais específicos. Neste estágio estão incluídas as restrições espaciais, ou seja, as limitações físicas para a operação de colheita ou questões ambientais;
- c) planejamento operacional – tem como base os resultados advindos dos planejamentos estratégico e tático, e retrata as operações que ocorrem no curto prazo, como atividades de rotina.

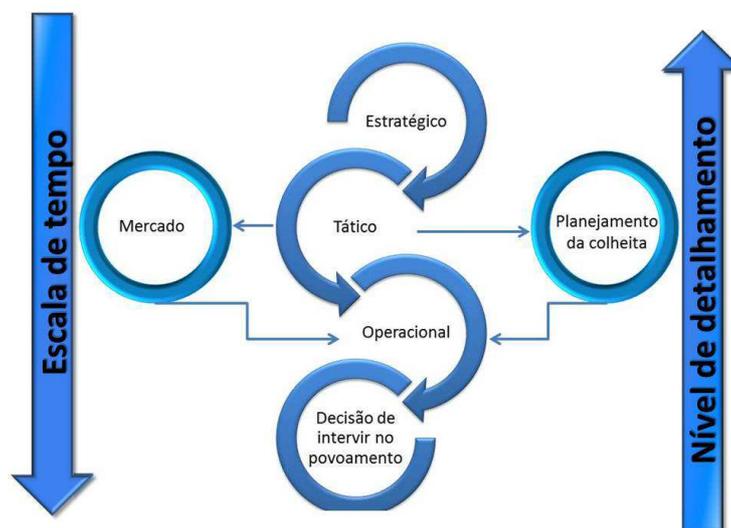


Figura 1 Fluxograma da estrutura hierárquica de funcionamento do planejamento florestal

Fonte: adaptado de Mitchell (2004)

O processo utilizado para responder a um problema pode ser chamado de tomada de decisão, em que a escolha das alternativas propostas para possíveis soluções é feita em função da geração dos melhores resultados para a organização, sendo esta considerada a tarefa mais importante desempenhada pelos gestores (PORTO, 2012). Ainda segundo o mesmo autor, este processo envolve riscos para os administradores, pois exige dos mesmos uma visão sistêmica do processo e cautela no planejamento das ações. Schneider (2004) ressalta que o processo de tomada de decisão envolve uma série de fatores e nem sempre o aspecto econômico predomina.

Visando auxiliar na elaboração de planejamento operacionais e dos processos de tomada de decisão, podem ser utilizados diversos métodos científicos de análise, dentre os quais destacam-se os pertencentes a uma área da ciência denominada pesquisa operacional, em especial as técnicas de

programação linear. Essa técnica pode ser aplicada em problemas que permitem a definição de um objetivo em termos quantitativos.

3.5.1 Programação linear

Conforme Montevechi (2000), programação linear é uma técnica da pesquisa operacional utilizada, principalmente, para a solução de problemas de otimização. A solução desses problemas visa à maximização dos lucros ou à minimização dos custos, e busca a distribuição eficiente de recursos limitados para atender a um determinado objetivo.

Ainda segundo o mesmo autor, na programação linear, o objetivo é expresso por meio de uma função linear denominada de função objetivo, as atividades que consomem recursos e as proporções de consumo desses recursos devem ser definidas no planejamento das atividades, e as informações são apresentadas em forma de equações e inequações lineares, sendo uma para cada recurso, e são denominadas de restrições do modelo.

Buongiorno e Gilles (2003) ressaltaram que uma importante característica das técnicas de programação linear se refere à avaliação de apenas um objetivo principal, com a possibilidade de haver objetivos indiretamente representados por restrições. Segundo Buongiorno e Gilles (1987), a primeira aplicação da programação linear na área florestal se deu na década de 1960 e, desde então, tem sido cada vez mais utilizado. O aumento da sua aplicação se deu graças ao surgimento do algoritmo Simplex, desenvolvido por George Dantzig, entre 1947 e 1949, pois este é capaz de resolver problemas grandes e complexos.

Dentro da programação linear, existem a programação linear inteira (PLI) e a programação linear inteira mista (PLIM), e a definição do uso de determinado tipo de programação se dá exclusivamente pela natureza das

variáveis associadas ao modelo. Assim, se o modelo não apresentar variáveis inteiras, emprega-se a programação linear normalmente. Já no caso de haver apenas variáveis inteiras, chama-se de programação linear inteira pura (PLIP). Por último, quando existe uma mistura de variáveis inteiras e contínuas, utiliza-se a programação linear inteira mista (PLIM) (DELGADO, 1997).

Johnson e Scheurman (1977) classificaram os diversos modelos utilizados para retratar a regulação florestal em modelo tipo I e II. Segundo Schneider (2004), os dois tipos de modelo diferem na identificação das unidades de corte, no número de restrições e no número de variáveis escolhidas. O Modelo I se caracteriza por identificar áreas dentro das diferentes classes de idade que devem ser separadas em unidades de manejo, sendo as unidades de manejo preservadas por meio de todo o horizonte de planejamento, independente de quando ocorrerá o corte de cada área. Já o Modelo II é caracterizado por unir unidades de corte, uma vez que elas são cortadas no mesmo período. Além disso, o Modelo I, geralmente, requer mais variáveis de decisão que o Modelo II, e um número menor de restrições. Entretanto, Rodrigues et al. (2006) ressaltaram que, atualmente, com a evolução dos equipamentos e dos programas para a resolução de problemas de grandeza maior, a escolha de qual modelo utilizar não é apenas em relação à redução do número de variáveis do modelo II. O mais importante é saber identificar qual modelo faz mais sentido em ser usado em cada situação, levando-se em conta que a administração das florestas influenciará a superioridade de um modelo em relação ao outro (SCHNEIDER, 2004).

Gomide, Arce e Silva (2010) avaliaram o efeito das restrições de adjacências no agendamento da colheita florestal em um modelo tradicional de planejamento florestal otimizado. Para tal, utilizaram o modelo tipo I de Johnson e Scheurmann (1977), restrições ligadas à estabilização da produção volumétrica de madeira e dois tipos de restrições espaciais ligadas à adjacência entre

unidades de manejo, as restrições ARM (*area restriction model*) e URM (*unit restriction model*), aplicadas separadamente. Dessa maneira, o problema foi dividido em 4 tipos de cenário, que descrevem 4 situações distintas, porém, apresentando uma função de maximização semelhante. O cenário 1 considera apenas o uso de restrições de controle volumétrico e os cenários 2, 3 e 4 empregaram o uso de restrições de adjacência, além da restrição de controle volumétrico. As restrições de integralidade também foram usadas para garantir a seleção de apenas uma única opção de manejo por talhão, estando presente em todos os cenários. Nos cenários 3 e 4, a restrição ARM foi configurada considerando-se duas opções. A primeira opção estabeleceu um limite máximo de 50 ha (ARM50), ou seja, um grupo de talhões adjacentes apresentando uma área total conjunta limitada a 50 ha, e a segunda opção utilizou uma área máxima de 70 ha (ARM70). Diante do exposto, os resultados demonstraram que as restrições de adjacência reduzem o VPL e a produção volumétrica nos cenários 2, 3 e 4, contudo, estes cenários obtiveram sucesso no controle de corte de talhões adjacentes, o que impediu a formação de extensas áreas contíguas.

Banhara et al. (2010), avaliando o agendamento otimizado da colheita de madeira de eucalipto sob restrições operacionais, espaciais e climáticas, constataram que as técnicas de programação linear oferecem a possibilidade da integração de relevantes aspectos operacionais e ambientais que, geralmente, são considerados de forma incompleta nos métodos convencionais de planejamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

De acordo com Scolforo et al. (2008c), municípios com mais de 50 mil hectares de vegetação de cerrado *Sensu Stricto*, que têm alta vulnerabilidade natural e potencialidade social muito precária, são aptos ao manejo florestal sustentável, pois esta é uma prática alternativa que vai permitir a conservação da vegetação e o desenvolvimento social da região.

Assim, para o desenvolvimento deste trabalho foi selecionado um fragmento, situado no município de Varzelândia, MG, pois este apresenta alta vulnerabilidade natural e potencialidade social muito precária, além de alta densidade de indivíduos da espécie *Dimorphandra mollis* Benth. (fava-d'anta), o que poderá permitir uma renda maior aos produtores do entorno do fragmento pela comercialização de seu fruto.

O município de Varzelândia tem potencialidade social muito precária (Figura 2), ou seja, uma capacidade muito limitada de oferecer respostas aos investimentos realizados em áreas estratégicas ou setores específicos. Desse modo, necessita ser estimulado por políticas públicas e investimentos fortes nos setores básicos de desenvolvimento local (SCOLFORO; OLIVEIRA E CARVALHO, 2008).

A vegetação do fragmento a ser manejado neste município é um cerrado *Sensu Stricto* em regeneração média, com área de 240,97 ha e altitude média de 823 m, situado nas coordenadas UTM 598916 e 8263203, fuso 23. Seu clima predominante é o subúmido (C₂) que se caracteriza por temperaturas médias anuais próximas a 22 °C e índice pluviométrico anual de 1.256 mm (Figura 3). Tem como solo predominantes o Latossolo (Figura 4) e relevo plano a suave

ondulado, conforme ilustrado na Figura 5 (SCOLFORO; CARVALHO; OLIVEIRA, 2008; SCOLFORO et al.; 2008a).

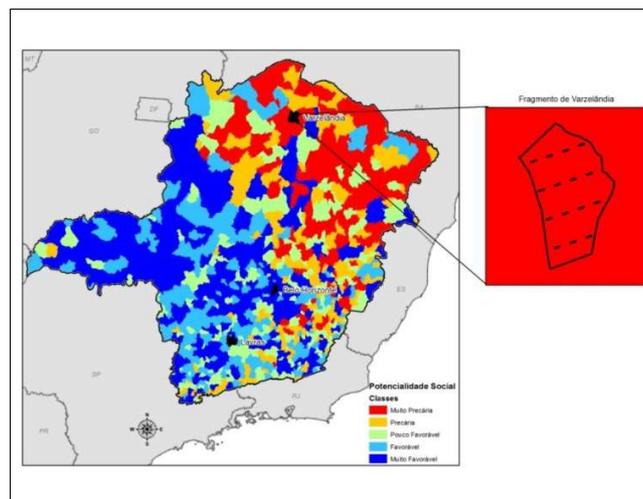


Figura 2 Carta de potencialidade social de Minas Gerais, evidenciando a área de estudo

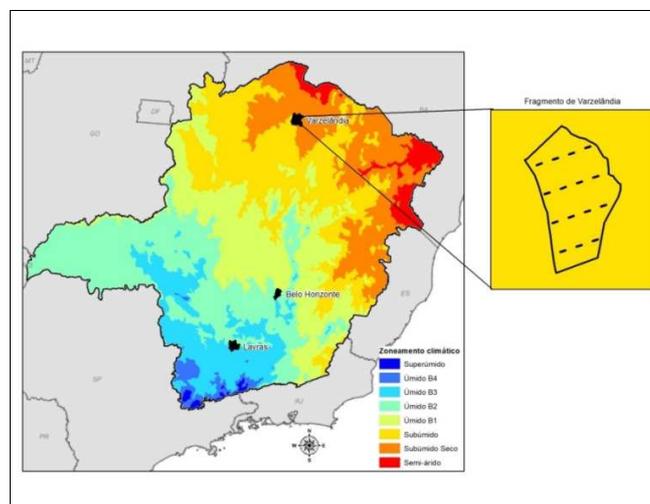


Figura 3 Mapa do zoneamento climático de Minas Gerais, evidenciando a área de estudo

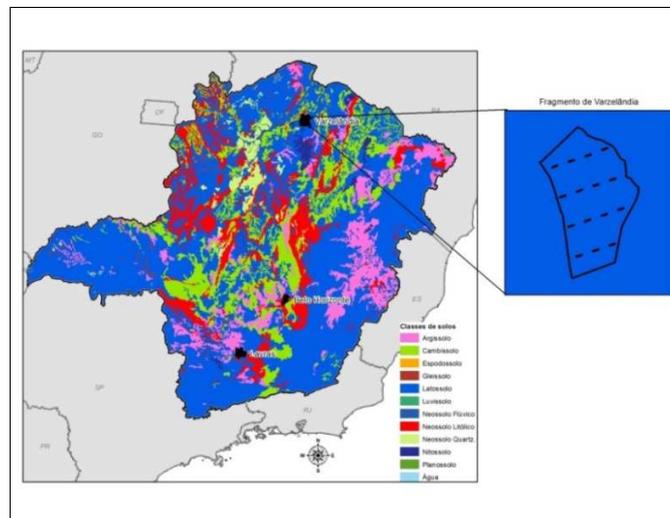


Figura 4 Mapa das classes de solo de Minas Gerais, evidenciando a área de estudo

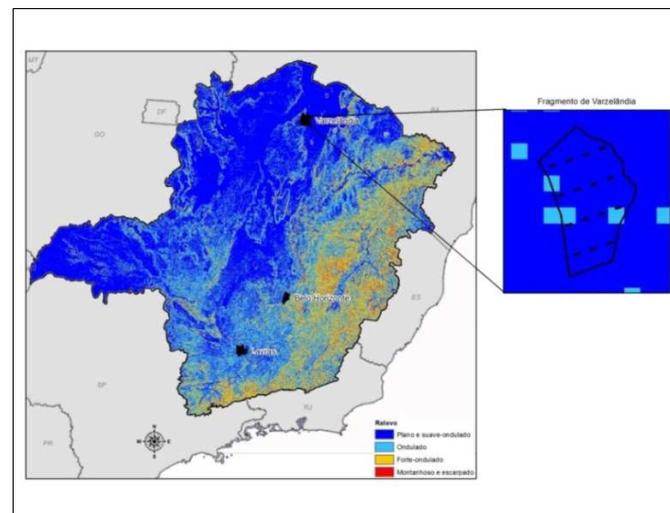


Figura 5 Mapa do relevo de Minas Gerais, evidenciando a área de estudo

4.2 Inventário florestal

O fragmento foi contornado com GPS, por caminhamento, com o objetivo de efetuar o reconhecimento da área e permitir a definição da localização exata da rede de parcelas. Assim, foram lançadas 15 parcelas de 10 m de largura por 100 m de comprimento, distribuídas sistematicamente na área e distantes 700 m entre si, sendo todas elas delimitadas por barbantes e georreferenciadas.

Em cada parcela foram medidas, em julho de 2006, a CAP (circunferência a 1,30 m de altura) e a altura de todos os indivíduos com CAP \geq 15,7 cm. A medição da circunferência foi efetuada com fita métrica posicionada perpendicularmente ao eixo da árvore. Já a altura foi medida utilizando-se vara telescópica, com precisão de 5 cm, em que a leitura foi sempre efetuada no nível de visada do observador, medindo-se desde a base da planta até a ponta mais distante de seus galhos, acompanhando o sentido do tronco.

Todos os indivíduos mensurados foram etiquetados com plaquetas de alumínio flexíveis, afixadas no local de medição da circunferência, permitindo que as medições futuras sejam efetuadas no mesmo lugar. Estes tiveram ainda seu material botânico coletado, para posterior identificação.

Em maio de 2010 realizou-se um novo inventário, em que todas as 15 parcelas do fragmento foram novamente mensuradas da mesma maneira que no primeiro inventário.

Foi realizada, ainda, uma entrevista com moradores das regiões do entorno do fragmento estudado, para se obter informações acerca da coleta e da comercialização dos frutos de fava-d'anta na região.

4.3 Estimativa do volume, biomassa e quantidade de carbono da parte aérea lenhosa

Para a quantificação do volume, da biomassa e do carbono, foram utilizadas as equações de Schumacher e Hall logaritmizadas, descritas por Scolforo, Oliveira e Acerbi Júnior (2008), ajustadas para as sub-bacias de Minas Gerais.

$$\ln(VT_{cc}) = -9,7028024901 + 2,4259114018 * \ln(Dap) + 0,4397619524 * \ln(H)$$

$$R^2 = 98,36\%$$

$$Syx = 0,12241m^3 \text{ ou } 32,93\%$$

$$\text{Média dos resíduos (E)} = 0,0048m^3$$

em que VT_{cc} é o volume total com casca até 3 cm de diâmetro em m^3 , DAP é o diâmetro (em cm) medido a 1,30 m de altura da planta, H é a altura total (em m) da planta e Ln é o logarítmo neperiano.

$$\ln(PS) = -10,2342711188 + 2,4593429847 * \ln(Dap) + 0,4107891746 * \ln(H)$$

$$R^2 = 97,07$$

$$Syx = 0,11299m^3 \text{ ou } 48,23\%$$

$$\text{Média dos resíduos (E)} = 0,00972m^3$$

em que PS é o peso de matéria (biomassa) seca da árvore até 3 cm de diâmetro com casca, DAP é o diâmetro (em cm) medido a 1,30 m de altura da planta, H é a altura total (em m) da planta e Ln é o logarítmo neperiano.

$$\ln(C) = -11,1279639766 + 2,381631480 * \ln(Dap) + 0,610683824 * \ln(H)$$

$$R^2 = 97,08$$

$$Syx = 38,63\%$$

$$\text{Média dos resíduos (E)} = -0,00254m^3$$

em que C é a quantidade de carbono (em t) presente na árvore até 3 cm de diâmetro com casca, e DAP, H e Ln já foram descritos anteriormente.

Assim, foi calculado o volume total para cada árvore mensurada na parcela, obtendo-se, assim, o volume médio por parcela, que foi extrapolado para o hectare. Os dados referentes ao inventário são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Estatística descritiva dos inventários realizados na área de estudo

	VTec (m ³ /ha)		PS (t/ha)		Carbono (t/ha)	
	2006	2010	2006	2010	2006	2010
Média	15,31	21,37	9,32	13,25	4,27	5,99
Variância	18,69	28,15	6,99	11,97	1,46	2,20
Desvio padrão	4,32	5,31	2,64	3,46	1,21	1,48
CV%	28,25	24,83	28,37	26,11	28,30	24,78
Erro padrão da média	1,12	1,37	0,68	0,89	0,31	0,38
IC	13,34	18,95	8,12	11,68	3,72	5,31
	17,27	23,78	10,52	14,83	4,82	6,66

4.4 Mapeamento da densidade (DA) e dominância absoluta (DoA) de fava-d'anta

Os dados para realizar o mapeamento da DA e DoA de fava-d'anta (*Dimorphandra mollis* Benth.) foram obtidos do Inventário Florestal de Minas Gerais - IFMG (SCOLFORO; MELLO; OLIVEIRA, 2008). Dos 67 fragmentos de Cerrado amostrados no IFMG, foram utilizados 53 fragmentos em que havia a presença da fava. Para estudar o comportamento da espécie no Bioma Cerrado, foram considerados o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP) e altura total (Ht) de todas as árvores dessa espécie, assim como a densidade, a dominância e a frequência, absolutas e relativas, nos fragmentos em que a mesma ocorreu. Indivíduos perfilados foram considerados como apenas um indivíduo neste estudo, atribuindo o diâmetro equivalente e a altura da maior bifurcação nestes casos.

Para avaliar o comportamento da distribuição espacial (em densidade e dominância) da espécie em áreas de vegetação de cerrado, foram elaborados mapas de krigagem. Para tal, utilizaram-se o modelo tipo esférico e o programa ArcGIS.

4.5 Prognose do crescimento e da produção

Para a realização da prognose do crescimento e da produção da área estudada, foi utilizado o método da Cadeia de Markov ou Matriz de transição. A prognose a partir deste método é feita por meio da estimativa da probabilidade de transição dos diâmetros entre as classes diamétricas, ou seja, projetá-los para o futuro a partir da matriz de probabilidade de transição.

A probabilidade de transição de cada período de projeção foi obtida da matriz G, representada a seguir.

$$G = \begin{matrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ i_n \end{matrix} \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & 0 & c_5 & b_5 & a_5 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \end{bmatrix}$$

em que

i_n = classes de diâmetro

$$a_i = \frac{\text{número de árvores vivas que permaneceram na } i\text{-ésima classe de diâmetro no período de tempo } (\Delta t)}{\text{número de árvores existentes na } i\text{-ésima classe de diâmetro no tempo } t}$$

$$b_i = \frac{\text{número de árvores vivas que migraram da } i\text{-ésima classe de diâmetro para a } i\text{-ésima classe de diâmetro}+1 \text{ no período de tempo } (\Delta t)}{\text{número de árvores existentes na } i\text{-ésima classe de diâmetro no tempo } t}$$

$$c_i = \frac{\text{número de árvores vivas que migraram da } i\text{-ésima classe de diâmetro para a } i\text{-ésima classe de diâmetro}+2 \text{ no período de tempo } (\Delta t)}{\text{número de árvores existentes na } i\text{-ésima classe de diâmetro no tempo } t}$$

em que

t = início do período de crescimento considerado;

Δt = intervalo de tempo entre o início e o fim do período de crescimento considerado.

Para a_i , b_i e c_i , a condição é que a árvore continue viva e não seja colhida no intervalo de tempo considerado.

Foi considerado também que, em qualquer vegetação, ocorre mortalidade de árvores (m_i), assim como recrutamento ou ingresso (I_i), principalmente nas menores classes diamétricas. A probabilidade de ocorrência de mortalidade foi obtida por

$$m_i = \frac{\text{mortalidade no intervalo de tempo } \Delta t}{\text{número de árvores existentes na } i\text{-ésima classe de diâmetro no tempo } t}$$

Já o recrutamento foi quantificado na segunda medição, entretanto, este pode ou não ser representado por um modelo. E a projeção da estrutura da floresta foi conforme descrito por Buongiorno e Michie (1980) e Pulz et al. (1999), como segue.

$$Y_{t+\Delta t} = G * Y_{it} + I_{it} + M_{it} \quad (1)$$

em que

$Y_{t+\Delta t}$ = número de árvores projetadas;

G = probabilidade de transição por classe diamétrica;

Y_{it} = frequência da classe de diâmetro;

I_{it} = recrutamento ou ingresso.

A forma matricial da expressão (1) é

$$\begin{bmatrix} Y_{1t+\Delta t} \\ Y_{2t+\Delta t} \\ Y_{3t+\Delta t} \\ \vdots \\ \vdots \\ Y_{nt+\Delta t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \\ \vdots \\ \vdots \\ Y_{nt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_{1t} \\ I_{2t} \\ I_{3t} \\ \vdots \\ \vdots \\ I_{nt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M_{1t} \\ M_{2t} \\ M_{3t} \\ \vdots \\ \vdots \\ M_{nt} \end{bmatrix}$$

Deve-se destacar que, como foi efetuada a projeção da estrutura da floresta para dois períodos de tempo, então, a expressão (1) evoluiu para a forma

$$Y_2 * \Delta t = G_2 * Y_0 + G * I_{i1} + I_{i2}$$

Generalizando, então, a expressão (1), obtém-se

$$Y_n * \Delta t = G^n * Y_0 + \sum_{i=0}^{n-1} G^i * I_{n-1}$$

em que

n = períodos de prognose;

Y , Δt , G , Y_0 , I = já definidos anteriormente.

Assim, foi feita uma matriz de transição para cada uma das espécies de maior densidade encontradas na área e para os grupos não identificados, pioneiras e secundárias, acrescentando-se a elas os recrutamentos (ingressos) e

diminuindo-se a mortalidade. Foram utilizados para tal os dados oriundos dos inventários realizados em 2006 e 2010.

4.6 Talhonamento e construção das faixas de exploração

No fragmento estudado não foram identificadas áreas proibidas de corte como áreas de preservação permanente e, como ele tem área pequena, a reserva legal foi considerada como sendo em área adjacente ao mesmo.

Uma estrada foi alocada no sentido do maior comprimento do fragmento, com com 6 m de largura e área igual a 1,20 ha. Em seguida, o talhonamento foi realizado, utilizando-se o método de controle por área, alocando-se, assim, 14 talhões com área variando entre 15 e 20 há, sendo a área de efetivo manejo igual a 239,76 ha.

Na sequência foram geradas as faixas de exploração, considerando a largura máxima igual a 50 m, o que facilitará a regeneração da área explorada e as operações de campo. O mapa final para a realização do planejamento das operações e a geração das alternativas de manejo encontra-se na Figura 6.

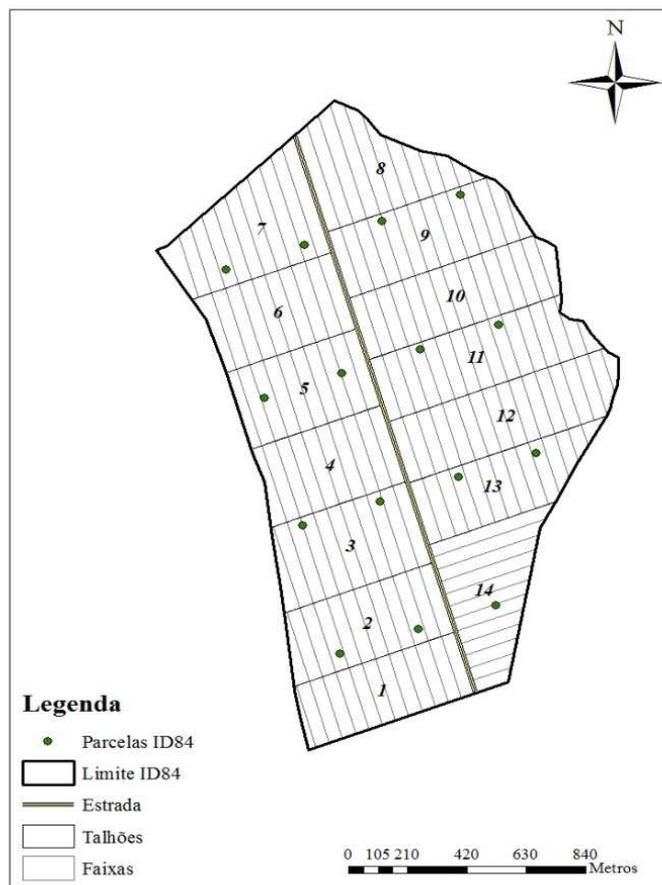


Figura 6 Mapa do fragmento com os talhões e suas respectivas faixas demarcadas

4.7 Formulação matemática para o manejo do cerrado

Na geração das alternativas de manejo para os talhões, foi considerado, para a vegetação da área de estudo, o manejo em talhadia com faixas alternadas, com intervenção máxima em volume de 50% na área total, sendo que as faixas remanescentes intercalam as faixas exploradas, sempre em dimensão igual ou superior às mesmas, propiciando a regeneração das faixas exploradas até o próximo ciclo de exploração.

O ciclo de corte considerado foi igual a 7 anos, em um horizonte de planejamento de 14 anos. Assim, foram gerados 9 cenários distintos para a exploração da madeira para carvão e produção de vagem de fava-d'anta. São eles:

Cenário 1 – considera o corte de todas as árvores da faixa, com exceção das proibidas de corte, sendo as faixas pares exploradas no primeiro ciclo e as ímpares no segundo ou vice-versa;

Cenário 2 – considera o corte de todas as árvores da faixa, com exceção das proibidas de corte e das árvores de fava-d'anta, sendo as faixas pares exploradas no primeiro ciclo e as ímpares no segundo ou vice-versa, e a coleta do fruto da fava realizada em toda área;

Cenário 3 - considera o corte de todas as árvores da faixa, com exceção das proibidas de corte, sendo as faixas pares exploradas no primeiro ciclo e as ímpares no segundo ou vice-versa, e a coleta do fruto da fava realizada nas faixas contrárias as exploradas;

Cenário 4 – semelhante ao cenário 2, entretanto, considerando uma produção de vagem 25% menor;

Cenário 5 – semelhante ao cenário 3, entretanto, considerando uma produção de vagem 25% menor;

Cenário 6 – semelhante ao cenário 2, entretanto, considerando uma produção de vagem 50% menor;

Cenário 7 – semelhante ao cenário 3, entretanto, considerando uma produção de vagem 50% menor;

Cenário 8 – semelhante ao cenário 2, entretanto, considerando uma produção de vagem 75% menor;

Cenário 9 – semelhante ao cenário 3, entretanto, considerando uma produção de vagem 75% menor.

Alguns cenários foram considerados apenas para verificar a viabilidade do extrativismo da fava-d'anta. O esquema de cada cenário fica mais bem descrito na Tabela 2, mas faz-se necessário ressaltar, ainda, que apenas uma alternativa de manejo será escolhida para cada talhão em cada cenário.

Assim, a formulação matemática utilizada no estudo corresponde ao modelo I, conforme definido por Johnson e Scherman (1977). Devido à necessidade de corte integral de cada faixa, e não parcialmente, foi utilizada a programação linear inteira, cuja variável de decisão assume valores binários {0, 1} e que garante a integridade de uso de apenas uma única variável de decisão (alternativa de manejo).

Tabela 2 Geração da árvore de manejo para a exploração do talhão 1, para os diferentes cenários (os cenários 4, 6 e 8, e 5, 7 e 9 têm a mesma configuração dos cenários 2 e 3, respectivamente) (“...continua...”)

C	Talhão	A.M	Horizonte de planejamento (anos)															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1	1	1	P									I						
		2		P									I					
		3			P									I				
		4				P									I			
		5					P									I		
		6						P									I	
		7							P									I
		8	I								P							
		9		I								P						
		10			I								P					
		11				I								P				
		12					I								P			
		13														P		
		14									I							P
2	1	1	P+CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	I+CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF		
		2		P+CF	CF	I+CF	CF	CF	CF	CF	CF							
		3			P+CF	CF	I+CF	CF	CF	CF	CF							
		4				P+CF	CF	I+CF	CF	CF	CF							
		5					P+CF	CF	I+CF	CF	CF							
		6						P+CF	CF	I+CF	CF							
		7							P+CF	CF	I+CF							
		8	I+CF	CF	P+CF	CF												
		9		I+CF	CF	P+CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF						
		10			I+CF	CF	P+CF	CF	CF	CF	CF	CF						
		11				I+CF	CF	P+CF	CF	CF	CF	CF						
		12					I+CF	CF	P+CF	CF	CF	CF						
		13						I+CF	CF	P+CF	CF							
		14							I+CF	CF	P+CF							

Continua...

3	1	1	P+CI	CI	CI	CI	CI	CI	CI	I									
		2		P+CI	CI	CI	CI	CI	CI	CI	I								
		3			P+CI	CI	CI	CI	CI	CI	CI	I							
		4				P+CI	CI	CI	CI	CI	CI	CI	I						
		5					P+CI	CI	CI	CI	CI	CI	CI	I					
		6						P+CI	CI	CI	CI	CI	CI	CI	I				
		7							P+CI	CI	CI	CI	CI	CI	CI	I			
		8	I+CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	P								
		9		I+CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	P							
		10			I+CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	P						
		11				I+CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	P						
		12					I+CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	P					
		13						I+CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	P			
		14							I+CP	CP	P								

(C = cenários; A.M. = alternativa de manejo; P = exploração de madeira das faixas pares; I = exploração de madeira das exploração das faixas ímpares; CF = coleta de vagem de fava-d'anta em toda a área; CP = coleta de vagem da fava-d'anta nas faixas pares; CI = coleta de vagem de fava-d'anta nas faixas ímpares).

Dessa maneira, a formulação matemática será composta pela seguinte estrutura: (2) função objetivo dimensionada para maximizar o valor presente líquido (VPL) da área; (3) restrição de integridade das unidades de manejo; (4) e (5) restrições de controle de fluxo de produção volumétrica; (6) e (7) restrições de controle de área a ser explorada; (8) e (9) restrições de produção de vagem de fava-d'anta; (10) restrições binárias das variáveis de decisão do modelo, sendo as mesmas utilizadas de acordo com cada cenário pré-estabelecido.

$$\text{Função objetivo: maximizar } \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^P VPL_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^P x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^P v_{ijT} x_{ij} \geq L_{inferior} \quad T = 1, 2, \dots, HP \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^P v_{ijT} x_{ij} \geq L_{superior} \quad T = 1, 2, \dots, HP \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^P a_{ijT} x_{ij} \geq L_{inferior} \quad T = 1, 2, \dots, HP \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^P a_{ijT} x_{ij} \geq L_{superior} \quad T = 1, 2, \dots, HP \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^P f_{ijT} x_{ij} \geq L_{inferior} \quad T = 1, 2, \dots, HP \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^P f_{ijT} x_{ij} \geq L_{superior} \quad T = 1, 2, \dots, HP \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall_i, \forall_j \quad (10)$$

As constantes são:

M – número total de talhões manejados;

P – número total de alternativas de manejo;

x_{ij} – variável bionária (0/1) de decisão do modelo, referente ao talhão i e à alternativa de manejo j ;

VPL_{ij} – valor presente líquido referente ao talhão i segundo a alternativa de manejo j ;

a_{ij} - área total, em hectares, explorada no período T do horizonte de planejamento referente ao talhão i e à alternativa de manejo j ;

v_{ij} - volume total, em m^3 , explorado no período T do horizonte de planejamento referente ao talhão i e à alternativa de manejo j ;

f_{ij} – produção de vagem de fava-d'anta, em kg, coletado na área no período T do horizonte de planejamento referente ao talhão i e à alternativa de manejo j .

T – período total de tempo de planejamento, em anos;

K – talhão número.

Os ajustes do modelo matemático (Anexo I) foram realizados no software *Language for Interactive General Optimizer*, LINGO 14.1, versão acadêmica e o algoritmo utilizado como método de ajuste foi o *Baunch-and-Bound* (B & B), que utiliza uma estratégia de divisão e conquista para problemas de natureza inteira.

4.8 Análise econômica

Para cada cenário, cada talhão e suas respectivas alternativas de manejo tiveram o Valor Presente Líquido (VPL) calculados. O VPL é o valor das receitas menos o valor dos custos, descapitalizados para o ano zero. Por isso, quanto maior o seu valor, mais viável economicamente será o projeto analisado.

Devido à grande dificuldade de encontrar empresas especializadas na produção de carvão vegetal originada de madeira nativa e, também, porque pequenas empresas ou pessoas físicas deste negócio dificilmente cumprem integralmente a legislação trabalhista e tributária, os dados utilizados para o cálculo do VPL foram os apresentados por Oliveira (2006) e Silva et al. (2011), acrescidos de um fator de correção que levou em consideração o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que é o medidor oficial de inflação no Brasil (Tabela 3).

Tabela 3 Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA)

<i>Ano</i>	<i>IPCA</i>	<i>Fator</i>
2006	3,14	1,0314
2007	4,46	1,0446
2008	5,9	1,059
2009	4,31	1,0431
2010	5,91	1,0591
2011	6,5	1,065
2012	5,84	1,0584
2013	5,91	1,0591
2014	3,75	1,0375

Fonte: IBGE (2014)

O fator de correção foi calculado multiplicando-se os fatores relacionados ao IPCA dos anos de 2006 até 2014. Assim,

$$F_c = 1,0314 * 1,0446 * \dots * 1,0375 = \mathbf{1,561207}$$

Como custo anual da terra consideraram-se os juros sobre o seu valor que, na região de estudo, situa-se em torno de R\$3.000,00 por hectare, conforme anúncios de venda de terra na região. A taxa de juros utilizada foi igual a 4% ao ano, que é a taxa real de juros, ou seja, descontando a inflação anual (IBGE,

2014), e o valor de venda da madeira igual a R\$90,00/mdc (CIFLORESTA, 2014).

Por outro lado, em relação à produção de frutos de *Dimorphandra mollis* Benth., considerou-se que o manejador paga aos coletores um valor igual a R\$0,80 e vende para a cooperativa por R\$1,00/kg de fava seca, o que corresponde a uma receita de R\$0,20/kg de fava seca. Assim, os custos de produção utilizados neste estudo são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Custo de produção de carvão vegetal originado da vegetação do cerrado no norte de Minas Gerais, corrigido pelo fator de correção

Itens	Unidade	Ano de ocorrência	Valor (R\$)
Implantação			
Levantamento topográfico	(R\$/ha)	0	6,24
Inventário e elaboração do plano de manejo	(R\$/ha)	0	23,42
Abertura de estradas e aceiros	(R\$/ha)	0	84,31
Colheita			
Manutenção de estrada e aceiros	(R\$/ha)	Anos de corte	16,60
Corte, desgalha, picação e embandeiramento	(R\$/m ³)	Anos de corte	10,30
Extração da madeira (baldeio)	(R\$/m ³)	Anos de corte	3,43
Transporte da madeira até a carvoaria	(R\$/m ³)	Anos de corte	6,87
Carbonização	(R\$/mdc)	Anos de corte	12,49
Frete carvão até usina	(R\$/mdc)	Anos de corte	22,64
Custo da terra			
Valor da terra	(R\$/ha)	-	3000,00
Custo da terra – (i = 4% a.a.) - [3000,00 x i]	(R\$/ha)	Anual	120,00

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Distribuição da fava-d'anta em Minas Gerais

Para facilitar o extrativismo das vagens de fava-d'anta, o viável são áreas onde ocorram uma elevada presença da espécie (em N/ha ou m²/ha). Assim, foram gerados mapas de krigagem para a fava-d'anta em Minas Gerais. O modelo utilizado para representar a semivariância se ajustou bem aos dados, gerando os coeficientes para efeito pepita, alcance e contribuição de 93,016 N.ha⁻²; 224.135 m; 160,56 N.ha⁻² para DA e 0,00525 m⁴; 240 m; 0,00315 m⁴ para DoA. Estes valores conferem um grau de dependência espacial de 63,3% e 37,6%, para a DA e DoA, respectivamente, indicando que as variáveis têm característica moderadamente estruturada no espaço.

Os valores obtidos do ajuste do modelo esférico foram utilizados para gerar os mapas de krigagem que são apresentados na Figura 7 e mostram o comportamento da densidade absoluta (DA) e da dominância absoluta (DoA). Nota-se que a fava-d'anta distribui-se por grande parte do território mineiro, desde a região central, passando pelo norte e noroeste do estado. Entretanto, as áreas de maior concentração de fava-d'anta são situadas na região de Montes Claros (encontro das sub-bacias do Rio São Francisco SF6, SF9 e SF10), no centro-norte de Minas Gerais, sendo, portanto, as de maior potencial para a aplicação de programas de extrativismo em Minas Gerais. No entanto, para um mapeamento mais definitivo da distribuição da espécie no estado, uma grade sistemática de parcelas (como a que está sendo empregada no Inventário Florestal Nacional) deve ser adicionada na base de dados atual de estudo, por permitir uma amostragem espacial de maior abrangência.

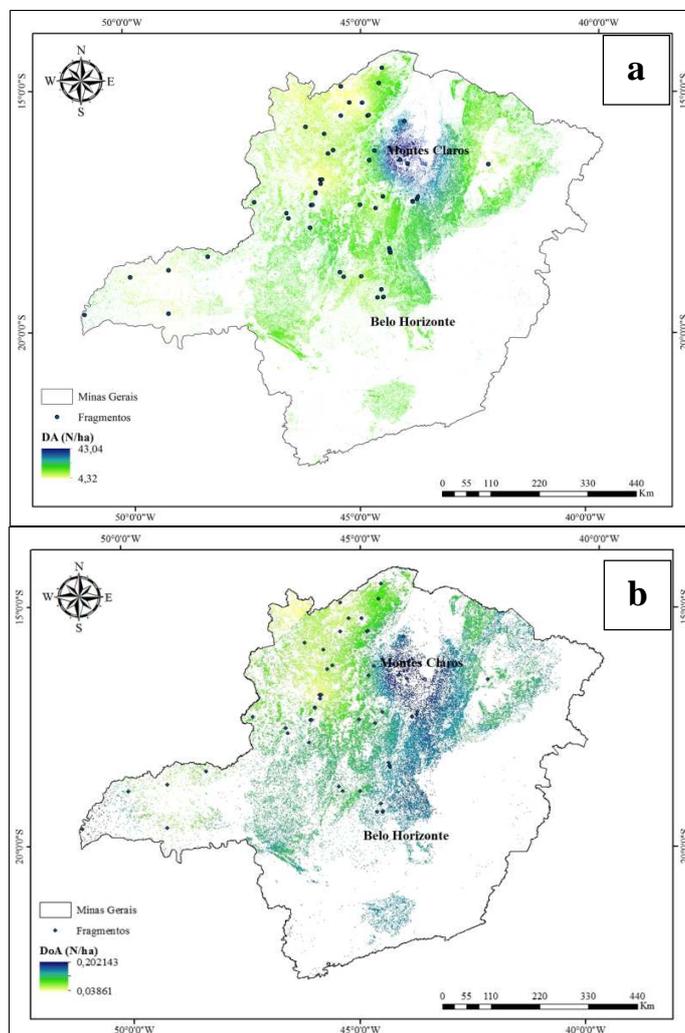


Figura 7 Mapas de krigagem representando a densidade absoluta (a, N/ha) e a dominância absoluta (b, m²/ha) de indivíduos de fava-d'anta no bioma Cerrado no estado de Minas Gerais

5.2 Prognose

Como a vegetação de Cerrado *Sensu Stricto* apresenta alta variabilidade e existe a preocupação em não se explorar a madeira de espécies proibidas de

corte e da fava-d'anta, foi feita uma matriz de transição para cada uma das 14 espécies de maior densidade encontradas na área. São elas: *Astronium fraxinifolium* Schott ex Spreng., *Caryocar brasiliense* Cambess., *Dimorphandra mollis* Benth., *Eriotheca pubescens* (Mart. & Zucc.) Schott & Endl., *Eugenia dysenterica* DC., *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne, *Lafoensia vandelliana* Cham. & Schltdl., *Machaerium opacum* Vogel, *Magonia pubescens* A.St.-Hil., *Plathymenia reticulata* Benth., *Qualea grandiflora* Mart., *Qualea parviflora* Mart., *Terminalia fagifolia* Mart. e *Vatairea macrocarpa* (Benth.) Ducke., e também outras três matrizes para as demais espécies, separadas nos grupos não identificadas, pioneiras e secundárias. Assim, foi possível fazer a prognose do número de indivíduos e do volume para cada uma dessas espécies e grupos.

Para a realização da prognose foram utilizados os dados oriundos dos inventários realizados em 2006 e 2010, considerando um intervalo de medição de 3,83 anos. Dessa maneira, na Tabela 5 apresenta-se a prognose volumétrica e do número de indivíduos para cada uma das espécies e grupos, para 4 ciclos de 3,83 anos, sendo considerados como valor atual os dados da última medição realizada (Inventário Florestal de 2010).

Nesta tabela pode-se observar que o pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess.) foi a única espécie que teve decréscimo do número de indivíduos, pois esta apresenta mortalidade de 0,67 ind./ha e não tem incremento (recrutamento). Tal fato pode estar ocorrendo por esta ser uma espécie sujeita ao extrativismo e seus frutos podem estar sendo colhidos em grande quantidade, atrapalhando, assim, a sua regeneração natural.

Observa-se, ainda, na Tabela 5, um incremento médio de 14% em número de indivíduos, e de 26% no volume, quando se leva em consideração o ano anterior. Entretanto, esse incremento tende a diminuir ao longo do tempo.

Tabela 5 Prognose do número de indivíduos e do volume para a área de estudo.

Espécie/Grupo	Número de indivíduos/ha					Volume (m³/ha)				
	Atual	3,83 anos	7,66 anos	11,49 anos	15,32 anos	Atual	3,83 anos	7,66 anos	11,49 anos	15,32 anos
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	22,0	24,5	27,0	29,5	32,0	0,4242	0,5482	0,6556	0,7616	0,8660
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	22,0	21,8	21,5	21,1	20,6	2,1944	2,2360	2,6926	3,1275	3,5710
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	30,0	31,8	33,6	35,3	37,0	0,5844	0,7494	0,8913	1,0329	1,1695
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.	30,0	31,8	33,6	35,3	37,1	0,8088	1,0523	1,2595	1,4906	1,7460
<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	61,3	61,9	62,5	63,1	63,6	1,3120	1,9246	2,7933	3,7407	4,7047
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	41,3	43,9	46,4	48,9	51,4	0,9869	1,3731	1,6849	1,9510	2,1673
<i>Lafoensia vandelliana</i> Cham. & Schltldl.	42,0	43,0	44,0	44,9	45,9	0,7984	0,9956	1,1981	1,4143	1,6391
<i>Machaerium opacum</i> Vogel	48,7	50,0	51,2	52,4	53,6	1,0844	1,3428	1,6064	1,8732	2,1281
<i>Magonia pubescens</i> A.St.-Hil.	68,0	72,8	77,6	82,4	87,2	1,2208	1,5181	1,8370	2,1855	2,5597
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	24,0	23,6	23,1	22,5	21,9	1,0572	1,1535	1,2286	1,2976	1,3604
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	132,0	140,7	149,4	158,1	166,8	2,3138	3,1973	3,8750	4,6180	5,4257
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	87,3	90,2	93,1	96,1	99,1	1,5278	1,7857	2,1174	2,4839	2,8701
<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.	28,0	28,7	29,3	30,0	30,7	1,2653	1,5464	1,8109	2,0933	2,3917
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	41,3	45,4	49,4	53,5	57,5	0,8099	1,0278	1,2588	1,5076	1,7753
Não identificadas	139,3	248,0	356,7	465,3	574,0	1,6852	3,4415	5,5090	8,0959	11,2061
Pioneiras	124,7	142,3	159,6	176,8	194,1	3,1040	3,9827	5,0777	6,3389	7,7584
Secundárias	14,7	18,7	22,8	26,8	30,8	0,1919	0,3140	0,4304	0,5549	0,6858
TOTAL	956,7	1119,0	1280,6	1442,0	1603,3	21,3693	28,1891	35,9265	44,5674	54,0250
Incremento (%)		17,0	14,4	12,6	11,2		31,9	27,4	24,1	21,2

O método da matriz de transição realiza a projeção da estrutura da vegetação somente em intervalos múltiplos do período equivalente entre as duas medições utilizadas, conforme descrito por Bruner e Moser Jr. (1973). Assim, a projeção efetuada a partir dos inventários de julho de 2006 e maio de 2010 só possibilita conhecer a estimativa da produção para o mesmo intervalo de tempo. A fim de sanar este problema, pois o horizonte de planejamento para o manejo sustentável do fragmento é de 14 anos, foi realizada a raiz das matrizes, para se obter o volume dos anos entre o intervalo de tempo (BUONGIORNO; MICHIE, 1980).

Assim, o volume médio por hectare para os 14 anos de horizonte de planejamento é apresentado na Tabela 6, salientando-se que, destes volumes, estão excluídas as espécies proibidas de corte. A mesma Tabela mostra ainda o incremento em volume ao longo dos anos, em relação aos dados atuais (Inventário Florestal de 2010).

Observando-se a Tabela 6 percebe-se que o volume, tanto com fava-d'anta quanto sem, apresenta, dez anos depois da última medição, um incremento de aproximadamente 100%, ou seja, seu volume dobra. E em 14 anos, o volume atinge, aproximadamente, 147%

Estes dados corroboram os encontrados por Scolforo et al. (2000) e Oliveira (2006), avaliando o crescimento de um cerrado *Sensu Stricto* após diferentes níveis de intervenção. Estes autores encontraram, para o tratamento testemunha (sem nenhuma intervenção), que o volume (m^3/ha) dobrou, dez anos após a instalação do experimento. Cabe ressaltar que o crescimento do volume nessas condições apenas ocorrerá se não houver intervenção na área, como gado, fogo ou antropismo.

Tabela 6 Volumes interpolados para os 14 anos do horizonte de planejamento (sem as espécies proibidas de corte) e seu incremento em relação ao volume do inventário realizado em 2010

Anos	Com fava-d'anta		Sem fava-d'anta	
	Volume (m ³ /ha)	Incremento (%)	Volume (m ³ /ha)	Incremento (%)
0 (atual)	19,1332		18,5488	
1	20,8896	9,2	20,2522	9,2
2	22,5764	18,0	21,8985	18,1
3	24,2631	26,8	23,5449	26,9
4	25,6097	33,8	25,0021	34,8
5	28,0257	46,5	27,2318	46,8
6	29,7902	55,7	28,9570	56,1
7	31,5548	64,9	30,6822	65,4
8	32,7194	71,0	31,8208	71,6
9	36,1069	88,7	35,1630	89,6
10	37,9852	98,5	37,0026	99,5
11	40,7837	113,2	39,7438	114,3
12	43,0181	124,8	41,9689	126,3
13	45,0027	135,2	43,9158	136,8
14	46,9873	145,6	45,8627	147,3

5.3 Utilização de frutos de *Dimorphandra mollis* Benth.

De acordo com moradores de comunidades próximas à área de estudo, uma árvore média de *D. mollis* produz, aproximadamente, 18 kg de fava (vagem) seca, entretanto, existe certa sazonalidade, de maneira que em um ano produz mais e em outro menos, devido a fatores climáticos, como pluviosidade e/ou mortalidade, além de não haver demanda da indústria farmacêutica todo ano. Entretanto, as vagens secas podem ficar estocadas de um ano para outro, se conservadas em local seco e ao abrigo da luz. Gomes (1998), ao entrevistar extrativistas de fava-d'anta no Norte de Minas, encontrou respostas semelhantes.

A partir da prognose do número de indivíduos para a espécie e sua produtividade média, foi possível calcular a produtividade média por hectare para os 14 anos do horizonte de planejamento, conforme Tabela 7. Esta tabela apresenta o número de indivíduos por hectare para cada ano do horizonte de planejamento e a respectiva produtividade em kg de fava/ha.

Observa-se, na Tabela 7, uma produção crescente ao longo do horizonte de planejamento, entretanto, não se sabe o comportamento da espécie em termos de produção de fava, após a sua exploração madeireira, ou seja, quanto tempo uma árvore jovem demora para produzir frutos. Assim, para a composição dos cenários de exploração, consideraram-se apenas árvores que não foram exploradas.

Tabela 7 Produtividade média por hectare para vagens de fava-d'anta (*Dimorphandra mollis* Benth.)

Anos	Número Ind./ha	Produtividade média (kg/ha)
0 (atual)	30,0	540,00
1	30,5	548,46
2	30,9	556,92
3	31,4	565,38
4	31,8	572,40
5	32,3	582,30
6	32,8	590,76
7	33,3	599,22
8	33,6	604,80
9	34,2	614,73
10	34,6	623,03
11	35,3	635,40
12	35,5	638,69
13	35,9	646,92
14	36,4	655,14

Ainda segundo os moradores, os frutos (ou vagens/fava) de *D. mollis* (fava-d'anta) são comercializados na região da área de estudo por uma cadeia de comercialização altamente assimétrica na distribuição de renda entre os envolvidos, sendo os coletores os menos beneficiados. Eles coletam a fava em torno de suas propriedades durante o dia e vendem para um comerciante local por R\$0,30/kg de vagem verde ou R\$0,50/kg de vagem seca, que é repassada para uma cooperativa regional pelo valor de R\$1,50/kg seca. Esta última vende para a indústria farmacêutica por R\$2,00 a R\$4,00/kg seca.

Autores como Gomes (1998), Nunes et al. (2012) e Silva (2014), avaliando a cadeia de comercialização da fava-d'anta no norte de Minas Gerais e no Ceará, encontraram resultados semelhantes, fortalecendo, assim, a ideia de que novas estratégias devem ser alcançadas para favorecer sobremaneira a parte mais fraca dessa cadeia, que são os coletores de fava.

Gomes (1998) e Gomes; Gomes e Jesus (2010) sugeriram que áreas utilizadas para a exploração madeireira possam ser viabilizadas por meio do manejo florestal sustentável, adotando práticas que possibilitem a comunidade retirar subsídios, tanto econômicos como para subsistência.

5.4 Planejamento de uso múltiplo do cerrado

Após o processamento dos nove cenários, verificou-se que o Cenário 1, no qual não foram aplicadas as restrições de produção de vagem de fava-d'anta, apresentou 71 restrições ligadas ao modelo, enquanto os demais cenários, nos quais foram aplicadas as restrições de produção de fava-d'anta, apresentaram um número de restrições igual a 99. Como os cenários têm o mesmo número de talhões (14) e a mesma quantidade de alternativas de manejo (14), todos apresentaram o mesmo número de variáveis de decisão, que foi igual a 196. E o tempo gasto para o ajuste do modelo em cada cenário foi inferior a 1 minuto (Tabela 8).

Ainda na Tabela 8 verifica-se que o número de interações variou de acordo com a complexidade do cenário, tendo os cenários que apresentaram o menor número de interações (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9) sido aqueles que têm a restrição de produção de vagens de fava-d'anta, sendo que quanto maior foi a produção de fava ao longo do horizonte de planejamento, menor foi o número de iterações necessárias para ajustar o modelo.

Tabela 8 Resumo dos resultados do processamento para cada cenário avaliado

Cenário	Variável de decisão	Restrições	Iterações	Tempo
1	196	71	1.972	0'00''
2	196	99	176	0'00''
3	196	99	1.944	0'00''
4	196	99	180	0'00''
5	196	99	1.217	0'00''
6	196	99	331	0'00''
7	196	99	1.126	0'00''
8	196	99	841	0'00''
9	196	99	805	0'00''

Haddad (2014), verificando as restrições de controle de área a ser explorada e de fluxo de produção volumétrica em fragmento de cerrado *Sensu Stricto*, verificou que, quando adicionada a restrição de fluxo constante (*even flow*) em volume ou em área, o cenário avaliado não apresentava solução factível e o número de interações era muito maior que os demais cenários, confirmando, assim, que quanto maior a complexidade do modelo, maior o número de interações necessárias para a sua solução.

Quanto à função objetivo do modelo, observou-se que todos os cenários apresentaram solução factível, ou seja, todos os cenários apresentaram uma solução que maximizasse o VPL. Estes valores variaram de R\$291.327,55 a

R\$539.797,32, o que corresponde aos cenários 1 e 2, respectivamente (Tabela 9). Pode-se observar, também, que todos os cenários avaliados são economicamente viáveis sob as condições de custos e receitas aplicadas neste trabalho, pois apresentaram VPL positivo.

Ainda na Tabela 9, ao avaliar os dados de área, volume e fruto de fava-d'anta explorados, verificou-se que os cenários 2, 4, 6 e 8 apresentam um menor volume explorado, com valores variando entre 7.657,56 e 7.759,39 m³ e os cenários 1, 3, 5, 7 e 9, um maior volume explorado, com valores variando entre 8.056,06 e 8.146,77m³.

Os cenários que exploraram um volume menor (2, 4, 6 e 8) produziram maior quantidade de frutos de fava-d'anta, quando comparados aos cenários de maior volume explorado (1, 3, 5, 7 e 9). Os valores de produtividade de fava-d'anta variaram entre 233.021,03 e 948.865,67 kg, para os cenários 2, 4, 6 e 8, e entre 139.893,81 e 559.160,62 kg, para os demais.

A partir da análise desses dados, verificou-se que, mesmo que o cenário 2 explore um volume menor e que os índices de produtividade de fava-d'anta sejam menores que a média (25%, 50% e 75% menores – cenários 4, 6 e 8, respectivamente), ainda assim é viável aliar a exploração de madeira e o extrativismo da fava-d'anta, quando se tem uma extração do fruto durante todos os anos de seu horizonte de planejamento.

Tabela 9 Alternativa de manejo selecionada para cada talhão em cada cenário avaliado, com seus respectivos valores de área explorada (ha), volume explorado (m³) e produtividade de fava-d'anta (kg) e VPL (R\$), para cada ciclo de corte (“...continua...”)

CENÁ- RIOS	TALHÃO	A.M.	ANO		FAIXAS		ÁREA EXPLORADA (ha)			VOLUME EXPLORADO (m ³)			PRODUTIVIDADE DE FAVA-D'ANTA (kg)			VPL (R\$)
			C1	C2	C1	C2	C1	C2	TOTAL	C1	C2	TOTAL	C1	C2	TOTAL	
1	1	9	2	9	I	P	7,97	7,48	15,45	179,98	270,13	450,11	-	-	-	16975,59
	2	8	1	8	I	P	8,39	7,93	16,32	220,75	327,63	548,38	-	-	-	16257,45
	3	14	7	14	I	P	9,38	8,23	17,61	296,01	386,69	682,69	-	-	-	24081,05
	4	10	3	10	I	P	7,79	7,43	15,22	188,96	282,29	471,25	-	-	-	17551,32
	5	11	4	11	I	P	7,81	7,41	15,23	200,04	302,38	502,42	-	-	-	18524,38
	6	11	4	11	I	P	7,83	7,73	15,57	200,62	315,43	516,05	-	-	-	18941,42
	7	14	7	14	I	P	10,87	8,71	19,58	342,99	409,48	752,47	-	-	-	26780,52
	8	8	1	8	I	P	8,89	7,96	16,84	185,68	260,31	445,99	-	-	-	16781,07
	9	12	5	12	I	P	9,33	8,67	18,00	261,40	372,93	634,33	-	-	-	23396,77
	10	9	2	9	I	P	9,77	8,73	18,50	220,52	315,15	535,68	-	-	-	20318,21
	11	13	6	13	I	P	10,07	9,98	20,04	299,90	448,91	748,81	-	-	-	26799,82
	12	12	5	12	I	P	9,81	9,43	19,24	275,01	405,69	680,70	-	-	-	25018,31
	13	13	6	13	I	P	7,87	7,41	15,28	234,48	333,63	568,11	-	-	-	20438,15
	14	10	3	10	I	P	8,89	7,98	16,88	215,79	303,27	519,06	-	-	-	19463,49
TOTAL			-	-	-	-	-	239,76	-	-	8056,06	-	-	-	-	291327,55
2	1	6	6	13	P	I	7,48	7,97	15,45	216,64	350,09	566,73	10261,29	38881,22	49142,51	33096,35
	2	5	5	12	P	I	7,93	8,39	16,32	215,96	352,06	568,02	16200,75	41459,43	57660,19	36148,83
	3	3	3	10	P	I	8,23	9,38	17,61	193,76	347,11	540,88	27622,81	46208,62	73831,43	40461,83
	4	14	7	14	I	P	7,79	7,43	15,22	238,95	340,84	579,78	5378,32	39436,57	44814,89	31417,04
	5	7	7	14	P	I	7,41	7,81	15,23	227,49	358,23	585,72	5120,34	38101,49	43221,83	31428,93
	6	12	5	12	I	P	7,83	7,73	15,57	213,33	324,60	537,93	16003,56	39717,33	55720,89	34485,44
	7	9	2	9	I	P	10,87	8,71	19,58	238,03	306,43	544,46	43472,20	45933,28	89405,48	46267,23
	8	11	4	11	I	P	8,89	7,96	16,84	222,24	316,20	538,43	24033,30	42544,84	66578,14	37914,85
	9	10	3	10	I	P	9,33	8,67	18,00	219,61	320,78	540,39	31307,10	45124,74	76431,84	41348,92
	10	1	1	8	P	I	8,73	9,77	18,50	176,77	310,82	487,59	40432,53	49801,28	90233,81	43694,65
	11	9	2	9	I	P	10,07	9,98	20,04	220,45	350,76	571,21	40261,23	50922,43	91183,67	47348,70
	12	1	1	8	P	I	9,43	9,81	19,24	190,99	312,26	503,25	43685,93	50031,13	93717,07	45460,29
	13	13	6	13	I	P	7,87	7,41	15,28	227,92	325,58	553,50	10795,59	39442,45	50238,04	32734,96
	14	11	4	11	I	P	8,89	7,98	16,88	222,36	317,31	539,67	24046,99	42638,91	66685,90	37989,31
TOTAL			-	-	-	-	-	239,76	-	-	7657,56	338621,97	610243,71	948865,67	-	539797,32

Continua...

CENÁ- RIOS	TALHÃO	A.M.	ANO		FAIXAS		ÁREA EXPLORADA (ha)			VOLUME EXPLORADO (m³)			PRODUTIVIDADE DE FAVA-D'ANTA (kg)			VPL (R\$)
			C1	C2	C1	C2	C1	C2	TOTAL	C1	C2	TOTAL	C1	C2	TOTAL	
3	1	9	2	9	I	P	7,97	7,48	15,45	179,98	270,13	450,11	29920,99	5214,37	35135,36	27079,76
	2	3	3	10	P	I	7,93	8,39	16,32	240,76	391,25	632,01	28156,54	11795,49	39952,03	29221,65
	3	14	7	14	I	P	9,38	8,23	17,61	296,01	386,69	682,69	5683,41	35733,42	41416,83	34218,58
	4	8	1	8	I	P	7,79	7,43	15,22	162,68	243,16	405,84	34425,97	-	34425,97	25057,98
	5	8	1	8	I	P	7,81	7,41	15,23	163,17	242,59	405,76	34345,25	-	34345,25	25067,46
	6	10	3	10	I	P	7,83	7,73	15,57	190,07	293,79	483,86	25960,06	10875,33	36835,39	27877,01
	7	14	7	14	I	P	10,87	8,71	19,58	342,99	409,48	752,47	6018,37	37839,42	43857,79	38054,45
	8	11	4	11	I	P	8,89	7,96	16,84	227,64	324,47	552,11	21511,04	16905,03	38416,07	30964,47
	9	13	6	13	I	P	9,33	8,67	18,00	277,86	390,14	668,00	11890,31	31167,20	43057,51	34698,47
	10	13	6	13	I	P	9,77	8,73	18,50	290,99	392,80	683,79	11971,52	31380,05	43351,56	35662,23
	11	12	5	12	I	P	10,07	9,98	20,04	282,13	429,12	711,25	20378,25	28507,59	48885,84	38210,68
	12	11	4	11	I	P	9,81	9,43	19,24	251,31	384,62	635,92	25498,69	20038,83	45537,52	35374,60
	13	9	2	9	I	P	7,87	7,41	15,28	177,70	267,68	445,38	29649,79	5167,11	34816,90	26784,06
	14	12	5	12	I	P	8,89	7,98	16,88	249,25	343,45	592,70	16310,08	22816,53	39126,61	32177,45
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	239,76	-	-	8101,89	301720,28	257440,34	559160,62		440448,84
4	1	6	6	13	P	I	7,48	7,97	15,45	216,64	350,09	566,73	7695,97	29160,91	36856,88	29713,55
	2	12	5	12	I	P	8,39	7,93	16,32	228,44	332,83	561,26	12852,68	31306,69	44159,37	32126,33
	3	3	3	10	P	I	8,23	9,38	17,61	193,76	347,11	540,88	20717,11	34656,46	55373,57	35112,64
	4	14	7	14	I	P	7,79	7,43	15,22	238,95	340,84	579,78	4033,74	29577,43	33611,17	28494,97
	5	7	7	14	P	I	7,41	7,81	15,23	227,49	358,23	585,72	3840,26	28576,12	32416,37	28505,76
	6	12	5	12	I	P	7,83	7,73	15,57	213,33	324,60	537,93	12002,67	29787,99	41790,67	30648,04
	7	2	2	9	P	I	8,71	10,87	19,58	190,84	382,21	573,05	26139,67	40437,86	66577,53	39736,41
	8	4	4	11	P	I	7,96	8,89	16,84	198,91	353,27	552,18	16133,28	32502,45	48635,74	33286,97
	9	3	3	10	P	I	8,67	9,33	18,00	204,11	345,13	549,25	21823,65	34971,96	56795,61	35882,45
	10	1	1	8	P	I	8,73	9,77	18,50	176,77	310,82	487,59	30324,40	37350,96	67675,35	36963,84
	11	9	2	9	I	P	10,07	9,98	20,04	220,45	350,76	571,21	30195,93	38191,82	68387,75	40665,23
	12	8	1	8	I	P	9,81	9,43	19,24	198,73	300,09	498,83	34092,63	36061,52	70154,15	38457,50
	13	13	6	13	I	P	7,87	7,41	15,28	227,92	325,58	553,50	8096,69	29581,84	37678,53	29389,10
	14	11	4	11	I	P	8,89	7,98	16,88	222,36	317,31	539,67	18035,24	31979,18	50014,43	33352,35
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	239,76	-	-	7697,58	245983,91	464143,20	710127,11		472335,13

Continua...

CENÁ- RIOS	TALHÃO	A.M.	ANO		FAIXAS		ÁREA EXPLORADA (ha)			VOLUME EXPLORADO (m³)			PRODUTIVIDADE DE FAVA-D'ANTA (kg)			VPL (R\$)
			C1	C2	C1	C2	C1	C2	TOTAL	C1	C2	TOTAL	C1	C2	TOTAL	
5	1	9	2	9	I	P	7,97	7,48	15,45	179,98	270,13	450,11	22440,74	3910,78	26351,52	24553,72
	2	10	3	10	I	P	8,39	7,93	16,32	254,67	369,87	624,55	19963,81	8363,34	28327,16	26621,04
	3	14	7	14	I	P	9,38	8,23	17,61	296,01	386,69	682,69	4262,56	26800,06	31062,62	31684,20
	4	8	1	8	I	P	7,79	7,43	15,22	162,68	243,16	405,84	25819,48	-	25819,48	22505,43
	5	1	1	8	P	I	7,41	7,81	15,23	154,88	255,57	410,45	27137,31	-	27137,31	22513,94
	6	3	3	10	P	I	7,73	7,83	15,57	187,66	297,57	485,23	19720,82	8261,55	27982,37	25396,07
	7	14	7	14	I	P	10,87	8,71	19,58	342,99	409,48	752,47	4513,78	28379,56	32893,34	35235,96
	8	11	4	11	I	P	8,89	7,96	16,84	227,64	324,47	552,11	16133,28	12678,77	28812,05	28346,99
	9	13	6	13	I	P	9,33	8,67	18,00	277,86	390,14	668,00	8917,74	23375,40	32293,13	32039,92
	10	13	6	13	I	P	9,77	8,73	18,50	290,99	392,80	683,79	8978,64	23535,04	32513,67	32929,83
	11	12	5	12	I	P	10,07	9,98	20,04	282,13	429,12	711,25	15283,69	21380,69	36664,38	35172,12
	12	11	4	11	I	P	9,81	9,43	19,24	251,31	384,62	635,92	19124,02	15029,12	34153,14	32384,32
	13	9	2	9	I	P	7,87	7,41	15,28	177,70	267,68	445,38	22237,34	3875,33	26112,67	24285,60
	14	12	5	12	I	P	8,89	7,98	16,88	249,25	343,45	592,70	12232,56	17112,40	29344,96	29618,66
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	239,76	-	-	8100,49	226765,76	192702,04	419467,80	403287,81	
6	1	3	3	10	P	I	7,48	7,97	15,45	176,15	294,98	471,13	12555,81	19977,45	32533,26	26117,97
	2	9	2	9	I	P	8,39	7,93	16,32	183,70	278,85	462,55	16774,53	20376,02	37150,56	27668,99
	3	13	6	13	I	P	9,38	8,23	17,61	271,64	361,41	633,05	6433,13	23048,39	29481,53	30005,93
	4	7	7	14	P	I	7,43	7,79	15,22	228,02	357,17	585,19	2566,19	19079,81	21645,99	25572,90
	5	14	7	14	I	P	7,81	7,41	15,23	239,66	340,04	579,70	2697,17	19762,03	22459,20	25582,58
	6	9	2	9	I	P	7,83	7,73	15,57	171,55	271,96	443,51	15665,16	19751,04	35416,20	26395,81
	7	8	1	8	I	P	10,87	8,71	19,58	220,14	277,31	497,44	25176,16	22215,59	47391,75	32011,68
	8	11	4	11	I	P	8,89	7,96	16,84	222,24	316,20	538,43	12016,65	21272,42	33289,07	28659,09
	9	12	5	12	I	P	9,33	8,67	18,00	254,00	363,83	617,83	9527,21	23040,05	32567,26	30992,64
	10	8	1	8	I	P	9,77	8,73	18,50	197,82	277,74	475,56	22624,00	22250,62	44874,61	30233,03
	11	12	5	12	I	P	10,07	9,98	20,04	274,14	418,65	692,79	10282,74	25560,24	35842,98	34515,80
	12	13	6	13	I	P	9,81	9,43	19,24	284,15	414,16	698,31	6729,57	24728,22	31457,79	32788,98
	13	10	3	10	I	P	7,87	7,41	15,28	185,32	274,32	459,65	13209,58	19220,63	32430,21	25832,78
	14	11	4	11	I	P	8,89	7,98	16,88	222,36	317,31	539,67	12023,50	21319,46	33342,95	28715,38
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	239,76	-	-	7694,81	168281,41	301601,96	469883,37	405093,55	

Continua...

CENÁ- RIOS	TALHÃO	A.M.	ANO		FAIXAS		ÁREA EXPLORADA (ha)			VOLUME EXPLORADO (m³)			PRODUTIVIDADE DE FAVA-D'ANTA (kg)			VPL (R\$)
			C1	C2	C1	C2	C1	C2	TOTAL	C1	C2	TOTAL	C1	C2	TOTAL	
7	1	2	2	9	P	I	7,48	7,97	15,45	168,90	287,84	456,74	15941,30	2778,11	18719,41	22027,68
	2	10	3	10	I	P	8,39	7,93	16,32	254,67	369,87	624,55	13309,21	5575,56	18884,77	24020,43
	3	14	7	14	I	P	9,38	8,23	17,61	296,01	386,69	682,69	2841,71	17866,71	20708,41	29149,81
	4	8	1	8	I	P	7,79	7,43	15,22	162,68	243,16	405,84	17212,98	-	17212,98	19952,88
	5	8	1	8	I	P	7,81	7,41	15,23	163,17	242,59	405,76	17172,62	-	17172,62	19960,43
	6	10	3	10	I	P	7,83	7,73	15,57	190,07	293,79	483,86	12980,03	5437,66	18417,69	22915,13
	7	14	7	14	I	P	10,87	8,71	19,58	342,99	409,48	752,47	3009,19	18919,71	21928,89	32417,48
	8	11	4	11	I	P	8,89	7,96	16,84	227,64	324,47	552,11	10755,52	8452,51	19208,03	25729,51
	9	13	6	13	I	P	9,33	8,67	18,00	277,86	390,14	668,00	660,57	1731,51	2392,08	29381,36
	10	13	6	13	I	P	9,77	8,73	18,50	290,99	392,80	683,79	5985,76	15690,02	21675,78	30197,44
	11	5	5	12	P	I	9,98	10,07	20,04	279,56	433,06	712,62	10282,74	14384,76	24667,50	32133,56
	12	11	4	11	I	P	9,81	9,43	19,24	251,31	384,62	635,92	12749,35	10019,41	22768,76	29394,05
	13	9	2	9	I	P	7,87	7,41	15,28	177,70	267,68	445,38	14824,89	2583,55	17408,45	21787,15
	14	12	5	12	I	P	8,89	7,98	16,88	249,25	343,45	592,70	8155,04	11408,27	19563,31	27059,88
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	239,76	-	-	8102,44	145880,92	114847,79	260728,71	366126,78	
8	1	11	4	11	I	P	7,97	7,48	15,45	199,31	297,34	496,66	5388,62	9796,52	15185,14	22046,47
	2	9	2	9	I	P	8,39	7,93	16,32	183,70	278,85	462,55	8387,27	10188,01	18575,28	22227,10
	3	8	1	8	I	P	9,38	8,23	17,61	189,98	261,87	451,85	10863,61	10489,58	21353,19	22376,50
	4	9	2	9	I	P	7,79	7,43	15,22	170,54	261,32	431,86	7786,58	9534,61	17321,19	20729,61
	5	3	3	10	P	I	7,41	7,81	15,23	174,57	289,03	463,60	6221,54	9816,57	16038,11	21107,74
	6	11	4	11	I	P	7,83	7,73	15,57	195,86	307,39	503,25	5295,28	9911,08	15206,36	22210,08
	7	14	7	14	I	P	10,87	8,71	19,58	333,51	399,68	733,18	1876,69	13447,27	15323,95	29146,99
	8	5	5	12	P	I	7,96	8,89	16,84	216,65	373,05	589,70	4063,21	10663,21	14726,42	24856,95
	9	14	7	14	I	P	9,33	8,67	18,00	286,18	397,59	683,77	1610,36	11764,22	13374,58	26783,59
	10	8	1	8	I	P	9,77	8,73	18,50	197,82	277,74	475,56	11312,00	11125,31	22437,31	23502,23
	11	6	6	13	P	I	9,98	10,07	20,04	288,85	442,10	730,95	3420,43	12749,08	16169,52	29762,26
	12	5	5	12	P	I	9,43	9,81	19,24	256,81	411,84	668,65	4816,43	12234,65	17051,09	28397,21
	13	10	3	10	I	P	7,87	7,41	15,28	185,32	274,32	459,65	6604,79	9610,32	16215,10	21190,02
	14	13	6	13	I	P	8,89	7,98	16,88	257,54	350,62	608,15	3049,60	10994,19	14043,79	25062,98
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	239,76	-	-	7759,39	80696,41	152324,62	233021,03	339399,73	

Continua...

CENÁ- RIOS	TALHÃO	A.M.	ANO		FAIXAS		ÁREA EXPLORADA (ha)			VOLUME EXPLORADO (m ³)			PRODUTIVIDADE DE FAVA-D'ANTA (kg)			VPL (R\$)
			C1	C2	C1	C2	C1	C2	TOTAL	C1	C2	TOTAL	C1	C2	TOTAL	
9	1	9	2	9	I	P	7,97	7,48	15,45	179,98	270,13	450,11	7480,25	1303,59	8783,84	19501,63
	2	10	3	10	I	P	8,39	7,93	16,32	254,67	369,87	624,55	6654,60	2787,78	9442,39	21419,82
	3	14	7	14	I	P	9,38	8,23	17,61	296,01	386,69	682,69	1420,85	8933,35	10354,21	26615,43
	4	8	1	8	I	P	7,79	7,43	15,22	162,68	243,16	405,84	8606,49	-	8606,49	17400,32
	5	8	1	8	I	P	7,81	7,41	15,23	163,17	242,59	405,76	8586,31	-	8586,31	17406,91
	6	10	3	10	I	P	7,83	7,73	15,57	190,07	293,79	483,86	6490,02	2718,83	9208,85	20434,19
	7	14	7	14	I	P	10,87	8,71	19,58	342,99	409,48	752,47	1504,59	9459,85	10964,45	29599,00
	8	11	4	11	I	P	8,89	7,96	16,84	227,64	324,47	552,11	5377,76	4226,26	9604,02	23112,02
	9	13	6	13	I	P	9,33	8,67	18,00	277,86	390,14	668,00	2972,58	7791,80	10764,38	26722,81
	10	13	6	13	I	P	9,77	8,73	18,50	290,99	392,80	683,79	2992,88	7845,01	10837,89	27465,04
	11	5	5	12	P	I	9,98	10,07	20,04	279,56	433,06	712,62	5141,37	7192,38	12333,75	29095,01
	12	11	4	11	I	P	9,81	9,43	19,24	275,01	405,69	680,70	6374,67	5009,71	11384,38	26403,77
	13	2	2	9	P	I	7,41	7,87	15,28	167,37	284,20	451,57	7869,74	1371,47	9241,20	19288,69
	14	12	5	12	I	P	8,89	7,98	16,88	249,25	343,45	592,70	4077,52	5704,13	9781,65	24501,09
TOTAL			-	-	-	-	-	239,76	-	-	8146,77	75549,64	64344,17	139893,81	328965,74	

(A.M. = alternativa de manejo selecionada; C1 = ciclo de corte 1- do ano 1 ao ano 7; C2 = ciclo de corte 2 – do ano 8 ao ano 14; I = faixas ímpar; P = faixas pares; VPL = Valor Presente Líquido)

Diante do exposto, pode-se afirmar que o cenário que configura a melhor opção, em se tratando de manejo florestal sustentável, é o cenário 2, que apresenta o maior VPL (R\$539.797,32) e a maior produtividade de fava-d'anta (948.865,67 kg). Assim, na Figura 8 observa-se o planejamento do corte de madeira e da colheita de fava ao longo dos 14 anos de exploração na área, de acordo com os dados da Tabela 9, para o cenário 2.

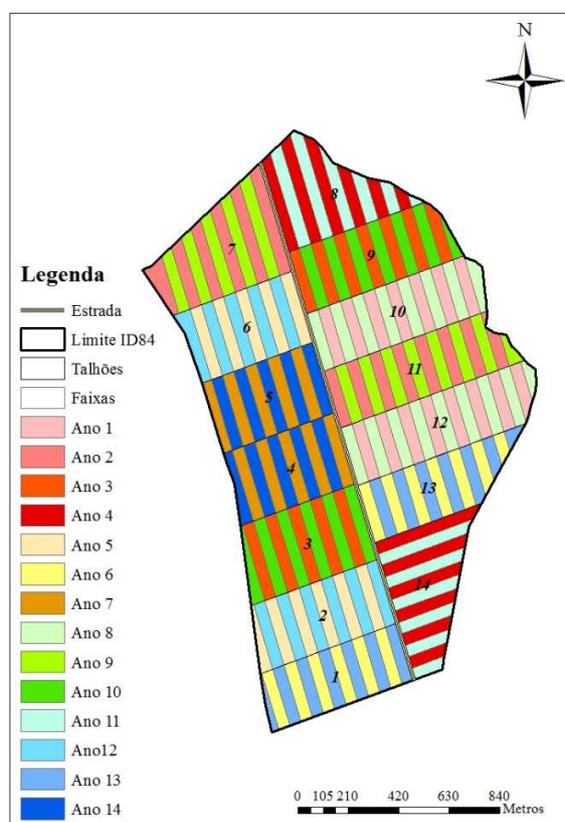


Figura 8 Mapa da exploração ao longo do horizonte de planejamento, de acordo com o cenário 2

6 CONCLUSÕES

Diante do exposto, conclui-se que os cenários que envolvem a extração de frutos de fava-d'anta são mais viáveis economicamente que os demais, mesmo que a produtividade de fava seja até 75% menor que a atual. Entretanto, para isso é necessário que ocorra a coleta de frutos em todos os anos do horizonte de planejamento e que o manejo do cerrado *Sesnu Stricto* na forma em que foi tratada neste trabalho, aliado ao extrativismo de frutos de espécies como a fava-d'anta, pode ser uma boa alternativa para gerar renda para os moradores das comunidades do entorno de áreas manejadas.

REFERÊNCIAS

- ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. S. **De grão em grão o cerrado perde espaço**. Brasília: WWF, 1995.66 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília, 2013. 148 p.
- ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Anuário estatístico 2012**. Belo Horizonte, 2013. 41 p.
- AZEVEDO, C. P.; SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Predição do ingresso total de um povoamento florestal inequiâneo na mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.19,n.1, p. 50-64,1995.
- BANHARA, J. R. et al. Agendamento otimizado da colheita de madeira de eucaliptos sob restrições operacionais, espaciais e climáticas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 85-95, mar. 2010.
- BASKENT, E. Z.; KELES, S. Spatial forest planning: a review. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.188, p. 29, 2005.
- BOZINI, A. C. **Bioma cerrado**: aspectos jurídicos para a preservação, conservação e exploração no Estado de Minas Gerais. Guaxupé: UNIVEG. Disponível em: <<http://www.seb-ecologia.org.br/viiceb/resumos/901a.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2012.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação; altera as Leis nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, 9.393 de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 maio 2012. 40p.
- BRUNER, H. D.; MOSER Jr., J. W. A Markov chain approach to the prediction of diameter distributions in uneven-aged forest stands. **Canadian Journal of Forest Research**, Ontario, v. 4, p. 409-417, 1973.

BUONGIORNO, J.; GILLESS, J. K. **Decision methods for forest resource management**. San Diego:Academic, 2003. 439p.

BUONGIORNO, J.; GILLES, J. K. Forest management and economics: a primer in quantitative methods. New York, Collin Macmillan, 1987. p.284.

BUONGIORNO, J.; MICHIE, B. R. A matrix model of uneven-aged forest management. **Forest Science**, v. 26, n. 4, p. 609-625, 1980.

CARVALHO, L. M. T. et al. Detecção de modificações na cobertura do solo. In: CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. S. **Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento da flora nativa 2005-2007**. Lavras: UFLA, 2008. Cap. 1, p. 25-316.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS. **Mercado**. Disponível em: <www.ciflorestas.com.br/cotacoes.php . visualizada em 25/06/2014>. Acesso em: 10 jul. 2014.

CONDIT, R.; HUBBEL, S. P.; FOSTER, R. B. Identifying fast-growing native trees from a large, permanente census plot. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 62, p. 107-122, 1993.

DELGADO, R. A. C. **Programação linear inteira**. Porto: Universidade do Porto, 1997.

DUBOC, E. et al. Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 10., 2008, Brasília. **Resumos**. .. Brasília: SNC, 2008.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Universidade de Brasília, 1994. p.23-31.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using Arc GIS geostatistic alanalyst**. Redlands, 2001. 300 p.

FELFILI, J. M. Growth, recruitment and mortality in the Gama gallery forest in central Brazil over a sixyear period (1985-1991). **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 11, n. 1, p. 67-83, 1995.

GOMES, L. J.; GOMES, M. A. O. Extrativismo e biodiversidade: o caso da fava-d'anta. **Ciência Hoje**, v. 27, n. 161, p. 66-69, 2000.

GOMES, L. J. **Extrativismo e comercialização da fava d'anta (*Dimorphandra* sp.)**: estudo de caso na região de cerrado de Minas Gerais. 1998. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GOMES, L. J.; GOMES, M. A. O.; JESUS, N. B. Aspectos socioambientais da atividade extrativista de produtos florestais não-madeireiros: os casos da favad'anta (*Dimorphandra* sp.) e da aroeira-da-praia (*Schinusterebinthifolius* Raddi). In: ALBUQUERQUE, U. P.; HANAZAKI, N. (Org.). **Árvores de valor e o valor das árvores: pontos de conexão**. Recife: NUPEEA, 2010. p. 61-106.

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

GOMIDE, L. R. **Planejamento florestal espacial**. 2009. 235 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

HADDAD, H. M. D. et al. An integer linear programming approach applied to Thecerrado (savanna) management. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 1-10, jan./mar. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE: Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor IPCA INPC**. Brasília, 2014. 22 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e a descrição dos produtos**. 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/produtos/produo2008/defaulttabzip_ods.shtm>. Acesso em: 3 jul. 2013.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. Portaria nº 191 de 16 de setembro de 2005. Dispõe sobre as normas de controle da intervenção em vegetação nativa e plantada no Estado de Minas Gerais. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 16 set. 2005, 17 p.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. Portaria nº 8 de 31 de janeiro de 2013. Declara, expressamente, a revogação das Portarias nº 191, de 16 de setembro de 2005, e 02, de 12 de janeiro de 2009. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 01 fev. 2013.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS; SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Resolução Conjunta nº 1.905 de 12 de agosto de 2013. Dispõe sobre os processos de autorização para intervenção ambiental no âmbito do Estado de Minas Gerais e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 13 ago. 2013. 29 p.

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

KOBYAMA, T.; TAKADA, T. Recruitment rates in forest plots: Gf estimates using growth rates and size distributions. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 86, n. 4, p. 633-639, 1998.

LANDIM, P.L.; COSTA, J.G.M. *Dimorphandra gardneriana* Tulasne (Fava d'anta) - uma abordagem etnobotânica e riscos de extinção. **Revista da Biologia**, v. 9, n. 1, p. 6-11, 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum. 2002. 352 p.

MENDONZA, G.; SPROUSE, W. Forest planning and decision making under Fuzzy environments: an overview and illustration. **Forest Science**, Amsterdam, v. 35, n. 2, 1989.

MEYER, H. A. et al. **Forest management**. New York: McGraw-Hill, 1961.

MINAS GERAIS. Governo Estadual Lei nº 20.992, de 16 de outubro de 2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. **Diário do Executivo do Estado de Minas Gerais**, Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 17 out. 2013. 47 p.

MITCHELL, S. A. **Operational forest harvest scheduling optimisation- a mathematical model and solution strategy**. 2004. 252 f. Thesis. University of Auckland, Auckland, 2004.

MONTEVECHI, J. A. B. **Pesquisa Operacional (Programação Linear)**. Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 2000.

MUHAIWE, C. K. **Biometric models**. Sydney: Resource and Conservation Assessment Council, 2003. 46 p. (NAND, 08; v. 5).

MYERS, N. et al. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature, v. 403, p. 853-858. 2000.

NEUMANN, R.; HIRSCH, E. **Commercialisation of non-timber forest products: review and analysis of research**. Indonédia: STM Grafika, 2000. 176 p.

NUNES, J. D. et al. O extrativismo da fava d'anta (*Dimorphandramollis*Benth.) na região do norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, Botucatu, v.14, n.2, p.370-375, 2012.

OLIVEIRA, A. D. de et al. Avaliação econômica da regeneração da vegetação de cerrado, sob diferentes regimes de manejo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.26, n. 6, p.715-726, 2002.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; SCOLFORO, J. R. S. **Inventário florestal de Minas Gerais: espécies arbóreas da flora nativa**. Lavras: UFLA, 2008. 619 p.

OLIVEIRA, S. L. **Análise técnica e econômica do manejo sustentável da vegetação do cerrado**. 2006. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OLIVEIRA, M. C. de et al. Avaliação de diferentes níveis de intervenção na florística, diversidade e similaridade de uma área de cerrado *stricto sensu*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 342-349, out./dez. 2006.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA EA CULTURA. **Vegetação no Distrito Federal: tempo e espaço**. Brasília, 1998. 74p.

PORTO, A. **Tomadas de decisão nas organizações**. Salvador: Secretaria do Planejamento do Estado da Bahia, 2012.

PREVEDELLO, J. A.; CERVALHO, C. J. B. Conservação do cerrado brasileiro: o método pan-biográfico como ferramenta para seleção de áreas prioritárias. **Natureza e Conservação**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 39-57, abr. 2006.

PULZ, F. A. et al. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequidiana com a matriz de transição. **Revista Cerne**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 1-14, 1999.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, London, v. 80, p. 223-230, 1997.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Platina: EMBRAPA – CPAC, 1998. p. 89-166.

RICHTER, A. **Forsteinrichtung**. Leipzig: Neumann Verlag, 1963. 204p.

RODRIGUES, F. L. et al. Um modelo de regulação florestal e suas implicações na formulação e solução de problemas com restrições de recobrimento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p.769-778, 2006.

ROSSI, L. M. B. et al. Modelagem de recrutamento em florestas. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo florestal: planejamento da produção florestal**. Santa Maria: UFSM, 2004. 492 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393 p.

SCOLFORO, J. R. S.; CARVALHO, L. M. T. de; OLIVEIRA, A. D. de. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: componentes geofísico e biótico**. Lavras: UFLA, 2008. 161p.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Avaliação de diferentes níveis de intervenção no desenvolvimento da área basal e número de árvores de uma área de cerrado *stricto sensu*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 25-34, 2000.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D. de. **Inventário florestal de Minas Gerais: cerrado – florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal**. Lavras: UFLA, 2008. 816 p.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Amostragem e caracterização dos fragmentos inventariados. In: SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D. de. **Inventário florestal de Minas Gerais**: cerrado – florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal. Lavras: UFLA, 2008a. Cap. 1, p. 1-76.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Volumetria, peso de matéria seca e carbono. In: SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D. de. **Inventário florestal de Minas Gerais**: cerrado – florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal. Lavras: UFLA, 2008b. Cap. 8, p. 361-439.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Manejo do cerrado, uma abordagem científica. In: SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D. de. **Inventário florestal de Minas Gerais**: cerrado – florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal. Lavras: UFLA, 2008c. Cap. 10, p. 461-569.

SCOLFORO, J.R.S. et al. Modelo de produção para floresta nativa como base para manejo sustentado. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p.112-137, 1996.

SCOLFORO, J. R.S. **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 443 p.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de; ACERBI JÚNIOR, F. W. **Inventário florestal de Minas Gerais**: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fitofisionomias da flora nativa. Lavras: UFLA, 2008. 216 p.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de.; CARVALHO, L. M. T. de. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais**: sócioeconômico. Lavras: UFLA, 2008, 195 p.

SILVA, R. R. V. **Relações socioambientais do negócio extrativista na região da Floresta Nacional do Araripe-Apodi, nordeste do Brasil**. 2014. 124 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

SILVA, S. C. et al. Economic viability of cerrado vegetation management Under conditions of risk. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 141-149, abr./jun. 2011.

SOLDATI, G. T.; ALBUQUERQUE, U. P. Non-timber forest products: an overview. **Functional Ecosystems and Communities**, v. 2, n. 1, p. 21 -31, 2008.

SOUZA, F. N. de. **Avaliação de uma vegetação de cerrado sensu stricto submetido a diferentes sistemas de manejo sustentável**. 2010. 142p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield**. Wallingford: CAB International, 1994.312 p.

ANEXO I

Model:

TITLE modelo_ana_doutorado;

Definição dos índices;

TALHAO /1..14/; número de talhões;

AM /1..14/; número de alternativas de manejo;

HP /1..14/; tamanho do horizonte de planejamento;

COLUNA/1..17/; número de colunas da matriz;

LINHA/1..196/; número de linhas do arquivo;

M1(LINHA,COLUNA): MPROD; matriz contendo as produções volumétricas;

M2(LINHA,COLUNA): MAREA; matriz contendo as áreas;

M3(LINHA,COLUNA): MFAVA; matriz contendo a produção de fava;

M4(TALHAO,AM): X; variável de decisão do modelo;

ENDSETS

DATA:

MPROD = @FILE(D:\V.TXT); local onde se tem salvo a matriz contendo as produções volumetricas;

MAREA= @FILE(D:\A.TXT); local onde se tem salvo a matriz contendo a área;

MFAVA = @FILE(D:\F.TXT); local onde se tem salvo o vetor VPL;

ENDDATA

Função objetivo do modelo:

[VPL]MAX= @SUM(LINHA(I):MPROD(I,3)*X(MPROD(I,1),MPROD(I,2)));

Restrições:

A) INTEGRIDADE;

@FOR(TALHAO(I): @SUM(AM(J):X(I,J))=1);

B) VOLUME

LIMITE INFERIOR;

@FOR(HP(J):

@SUM(LINHA(I):

MPROD(I,J+3)*X(MPROD(I,1),MPROD(I,2)))>=400);

LIMITE SUPERIOR;

@FOR(HP(J):

@SUM(LINHA(I):

MPROD(I,J+3)*X(MPROD(I,1),MPROD(I,2)))<=1500);

C) ÁREA

LIMITE INFERIOR;

@FOR(HP(J):

@SUM(LINHA(I):

MAREA(I,J+3)*X(MAREA(I,1),MAREA(I,2)))>=10);

LIMITE SUPERIOR;

@FOR(HP(J):

@SUM(LINHA(I):

MAREA(I,J+3)*X(MAREA(I,1),MAREA(I,2)))<=400);

```

D) FAVA
    LIMITE INFERIOR;
    @FOR(HP(J):
        @SUM(LINHA(I):
MFAVA(I,J+3)*X(MFAVA(I,1),MFAVA(I,2)))>=400);
    LIMITE SUPERIOR;
    @FOR(HP(J):
        @SUM(LINHA(I):
MFAVA(I,J+3)*X(MFAVA(I,1),MFAVA(I,2)))<=150000);

```

Declarando as variáveis de decisão - modelo PLI;

```

    @FOR(TALHAO(I):
        @FOR(AM(J):
            @BIN(X(I,J)));

DATA:
    @TEXT(=
        @WRITEFOR(M4(I,J)| X(I,J) #GT# 0:
'TALHÃO = ', I, ' ALTERNATIVA DE MANEJO SELECIONADA = ', J ,
@NEWLINE(1));
    END DATA

```

END