

OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL DE IMPACTO REDUZIDO NO CORTE SELETIVO DE UMA FLORESTA INEQUILÂNEA

Paulo Henrique da Silva
phdsflorestal@hotmail.com

Marcos Antônio Isaac Júnior
maisaacjr@yahoo.com.br

Lucas Rezende Gomide
lucasgomide@dcf.ufla.br

Ramon Amaral Godinho
ramon_amaral@hotmail.com

Kalill José Viana da Páscoa
kalillpascoa@gmail.com

Juliana Carneiro Gonçalves
jujacarneiro@gmail.com
Universidade Federal de Lavras
Campus Universitário

RESUMO

Os objetivos deste estudo foram simular a remoção de indivíduos de um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual, utilizando o quociente de De Liocourt (q) a partir de um diâmetro mínimo de corte e realizar o planejamento operacional da exploração florestal utilizando a programação linear inteira (PLI) como método de auxílio à tomada de decisão. A análise fitossociológica definiu as espécies passíveis de corte e então foram simulados cinco cenários para plano de manejo via corte seletivo, variando q e G (área basal), sendo estes resultados *inputs* para o modelo de PLI na seleção dos indivíduos a serem explorados e na sequência, destinados aos pátios. Concluiu-se que o modelo de PLI, aliado às técnicas de manejo florestal e Pesquisa Operacional, auxiliam no microplanejamento da colheita.

PALAVRAS CHAVE. Manejo Florestal, Programação Matemática, P-mediana
Área principal (AG&MA - PO na Agricultura e Meio Ambiente)

ABSTRACT

The objectives of this study were to simulate the removal of individuals from a remnant of semideciduous forest, using the quotient De Liocourt (q) from a minimum cutting diameter and conduct operational planning of forestry using integer linear programming (ILP) as method to aid decision making. A phytosociological analysis defined species capable of cutting and then were simulated five scenarios for the management plan through selective cutting, varying q and G (basal area), which results are inputs to the model of ILP in the selection of individuals to be explored and further, for the courtyards. It was concluded that the ILP model, combined with forest management techniques and Operations Research, microplanning assist in harvesting.

KEYWORDS. Forest Management, Optimization, Mathematical Programming.
Main area (AG&MA - PO na Agricultura e Meio Ambiente)

1. Introdução

As florestas brasileiras ocupam 516 milhões de hectares, cerca de 61% do território nacional (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010). Deste total, 509.803.545 hectares são de florestas nativas e 6.782.500 hectares são ocupados por florestas plantadas, o que faz do Brasil um país com grande potencial florestal.

Segundo Pinto et. al. (2007) conhecer a organização estrutural das populações de espécies arbustivo-arbóreas, utilizando estudos fitossociológicos, é básico para definir estratégias de manejo e conservação de remanescentes florestais, assim como de restauração florestal em áreas degradadas. A floresta é considerada balanceada quando o quociente de De Liocourt (q), que representa a razão entre o número de indivíduos das classes sucessivas, apresenta-se constante. A partir desse quociente é possível planejar a exploração florestal com bases sustentáveis, definindo cortes seletivos distribuídos em toda a área.

O chamado Manejo Florestal de impacto reduzido favorece a qualidade das atividades, pois além de retirar menor quantidade de madeira da floresta, a derrubada das árvores se dá de forma orientada, reduzindo danos dos indivíduos ao seu entorno. Há menor impacto nas operações de transporte e após a colheita é realizado um trabalho de monitoramento que visa à regeneração da vegetação da área objeto de extração (FUJIHARA et al, 2009).

O desenvolvimento dos programas computacionais, geralmente baseados em modelos de programação linear, permite concentrar uma maior riqueza de informações na elaboração do plano de manejo em florestas nativas, possibilitando a definição de quando, quanto e onde se deve realizar a operação de corte. Tais modelos são representações abstratas de situações reais e quando bem construídos, validados e aplicados, são úteis na administração florestal para tomar decisões com consequências previsíveis (DYKSTRA, 1984).

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é outra ciência de grande relevância na exploração de impacto reduzido. Segundo Machado e Lopes (2008) é um sistema que possui a maior capacidade de processamento e análise de dados espaciais, podendo ser definido como equipamentos computacionais, programas e procedimentos concebidos para prover a captura, o gerenciamento, a manipulação, a análise, a modelagem e a visualização de dados espacialmente referenciados para a solução de problemas complexos em planejamento e gerência. No ambiente SIG são gerados mapas exploratórios com elevada riqueza de detalhes, tais como a localização das árvores a serem exploradas, com suas respectivas trilhas de arraste, ligando-as aos pátios de estocagem. A consistência destes mapas é de suma importância na prática da exploração florestal, pois facilita a extração dos indivíduos de interesse, causando menores impactos sobre a população remanescente.

Portanto, a prática do manejo florestal, aplicada corretamente e aliada com programas computacionais, contribui com a redução das taxas de desmatamento ilegais e dos impactos ambientais causados pelas operações da colheita florestal, sendo possível assim a utilização sensata e sustentada dos recursos florestais.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi simular o corte seletivo de árvores/espécie/classe diamétrica considerando o uso do quociente de De Liocourt, integrando o melhor cenário simulado de remoção com o modelo das P- medians não capacitado e modificado, considerando uma Floresta Estacional Semidecidual.

2. Material e Métodos

Base de Dados

O local de estudo foi um fragmento florestal localizado no campus da Universidade

Federal de Lavras, onde sua vegetação é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana (floresta tropical subcaducifolia) com dossel emergente (*Fme*) de acordo com o sistema de classificação da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – (FIBGE, 1993). Possui área total de 5,8 ha, com coordenadas geográficas aproximadas de 21° 13' 40''S e 44° 37' 50''W, e altitude média de 935m (RANGEL *et al.*, 2006) .

Conforme a classificação de Köppen, o tipo climático é Cwb, com temperatura média de 19,4°C e precipitação anual média de 1530 mm (RANGEL *et al.*, 2006). A média pluviométrica mensal na estação chuvosa (dezembro a fevereiro) é de 254 mm e na estação seca (maio a junho) é de 25 mm (DNMET, 1992). Os solos são do tipo Latossolo roxo distrófico (epialico), textura muito argilosa e relevo suave ondulado (CURI *et al.*, 1990).



Figura 1 - Reserva Florestal da UFLA vista por imagem Quick Bird Pancromática em 27/05/2003.

Os dados constam de um inventário florestal (censo) realizado na área em 2010, sendo coletado o DAP (diâmetro altura do peito) e Ht (altura total), além da identificação botânica das árvores com DAP \geq 5 cm. Posteriormente, foram selecionados apenas os indivíduos com DAP \geq 20 cm, adicionando as coordenadas UTM via GPS.

As árvores contendo ramificações foram agrupadas em um único fuste, obtendo assim, o diâmetro equivalente, já a altura foi definida pela média aritmética.

Análise da Vegetação

Por meio da análise fitossociológica foram identificadas as espécies passíveis para o corte, excluindo ainda as espécies proibidas de corte pelo estado. Esta análise englobou os valores de Densidade, Dominância, Frequência e Valor de Importância, conforme observado em Scolforo (1998). As dez espécies com maior índice de Valor de Importância serviram de *input* para a geração do plano de Manejo Florestal na área contemplando apenas os indivíduos com DAP \geq 20 cm pertencentes a estas espécies.

Plano de Corte seletivo em floresta inequiânea

Primeiramente, os dados referentes aos diâmetros dos indivíduos mensurados foram agrupados em classes diamétricas, representando assim a frequência observada em cada classe. A equação (1) referente à função de distribuição de Meyer foi ajustada por meio de regressão linear simples, para encontrar os valores dos coeficientes e obter as frequências estimadas. O ajuste do modelo foi realizado no software R e as medidas de precisão e gráficos de resíduo serviram para avaliar a qualidade do ajuste.

$$Y_i = ax_i^b \pm e_i \quad (1)$$

Onde:

Y_i = número de árvores por classe de diâmetro e por hectare;

x_i = valor central da classe de diâmetro;

a e b = parâmetros que exprimem a estrutura da vegetação em relação à distribuição dos diâmetros;

e_i = erro aleatório.

Em seguida, foi calculado o quociente de De Liocourt (q), o qual é expresso pela razão do número de árvores estimadas entre as classes sucessivas (SCOLFORO, 1998).

A partir do valor original do quociente q , da área basal remanescente e do diâmetro máximo de corte foram definidos cenários para a simulação do corte seletivo. Para o quociente de De Liocourt foram elaboradas estratégias de manejo com valores variando $\pm 10\%$ do valor original. Para a área basal remanescente foram usados valores de 50% e 60% da área basal total presente no fragmento, sendo que a legislação estadual permite a remoção de no máximo 50% de área basal total. Já o Diâmetro máximo de corte foi constante para todos os cenários.

Com os novos valores do quociente (q) e área basal remanescente foram obtidos novos valores para os parâmetros da regressão. Substituindo estes novos valores na função de Meyer foram calculadas as frequências remanescentes em cada classe de diâmetro. Logo, o número de árvores removidas dentro de cada classe diamétrica foi obtido pela diferença entre frequência observada e remanescente.

O número de indivíduos removidos por classe de diâmetro, das espécies com Densidade Relativa ≥ 1 , é encontrado pela equação (2).

$$Remoção = \frac{NE_i D_i}{\sum_{i=1}^n NED_i - \sum_{i=1}^n NEDRD_i} * Frequência Remoção \quad (2)$$

Onde:

$NE_i D_i$ = número de árvores da i -ésima espécie na i -ésima classe de diâmetro;

NED_i = número de árvores na i -ésima classe diamétrica;

n = número de espécies;

$NEDRD_i$ = número de árvores na i -ésima classe de diâmetro das espécies com densidade relativa < 1 ;

$Frequência Remoção$ = número de indivíduos retirados na i -ésima classe de diâmetro.

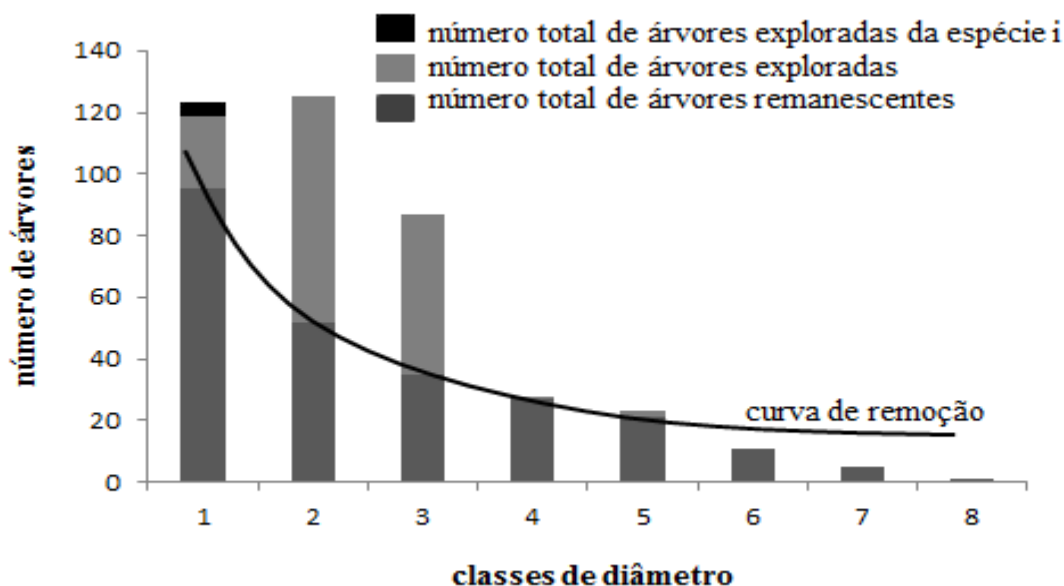


Figura 2 - Estrutura diamétrica da floresta envolvendo o conceito de corte seletivo e nível de exploração/remanescentes.

Modelo de Programação Linear Inteira

Um modelo matemático de programação linear inteira foi desenvolvido para resolver o problema clássico de P-mediana, porém com algumas alterações nas restrições, para atender o cenário relacionado com o melhor plano de manejo selecionado no item anterior. A função objetivo (3) representa o somatório do deslocamento (distância euclidiana) dentro do povoamento, contribuindo para a redução do impacto da atividade de arraste de toras; (4) restrição de seleção das árvores a serem direcionadas aos pátios de estocagem, sendo uma variação do problema clássico das P-medianas, para evitar o corte total das árvores; (5) restrição que define o número de pátios de estocagem (10 pátios) a ser instalado; (6) restrição de ativação dos pátios de estocagem selecionados e as árvores selecionadas a serem abatidas; (7) restrição de limite de número de indivíduos a serem explorados por classe de diâmetro e espécie; (8) restrição binária {0,1} do modelo de programação linear inteira.

Função Objetivo:

$$\text{Min}(\text{deslocamento}) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^P C_{ij} X_{ij} \quad (3)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^N X_{ij} \leq 1; \quad \forall_j \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^P Y_j = NP \quad (5)$$

$$X_{ij} - Y_j \leq 0; \quad \forall_i, \forall_j \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{N_{\text{esp}}} \sum_{j=1}^P X_{ijk} = S_{ik}; K = \{1, 2, \dots, M\}; \quad \forall_k \quad (7)$$

$$X_{ij} = \{0; 1\}, Y_j = \{0; 1\}; \quad \forall_i, \forall_j \quad (8)$$

Em que:

X_{ij} = variável de decisão binária $\{0, 1\}$ empregada para deslocar a árvore i para o pátio de estocagem j ;

C_{ij} = Custo de deslocamento em metros (distância euclidiana) entre a árvore i e o pátio de estocagem j ;

N = número total de árvores inventariadas no fragmento estudado;

P = número total de pátios de armazenamento de madeira disponíveis para serem habilitados na unidade de exploração;

Y_j = variável de decisão binária $\{0, 1\}$ para ativar o pátio de estocagem j ;

NP = Número total de pátios de estocagem desejados a serem construídos;

N_{esp} = número de árvores pertencentes a espécie i passíveis de corte;

X_{ijk} = variável de decisão binária $\{0, 1\}$ empregada para designar o corte da árvore i pertencente à classe de diâmetro k , sendo deslocada para o pátio de estocagem j ;

S = número total de indivíduos por classe de diâmetro e por espécie disponível para o corte seletivo na floresta;

K = classe de DAP;

M = número total de classes de DAP presentes na floresta e passíveis de corte.

O modelo matemático foi formulado no solver IBM ILOG CPLEX 12.0, utilizando o algoritmo *branch and cut*, e processado em um computador processador Celeron® core 2 duo 2100 MHz e 2 Gb de RAM.

3. Resultados e discussão

Foram mensuradas 4.426 árvores em todo fragmento, uma média de 878,17 árvores por hectare. A área basal total da população, que representa o somatório das áreas das secções transversais dos troncos foi 102,81 m², ou seja, 20,40 m² por hectare. As espécies com maior valor de Densidade Relativa (número de árvores por hectare) foram *Xylopia brasiliensis* (12,29%), *Copaifera langsdorffii* (10,87%) e *Amaioua guianensis* (7,59%); maior valor de Dominância Relativa (grau de ocupação por hectare) foram *Copaifera langsdorffii* (18,13%), *Xylopia brasiliensis* (11,25%) e *Cryptocarya aschersoniana* (7,46%); maiores índices de Frequência Relativa (distribuição na área) foram *Copaifera langsdorffii* (6,58%), *Xylopia brasiliensis* (6,09%), *Amaioua guianense* (4,95%) e *Casearia arborea* (4,95%). As dez espécies com maior índice de Valor de Importância (soma dos valores relativos de Densidade, Dominância e Frequência de cada espécie) são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1- Valores obtidos para as 10 espécies de maior de valor de importância.

Nome Científico	VI
<i>Copaifera langsdorffii</i>	35,58
<i>Xylopia brasiliensis</i>	29,63

<i>Ocotea odorifera</i>	17,34
<i>Miconia argyrophylla</i>	17,03
<i>Amaioua guianensis</i>	14,90
<i>Cryptocarya aschersoniana</i>	14,45
<i>Casearia arborea</i>	11,48
<i>Ocotea corymbosa</i>	11,13
<i>Trichilia catigua</i>	10,77
<i>Maprounea guianensis</i>	10,73

Os valores de DAP oriundos da base de dados do censo florestal foram agrupados em 14 classes diamétricas (amplitude de 5 cm), variando de 5,03 a 74,80 cm, sendo então quantificado o número de indivíduos presentes em cada classe (frequência). Os valores encontrados para os parâmetros β_0 e β_1 no ajuste da função de distribuição de Meyer foram 8,4148 e -0,1097, respectivamente. O coeficiente de determinação (R^2) foi igual a 99,13% e o valor de R^2 ajustado foi igual 99,05 %, mostrando que o modelo foi eficiente na estimativa dos parâmetros. O erro padrão residual (Syx) observado entre as classes de diâmetro foi igual a 120, 90 indivíduos, apresentando um erro padrão residual percentual (Syx %) igual a 37,20%.

A vegetação em estudo apresentou o padrão de distribuição típica das formações florestais naturais, onde os indivíduos são distribuídos entre as classes de diâmetros na forma de J-invertido, ou seja, exponencial negativo, concentrando a maioria (78,90%) dos indivíduos nas três primeiras classes diamétricas, conforme é demonstrado na figura 2. Então, foi possível constatar uma estrutura positiva da floresta, já que há a possibilidade das menores classes de diâmetro fornecer indivíduos para as maiores classes, ocorrendo assim uma substituição natural de árvores mortas e removidas pelo corte seletivo. Imaña-Encinas et al. (2008) no estado de Goiás, Lopes et al. (2011) e Coraiola (1997) em Minas Gerais, também observaram esse tipo comportamento em fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual.

O valor encontrado para o quociente de De Liocourt (q) foi 1,7307. Assim, os cenários de planos de manejo para o fragmento em estudo foram criados e encontrados os valores dos parâmetros, os quais estão explícitos na tabela 2.

Tabela 2- Geração dos Planos de Manejo simulados para corte seletivo variando o quociente (q) e G remanescente.

Cenários	q	G rem	D máx	β_0	β_1
1	1,7307	51,2175	74,80	7,7014	-0,1097
2	1,7307	61,4610	74,80	7,8837	-0,1097
3	1,9037	51,2175	74,80	8,1825	-0,1288
4	1,9037	61,4610	74,80	8,3648	-0,1288
5	1,5576	51,2175	74,80	7,0825	-0,0886
6	1,5576	61,4610	74,80	7,2648	-0,0886

Em que: q = quociente de De Liocourt original; G rem = área basal remanescente; D máx = diâmetro máximo de corte; β_{0x} e β_{1x} = parâmetros para cada plano de Manejo.

Sabendo que o DAP mínimo estabelecido para a exploração foi 20 cm, em todos os cenários as três primeiras classes não sofreram remoção. A espécie *Trichilia catigua*, por apresentar seus indivíduos concentrados nas primeiras classes de diâmetro, não sofreu remoção em nenhuma classe em todos planos de manejo, mesmo estando entre as dez espécies que apresentaram maior índice de VI.

Dentre os cenários elaborados o Plano de Manejo 3 foi definido como o mais eficiente para o fragmento, pois respeita o conceito de floresta balanceada e promove um maior equilíbrio entre volume e árvores removidas no fragmento. Neste plano o quociente de De Liocourt foi maior do que o original, retirando assim mais árvores de maiores dimensões, justificando assim a maior produção volumétrica. A área basal remanescente foi igual a 50% da original, respeitando a legislação estadual, que define em 50% o máximo em remoção desta variável.

Tabela 3 - Número de indivíduos explorados por espécie e por classe de diâmetro definido pelo Plano de Manejo 3 e incorporado no RHS do modelo matemático.

Nome Científico	Classes de diâmetro									
	4	5	6	7	8	9	10	11	Total	
<i>Copaifera langsdorffii</i>	30	45	37	14	9	4	1	0	140	
<i>Xylopia brasiliensis</i>	12	25	11	5	5	3	0	1	62	
<i>Ocotea odorifera</i>	16	14	10	3	3	1	0	0	47	
<i>Miconia argyrophylla</i>	29	11	1	0		0	0	0	41	
<i>Amaioua guianensis</i>	3	1	0	0	0	0	0	0	4	
<i>Cryptocarya aschersoniana</i>	13	10	14	3	4	2	3	0	49	
<i>Casearia arborea</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	2	
<i>Ocotea corymbosa</i>	8	12	9	3	2	1	1	0	36	
<i>Trichilia catigua</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Maprounea guianensis</i>	11	6	5	0	0	0	0	0	22	
Total	123	125	87	28	23	11	5	1	403	

Tabela 4 - Volume (m³) explorado por espécie e por classe de diâmetro definido pelo Plano Manejo 3 e incorporado no RHS do modelo matemático.

Nome Científico	Classes de diâmetro									
	4	5	6	7	8	9	10	11	Total	
<i>Copaifera lang.</i>	12,52	29,13	38,62	20,61	18,71	10,94	3,27	0,00	133,83	
<i>Xylopia bras.</i>	4,77	17,30	11,30	7,78	11,16	8,79	0,00	5,34	66,47	
<i>Ocotea odor.</i>	5,66	7,82	8,18	4,28	4,98	1,40	0,00	0,00	32,35	
<i>Miconia argy.</i>	10,65	6,50	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,96	
<i>Amaioua guian.</i>	0,73	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	
<i>Cryptocarya asc.</i>	4,74	7,45	15,06	4,21	7,82	5,14	10,26	0,00	54,72	
<i>Casearia arb.</i>	0,31	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11	
<i>Ocotea corym.</i>	3,66	7,93	8,95	4,52	4,02	2,28	3,24	0,00	34,62	
<i>Trichilia catig.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<i>Maprounea guia.</i>	3,78	3,46	4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,50	
Total	46,86	80,74	87,19	41,42	46,71	28,57	16,78	5,34	353,64	

O modelo de programação linear inteira foi gerado envolvendo restrições volumétricas, número de pátios de estocagem de madeira e restrições de ligação entre árvore e pátio, contabilizando 6.363 restrições. Além disso, o modelo apresentou 5.710 variáveis de decisão contemplando 10 pátios de estocagem e 571 árvores passíveis de exploração encontradas na floresta, sendo no final selecionadas 403 árvores pertencentes as 10 espécies com maior VI.

O software CPLEX Studio IDE encontrou a solução ótima para o modelo em 9 segundos, onde a função objetivo do modelo foi minimizar o somatório do deslocamento dentro do povoamento, tendo como solução factível 23.531,46 m. Este valor não possui grande relevância nos resultados, já que neste estudo não foi feita uma abordagem sobre os custos de deslocamento tomados pela distancia euclidiana (linha reta).

A espécie *Copaifera langsdorffii* (Tabela 5) se destacou em relação às demais, tanto em número de indivíduos (140) quanto em volume de madeira (133,8309 m³) retirados do fragmento, enquanto *Casearia arborea* apresentou apenas 2 indivíduos para o corte, com a soma de volumes igual a 1,1156 m³, ficando a frente apenas da espécie *Trichilia catigua* que não apresentou nenhum indivíduo retirado mesmo estando entre as espécies com maior VI.

Tabela 5 – Resultado do modelo matemático definindo quais árvores da espécie *Copaifera langsdorffii* Desf. foram exploradas.

Pátios de estocagem de madeira	classes de diâmetro							Volume total (m ³) da espécie
	4	5	6	7	8	9	10	
1	3	1	3	6		1		17.9467
2	2	9	8	2	2	2		30.078
3		6	3					7.1956
5	8	16	7	2		1		25.6239
6	2	4	4					6.6869
7	6	3	5	2	2			15.2576
8	6	3		1	2		1	13.2342
9	3		6		2			11.2563
10		3	1	1	1			6.5517
Total Geral	30	45	37	14	9	4	1	133.8309

Considerando o número total de árvores a serem exploradas por espécie e classe diamétrica, estabelecido no plano de manejo, o modelo de PLI foi capaz de indicar quais árvores e o volume total de madeira que devem ser direcionadas para cada pátio de estocagem.

É notório que o modelo testado auxilia no microplanejamento da exploração de remanescentes nativos, buscando a retirada do maior volume de madeira possível, minimizando os deslocamentos na área, sempre respeitando o conceito de floresta balanceada, contribuindo assim com a redução de impactos durante colheita florestal e garantindo a sustentabilidade de tal atividade.

Na literatura o arraste pela parte mais grossa do tronco é ponderado no planejamento da exploração para aumentar a eficiência e reduzir impactos desta operação na floresta. Como a área de estudo apresenta potencial para geração de lenha, o que indica que a árvore abatida será segmentada antes da sua extração, a direção de queda prevista para as árvores não teve influência na geração das trilhas de arraste, servindo apenas como guia de campo.

Em florestas semelhantes ao do presente trabalho não há estudos sobre a distância ideal de arraste de uma tora. Braz e Oliveira (2001) consideram que esta distância de arraste, para florestas de grande porte (Amazônia), utilizando Skidder, varia entre 150 a 200 metros, podendo chegar a 400 metros dependendo das condições presentes no campo, tais como a presença de obstruções na área (topografia, grotas, etc.).

4. Conclusão

Os modelos matemáticos de programação linear inteira são essenciais no planejamento operacional da colheita florestal, quando se objetiva a otimização do processo, permitindo a definição de quais árvores são retiradas da floresta dentre aquelas passíveis de corte. Além disso, estabelece para qual pátio as árvores serão destinadas, o que contribui com a redução dos deslocamentos dentro da área durante a colheita.

Assim, a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) aliado com ao posicionamento preciso das árvores coletado através do GPS, permite a elaboração de mapas consistentes, com elevada riqueza de detalhes, respeitando os limites impostos pelo modelo matemático de programação linear inteira e pelo plano de manejo, facilitando as operações desenvolvidas pelas equipes de colheita florestal e, conseqüentemente, reduzindo os impactos sobre a população remanescente.

5. Agradecimento

Os autores agradecem a FAPEMIG pelo apoio financeiro concedido.

Referências

- Coraiola, M.** Caracterização estrutural de uma Floresta Estacional Semidecidual, localizada no Município de Cássia-Minas Gerais-Brasil. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997. 196 p.
- Dijkstra D P.** Mathematical programming for natural resource management, McGraw Hill Book Co, New York, 1984.
- Fujihara, M. A., Cavalcanti, R., Guimarães, A. e Garlipp, R.,** *O valor das florestas*, Ed. Terra das Artes, São Paulo, Brasil, 2009.
- Imaña-encinas, J. et al.** Distribuição diamétrica de um trecho da Floresta Estacional Semidecidual na área do Ecomuseu do Cerrado. *Cerne*, Lavras, v. 14, n. 1, p. 33-45, jan./mar. 2008.
- Lopes, S. F. et al.** Caracterização ecológica e distribuição diamétrica da vegetação arbórea em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual, na fazenda experimental do Glória, Uberlândia, MG. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 322-335, mar./abr. 2011.
- Machado, C. C., Lopes, E. S.** Planejamento. In: Machado, C. C. (Ed.). *Colheita Florestal*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2008. p.185-230.
- MMA** (Ministério do Meio Ambiente), *Florestas do Brasil em Resumo*, Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, 2010.
- Pinto, S. I. C. et al.** Estrutura do componente arbustivo-arbóreo de dois estágios sucessionais de floresta estacional semidecidual na Reserva Florestal Mata do Paraíso, Viçosa-MG, Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n.5, p. 823-833, 2007.
- Scolforo, J. R. S.,** *Manejo Florestal*, Editora UFLA/FAEPE, Lavras, 1998.