

OTIMIZAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DE PADRÕES DE CORTE NO MANEJO FLORESTAL

Juliana Carneiro Gonçalves*

julianacarneiro@posgrd.ufla.br

Lucas Rezende Gomide*

lucasmomide@dcf.ufla.br

Bruna Carolina Lage de Andrade*

bruna_ufla@hotmail.com

Kalill José Viana da Páscoa*

kalillpascoa@gmail.com

Paulo Henrique da Silva*

phdsflorestal@hotmail.com

Marcos Antônio Isaac Júnior*

maisaacjr@yahoo.com.br

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi integrar o uso de funções de afilamento na geração de padrões de corte, para maximizar o potencial produtivo de toras comerciais de madeira em um povoamento de eucalipto, sendo aliado a um modelo matemático de programação linear inteira, a fim de simular a exploração demandada por produto e garantir uma receita mínima em um povoamento abandonado de eucalipto da Empresa Natura Ltda. de aproximadamente 35 anos. Para tanto, foram cubadas rigorosamente 31 árvores distribuídas em 9 classes de diâmetro e ajustado o modelo de Schöepfer como função de afilamento. As medidas de precisão indicaram que este modelo forneceu um bom ajuste. O tempo de processamento do modelo matemático de otimização do sortimento de toras de madeira foi de 36 segundos. Conclui-se que a integração entre a função de afilamento e o gerador de padrões de corte, bem como o modelo de programação matemática é uma opção para minimizar os resíduos de madeira no campo (perdas em receita), maximizando o aproveitamento da floresta.

PALAVRAS CHAVE. Afilamento. Sortimentos. Programação Matemática.

Área principal (AG&MA - PO na Agricultura e Meio Ambiente)

ABSTRACT

The objective of this study was to integrate the use of taper functions in generating cutting patterns to maximize the productive potential of commercial wood logs in a stand of eucalyptus, being allied to a mathematical integer linear programming in order to simulate the operation demanded by product and guarantee a minimum revenue on a stand abandoned eucalyptus Company Natura Ltda. of approximately 35. Thus, we rigorously scaled 31 trees distributed in 9 diameter classes and the adjusted model Schöepfer as a function of thinning. The precision measurements indicated that this model provided a good fit. The processing time of mathematical model for optimization of the assortment of logs was 36 seconds. We conclude that the integration between the function generator and taper cutting patterns as well as the mathematical programming model is an option to minimize wood waste in the field (loss of revenue), maximizing the utilization of the forest.

KEYWORDS. Thinning. Assortments. Mathematical Programming.

Main area (AG&MA - PO na Agricultura e Meio Ambiente)

* Universidade Federal de Lavras - Campus Universitário, caixa postal 3730, Lavras, MG

1. Introdução

Atualmente, verifica-se uma tendência de substituição de madeiras oriundas de florestas naturais por madeiras de reflorestamento, sendo *Eucalyptus* e *Pinus* os dois principais gêneros plantados no Brasil. A madeira de eucalipto apresenta como características, a dureza, alta densidade e peso, resistência, com textura fina e baixa estabilidade dimensional na sua grande maioria (RECORDE & HESS, 1949). Além disso, é representada por árvores com alta taxa de crescimento, plasticidade, forma retilínea do fuste, desrama natural e madeira com variações nas propriedades tecnológicas, adaptadas às mais variadas condições de uso.

Devido aos aspectos positivos de suas características, extensos plantios de eucalipto têm garantido o abastecimento de inúmeras indústrias consumidoras de matéria-prima florestal. Fato conciliado com o baixo custo e curto prazo de produção, somado principalmente às excelentes condições edafo-climáticas sob as quais o eucalipto cresce no Brasil.

Nesse ambiente favorável ao seu cultivo e mercado, foi possível consolidar o setor florestal brasileiro no âmbito mundial, proporcionando oportunidades de investimento com maior competitividade. Entretanto, para garantir o incremento no número de investimentos, conforme observado nas últimas décadas, faz-se necessário pesquisas e análises contínuas das decisões gerenciais no curto, médio e longo prazo a fim de garantir a sustentabilidade dos empreendimentos. Com esse propósito, é função do gestor florestal, explorar de forma ótima o potencial de um plantio, gerando riquezas e contribuindo positivamente com a sociedade.

Serpa (2003) destaca que o processo de substituição de madeira de origem nativa é irreversível, em virtude do preço, questões legais (legislação e conservação) e dificuldade de obter outros tipos de madeira. Contudo, ainda há resistência em utilizar a madeira de eucalipto para fabricação de móveis (MENEZES, 1998).

Uma das grandes dificuldades do manejo florestal e em especial da avaliação econômica de povoamentos florestais, reside na inexistência de tabelas de sortimento apropriadas que possibilitem determinações rápidas do estoque de madeira para diferentes tipos de aproveitamento. Por essa razão, muitas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de descrever, de forma otimizada, a classificação dos fustes segundo sua qualidade, dimensões e possibilidades de utilização, garantindo, além da classificação física, melhor remuneração da madeira, com a destinação de toras de diversas bitolas ao mercado específico. Além disso, permite ao administrador florestal prognosticar, em diversos horizontes, os sortimentos de madeira em diferentes classes de sítio, permitindo planejar a produção física de toras, bem como a sua renda (SCHMIDT, 1997).

Assim, a necessidade de otimização do uso dos recursos florestais, dentro do conceito de múltiplos produtos da madeira tem justificado e estimulado a realização de importantes estudos sobre o assunto. A aplicabilidade desses estudos é clara, principalmente sob o ponto de vista do planejamento da produção de grandes empresas do setor florestal, em que é fundamental garantir o fluxo contínuo de matéria-prima e a viabilidade econômica da atividade. Quando bem manejadas e direcionadas para obter múltiplos produtos advindos da madeira, as florestas garantem a maximização dos lucros na medida em que são adotadas práticas, com o objetivo de agregar valor à madeira. Além disso, a obtenção de múltiplos produtos reduz o impacto das oscilações do mercado sobre cada produto individualmente (ASSIS et al., 2001).

Neste contexto, segundo Belluzzo e Morabito (2005) o problema de padrões de corte é extensivamente abordado na literatura, sendo aplicado nos mais diversos processos industriais como corte de barras de aço, bobinas de papel e alumínio, chapas de madeira, entre outros. Os autores afirmam que este problema tem como objetivo determinar a “melhor” forma de cortar unidades maiores de material, de forma a atender a demanda dos produtos finais e ao mesmo tempo reduzir a perda de material.

No entanto, de acordo com Arce et al. (2004), os sistemas de inventário e prognose do crescimento da floresta que existem no mercado e possuem módulos de sortimento, informando

ao manejador a quantidade de cada produto que pode ser produzido em cada talhão, consideram apenas a floresta em pé devido à inexistência de cadastros de demandas mínimas por tipo de produto.

Observa-se então, que inúmeras são as áreas de aplicação do problema de corte e as metodologias utilizadas para sua solução, sendo que grande parte destes trabalhos integram heurísticas e programação dinâmica, podendo-se citar os trabalhos de Arce et al. (2004), Belluzzo e Morabito (2005), Silveira e Morabito (2002), entre outros.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi integrar o uso de funções de afilamento na geração de padrões de corte, para maximizar o potencial produtivo de toras comerciais de madeira em um povoamento de eucalipto, sendo aliado a um modelo matemático de programação linear inteira, a fim de simular a exploração demandada por produto e garantir uma receita mínima.

2. Material e métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo pertence à Indústria e Comércio de Cosméticos Natura Ltda., localizada no quilômetro 30,5 da Rodovia Anhanguera (SP330), sentido São Paulo - Campinas (nas coordenadas 23 K 0312485 e 7411132.), no município de Cajamar (SP) apresentando aproximadamente 10,69 hectares. No passado a área apresentava densa cobertura florestal, típica do bioma Mata Atlântica. Entretanto, ao longo dos anos, após inúmeras intervenções antrópicas, a área de Mata Atlântica foi substituída por plantios comerciais de eucalipto.

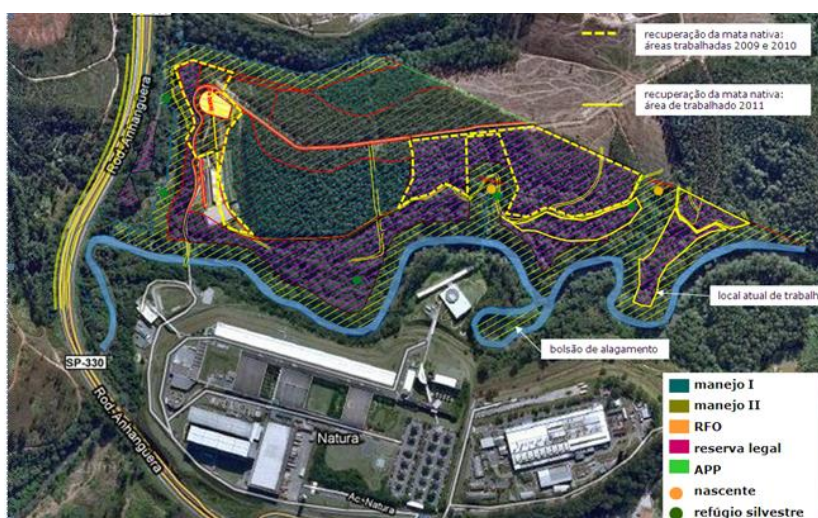


Figura 1-Localização da unidade industrial e da área manejada (área hachurada em roxo), situada às margens da rodovia Anhanguera. Fonte: Google Maps, data das imagens: 14/12/2008.

O clima da área é do tipo Cfb segundo a classificação de Coppe, apresentando temperaturas mínimas e máximas anuais variando em torno de 18°C e 22°C, respectivamente. A precipitação anual média é de 1.300mm, tendo um período chuvoso bem caracterizado, que ocorre no verão (outubro a março), com cerca de 70% do total anual das chuvas. As informações sobre o regime dos ventos na área de estudo indicam predomínio absoluto dos ventos do SE, seguidos pelos ventos em sentido contrário, na direção NW (PROPARK, 2010).

O povoamento em estudo encontra-se abandonado, sendo composto basicamente por *Eucalyptus grandis* com idade média de 35 anos, cultivados nas encostas dos morros e no platô situado nas cotas mais altas do terreno. O povoamento apresenta sub-bosque em diferentes estágios de regeneração, que se encontra mais avançada nos trechos mais próximos das áreas de preservação permanente. Nas proximidades do rio Juqueri, observam-se eucaliptos de grande porte, dispersos aleatoriamente, com cerca de 30 metros de altura, em espaçamento variável.

2.2 Coleta de dados

A partir de cinco parcelas de 600m² (20m x 30m) distribuídas aleatoriamente na área, realizou-se o inventário florestal, onde foram obtidas informações como circunferência altura do peito (CAP), por meio de fita métrica, e altura utilizando o hipsômetro Haga. Posteriormente, o povoamento foi classificado de acordo com a sua distribuição diamétrica. Essa distribuição serviu de base para a seleção do número de árvores a serem cubadas por classe de diâmetro, onde priorizou-se contemplar as classes mais representativas do povoamento devido a grande heterogeneidade do mesmo. Assim, foram cubadas um total de 31 árvores distribuídas nas classes de diâmetro. Durante a operação foram medidos, com fita métrica, os diâmetros nas posições 0,10; 0,30; 0,70; 1,30; 2,30; 4,30 metros e assim sucessivamente, até a altura correspondente ao diâmetro de 7 cm.

A partir dos dados tabulados foi realizada uma análise exploratória dos mesmos para verificar a existência de dados discrepantes, e em seguida foi ajustado o polinômio do quinto grau de Schöepfer (1). O modelo foi ajustado no software estatístico R, sendo avaliada a qualidade do ajuste através dos gráficos de resíduos e das medidas de precisão, como erro padrão residual e coeficiente de determinação ajustado.

$$\frac{d_i}{D} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{H} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{H} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{H} \right)^5 + e_i \quad (1)$$

Onde:

- d_i = diâmetro (cm) correspondente a qualquer altura h_i ;
- D = diâmetro (cm) a 1,3 m de altura;
- H = altura total (m);
- h_i = altura comercial (m);
- β_{is} = parâmetros a serem estimados;
- e_i = erro de estimativa.

Os dados provenientes do inventário foram então agrupados em classes de diâmetro com amplitude de 5 cm, totalizando um total de 8 classes de diâmetro (Tabela 1), sendo o valor central da classe (cm) e a altura total média (m) os *inputs* para se gerar as estimativas pela função de afilamento. O agrupamento dos dados em classes de 5 cm foi uma estratégia adotada para reduzir o número de padrões de corte (variáveis de decisão) no final do processo.

Tabela 1- Distribuição de frequência de árvores por classe de DAP.

Classe de DAP	Frequência total
1	2815
2	3706
3	2744
4	1639
5	1532
6	855
7	356
8	36

2.3 Gerador de padrões de corte

A utilização de funções de afilamento, na geração de padrões de corte, permite estimar o diâmetro da árvore a qualquer altura, tornando-se possível a identificação dos possíveis sortimentos para a mesma. Para tanto, faz-se necessário que se forneça informações técnicas dos produtos como diâmetro mínimo de ponta (cm) e comprimento da seção (m). Assim, foi utilizada a metodologia proposta por Suliman(2001) e adaptada por Silva et al. (2012) para a geração de todos os padrões de corte possíveis para o povoamento florestal em questão. Em suma, para gerar os padrões de corte, o autor utilizou uma árvore de busca. A Figura 2 exemplifica a metodologia desenvolvida por Suliman. Os níveis da árvore de busca representam os diâmetros mínimos dos produtos e estão em ordem decrescente, ou seja, no primeiro nível é testado o produto que requer maior dimensão diamétrica, enquanto o produto de menor diâmetro ocupa o nível mais alto da árvore. A cada nível é testada a quantidade de produtos que pode ser produzida. Em outras palavras, para cada árvore, são gerados todos os seus possíveis padrões de corte, onde, ao final das ramificações, é possível resgatar o número de unidades de cada produto (nível) respectivo ao padrão de corte C_{pk} .

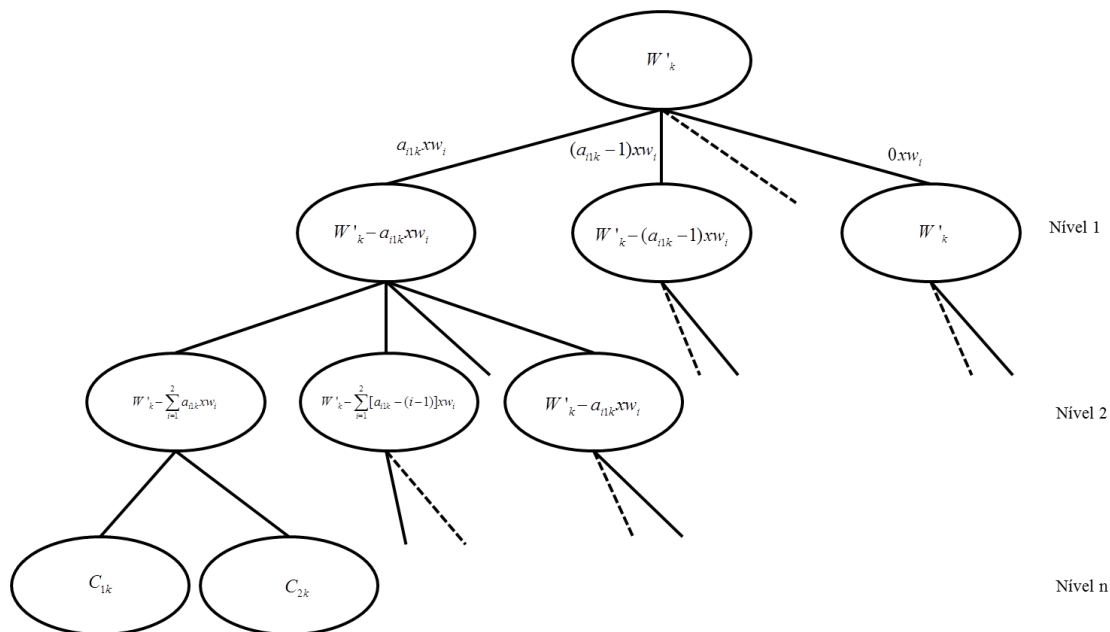


Figura 2. Árvore de busca de padrões de corte. Adaptado de Suliman (2000).

A Tabela 3 apresenta as dimensões simuladas para os 10 produtos testados. O produto lenha não apresenta dimensões, já que é representada pelo resíduo resultante da fabricação dos outros produtos.

Tabela 3 – Dimensões dos produtos testados.

Produtos	Diâmetro mínimo da tora (cm)	Comprimento mínimo da tora (m)
1	7	1,6
2	7	4,0
3	9	1,6
4	9	6,0
5	9	10,0

6	15	1,6
7	15	8,0
8	15	10,0
9	18,5	2,5
10	18,5	6,0

Assim, objetivando a geração de todos os possíveis padrões de corte e a fim de diminuir o número de variáveis de decisão, assim como Silva et al. (2012), dividiu-se a floresta em classes diamétricas onde foram gerados os padrões de corte para cada classe. A Tabela 4 exemplifica um conjunto de padrões de corte gerado pela ferramenta desenvolvida.

Tabela 4 - Exemplo ilustrativo dos padrões de corte gerados para o plantio em estudo acompanhados dos respectivos valores de demanda e preços por produto.

N	Cls	Preço (R\$)	Demanda (un.)									
			2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Onde: cls- Classe de diâmetro; pdc - possibilidades de padrões de corte; p_n- quantidade demandada de cada produto/tora.

2.4 Modelo de Programação Linear Inteira

Um modelo matemático de programação linear inteira (PLI) foi desenvolvido para resolver o problema de seleção de padrões de corte das árvores. Na função objetivo trabalhou-se a minimização do somatório dos resíduos dos padrões de corte até uma altura comercial na árvore (diâmetro igual a 3 cm). Os resíduos representam o volume comercial total da árvore descontado do volume utilizado para a produção das toras especificadas, sendo o produto resultante, classificado como lenha, apresentando ainda um espaço no mercado. A Figura 2 exemplifica as diferentes porções da árvore que foram consideradas como inputs do modelo de otimização.

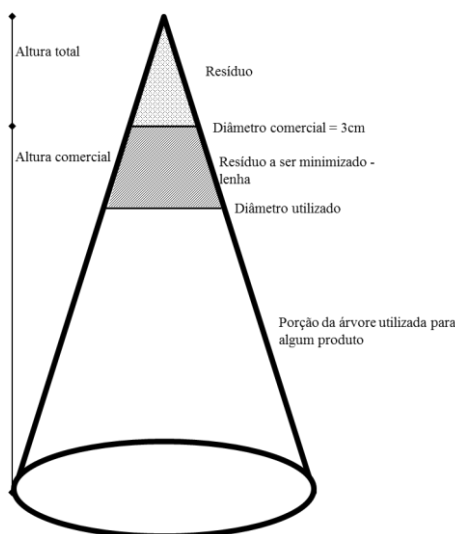


Figura 2. Exemplo ilustrativo da divisão dos inputs do modelo de otimização.

Assim, a função objetivo (2) representa o somatório dos resíduos não aproveitáveis gerados para cada padrão de corte, sendo o objetivo minimizá-lo. Minimizar o resíduo é prioritário pois a empresa deve atender a demanda imposta à ela utilizando a menor quantidade de matéria prima possível e assim, otimizando o processo. As restrições de demanda requisitada para cada produto (tora) i encontram-se em (3), sendo as mesmas representadas por um intervalo mínimo para cada produto de ordem k . Devido ao recurso estocado ser finito, criou-se uma restrição (4) que garantiu um limite máximo de uso dos padrões de corte/classe de diâmetro, sendo este relacionado à frequência de cada classe de diâmetro. Neste ponto, forçou-se o corte raso de todas as árvores presentes nas classes de diâmetro, introduzindo um sinal de igualdade. Segundo Schilling e Georgiadis (2002), os problemas clássicos envolvendo padrões de corte consideram apenas as demandas dos produtos, e uma função para minimizar os resíduos. Entretanto, na prática, somente estas restrições no modelo matemático podem não refletir as expectativas econômicas do processo produtivo. Desta forma, foi introduzida a restrição (5) que confere a geração de uma receita mínima esperada, após o corte e traçamento das árvores. A restrição (6) garante o uso de variáveis de decisão inteira.

Função objetivo:
$$\text{Min}(\text{Resíduos}) = \sum_{c=1}^h \sum_{j=1}^{mk} S_{jc} X_{jc} \quad (2)$$

Sujeito a restrições:

$$\sum_{c=1}^h \sum_{j=1}^{mk} A_{jci} X_{jc} \geq D_i; \quad \forall_i \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{mk} X_{jc} = F_c; \quad \forall_c \quad (4)$$

$$\sum_{c=1}^h \sum_{j=1}^{mk} V_{ji} X_{jc} \geq R; \quad \forall_i \quad (5)$$

$$X_{ij} \geq 0; \quad \forall_i \forall_j \quad (6)$$

Onde: S_{jc} - coeficiente que representa a sobra de madeira (m^3) para a árvore média presente na classe de diâmetro c a ser cortada de acordo com o padrão de corte j ; X_{jc} - variável de decisão inteira que considera o padrão de corte j pertencente à árvore média presente na classe de diâmetro c ; A_{jci} - coeficiente que indica o número de unidades produzidas de produtos/toras i de acordo com o padrão de corte j pertencente à árvore média presente na classe de diâmetro c ; D_i - demanda requisitada do produto/tora i ; m_k - o número de padrões de corte que podem ser produzidos a partir da árvore média presente na classe de diâmetro c ; F_c - frequência de árvores presentes na classe de diâmetro c ; V_{ji} - preço de venda do produto/tora i a ser cortada de acordo com o padrão j ; R - receita mínima total desejada em unidade monetária (R\$).

Buscando simular a funcionalidade do modelo, foram simulados dois cenários. Em um primeiro cenário, foi considerado o uso de 10 produtos (toras) e receita mínima exigida de R\$200.000,00. Já no segundo cenário considerou-se a venda da madeira apenas para lenha, para tanto, a restrição de demanda de produtos foi retirada do modelo matemático. Os modelos foram processados no software LINGO 9.0, utilizando o algoritmo *branch and bound*. Os processamentos dos modelos foram realizados em um computador com processador Intel® core i3 com 500 Gb de HD e 4 Gb de RAM.

3. Resultados e discussão

A análise exploratória dos dados permitiu identificar grande variabilidade nos dados, tendo o coeficiente de variação variado de 28,08% para volume a 52,09% para DAP. Isso ocorre provavelmente por se tratar de uma floresta abandonada de aproximadamente 35 anos, onde não foram aplicados tratos silviculturais. Em plantios comerciais não abandonados e de curto ciclo de corte, essa variabilidade é muito inferior podendo apresentar CV% em torno de 10% para ambas as variáveis (HASELEIN, 2004).

Assim, a partir do ajuste do modelo de afilamento foram obtidos os seguintes valores, para os parâmetros, $\beta_0 = 1,1743$; $\beta_1 = -4,3936$; $\beta_2 = 18,1184$; $\beta_3 = -36,8781$; $\beta_4 = 32,4682$ e $\beta_5 = -10,2607$, sendo as medidas de precisão como erro padrão residual e coeficiente de determinação 0,08844 e 90,91%, respectivamente.

O gerador de padrões de corte forneceu 81.612 opções de corte para todo o povoamento em função de sua distribuição diamétrica. Assim, conforme Tabela 5 e como esperado, as classes de maior diâmetro foram as que apresentaram um maior número de padrões de corte, devido à maior possibilidade de aproveitamento do fuste.

Tabela 5 - Número de padrões de corte por classe de diâmetro obtidos pelo gerador desenvolvido.

Classe de diâmetro	Frequência	Número de padrões de corte
1	2.815	1
2	3.706	11
3	2.744	160
4	1.639	506
5	1.532	1.617
6	855	6.841
7	356	11.056
8	36	61.420
Total	13.683	81.612

Os dois modelos gerados para os dois cenários foram factíveis, tendo ambos alcançado a solução ótima. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos após o processamento dos modelos, sendo obtido uma solução ótima após 36 segundos de processamento para o cenário 1 e 318 segundos para o cenário 2. Ambos os tempos de processamento podem ser considerados baixos, tendo em vista um total de 81.612 variáveis de decisão. Observa-se que a ausência da restrição de demanda mínima diminui a receita aproximada, no entanto, o modelo conseguiu minimizar o resíduo não aproveitável (função objetivo).

Com relação à diminuição do resíduo não aproveitável apresentado no cenário 2 quando comparado ao cenário 1, pode-se inferir que isso foi devido à ausência da restrição de demanda mínima de produtos. Em outras palavras, com a ausência dessa restrição o modelo teve a liberdade de procurar a solução ótima apenas cumprindo a demanda de corte raso e a receita mínima, ou seja, ativando apenas os padrões de corte que resultassem em um menor resíduo não aproveitável por classe de diâmetro, sem se importar com a quantidade dos 10 produtos a serem produzidos, o que já era esperado, já que de certa forma, a inclusão de restrições tende a penalizar a função objetivo.

Tabela 6 - Resultado otimizado do sortimento de madeira produzido para os cenários testados.

Tora (i)	Preço (R\$)	D (cm)	Cs (m)	Demandas (i) Cenários		
				Mín	Solução1	Solução2
1	1,40	7,0	1,6	2.000	5.792	79.860
2	3,89	7,0	4,0	2.000	9.487	21.091
3	1,95	9,0	1,6	2.000	2.053	0
4	9,63	9,0	6,0	2.000	2.000	0
5	24,06	9,0	10,0	2.000	2.000	0
6	4,47	15,0	1,6	2.000	2.000	0
7	53,45	15,0	8,0	2.000	2.000	0
8	66,81	15,0	10,0	2.000	2.000	0
9	10,59	18,5	2,5	2.000	2.000	0
10	50,81	18,5	6,0	2.000	2.000	0
lenha (m ³)	31,00	≥ 3	-	-	24,49	261,85
Receita aproximada (R\$)					520.847,39	2.01460,68
Número de pdc selecionados					17	8
Tempo de processamento (s)					36	318
Variáveis de decisão					81.612	81.612
Restrições					20	10
Função objetivo (Resíduo não aproveitável - m ³)					199.945	126.504

Em que: Preço – Preço da tora (i) no campo (R\$); D – Diâmetro mínimo (cm) de ponta da tora (i); Cs – Comprimento da seção da tora (i); Mín – Demanda mínima requisitada pela tora (i); Solução – resultado do processamento do modelo expresso em número de toras produzidas.

Além disso, o cenário 2, livre de demandas, quando comparado ao cenário 1, apresentou redução de 61,32% da receita. Isso aconteceu pois com a flexibilidade do modelo com relação as

demandas, sendo a função objetivo minimizar as sobras, o modelo ativou os padrões de corte dos produtos de menor dimensão, promovendo um maior aproveitamento da tora e assim redução do resíduo. No entanto, estes produtos de menor dimensão também apresentavam o menor preço, o que provocou a redução da receita.

A Figura 2 apresenta a comparação entre as produções otimizadas para os 10 produtos encontradas após o processamento dos modelos de PLI. Observa-se que todas as demandas foram cumpridas no cenário 1. No cenário 2 observa-se que não houve produção de nenhum dos produtos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10.

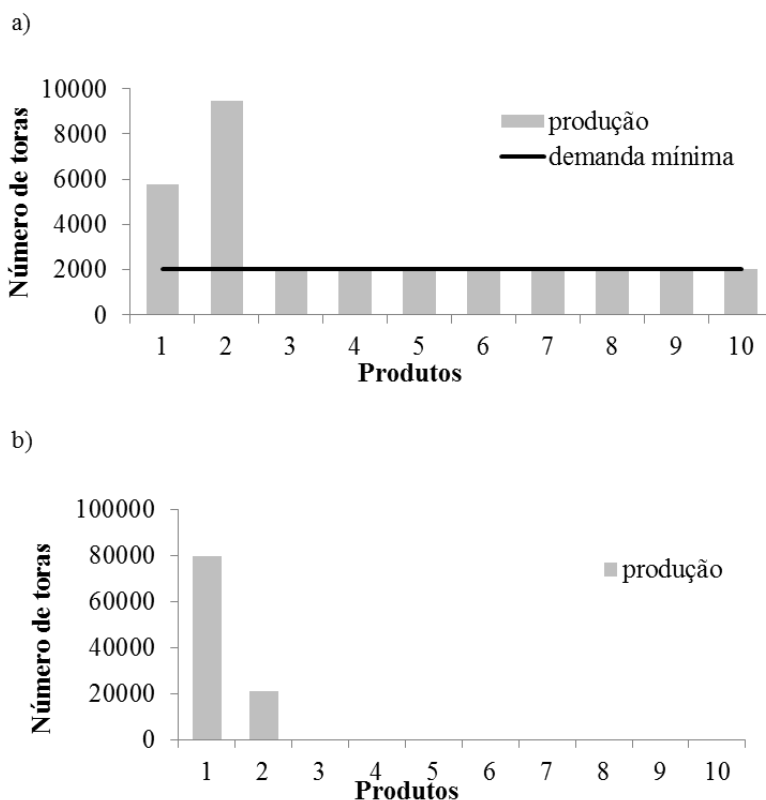


Figura 2. a)Análise resultante da produção otimizada de toras do cenário 1;b)Análise resultante da produção otimizada de toras do cenário 2.

Assim, percebe-se que a adição ou remoção de restrições afetam diretamente a solução ótima do problema. Esse fato explicita a importância da utilização da modelagem matemática no que tange à definição dos múltiplos usos da madeira, ao passo que permite essa metodologia permite ao gestor visualizar a perda ou o ganho que será alcançado com a simulação de diferentes cenários.

4. Conclusão

Conclui-se que o modelo matemático de programação linear inteira possibilita a definição dos padrões a serem seguidos por classe de diâmetro, de forma a minimizar as os resíduos que não podem ser aproveitados, e assim, explorando ao máximo o potencial da floresta.

Além disso, espera-se que este trabalho corrobore para a consolidação da utilização de modelos matemáticos de otimização no meio florestal, auxiliando os gestores na tomada de decisão, principalmente em empreendimentos florestais onde o objetivo principal é a determinação dos múltiplos usos da madeira.

5. Agradecimento

Os autores agradecem a FAPEMIG pelo apoio concedido.

Referências

Arce, J. E.; Macdonagh, P.; Friedl, R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 207-217, 2004.

Assis, A. D.; Scolforo, J. R. S.; Mello, J. D.; Acerbi Júnior, F. e Oliveira, A. D. Comparação de modelos polinomiais segmentados e não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda*. *Revista Cerne*, v. 7, n. 1, p. 20-40, 2001.

Belluzzo, L.; Morabito, R. Otimização nos padrões de corte de chapas de fibra de madeira reconstituída: um estudo de caso. *Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 391-415, 2005.

Haselein, C. R.; Lopes, M.C.; Santini, E. J.; Longhi, S. J.; Fernandes, S. R. D. L. G. e Menezes, F. L. F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

Menezes, L. F. Desdobro, secagem e beneficiamento da madeira de eucalipto- a experiência da Flosul. In: *SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1. ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO*, 1,1998, Belo Horizonte. Anais..Viçosa: SIF, 1998. 132p.

Propark. Parque Natura. Relatório técnico. Piracicaba- SP, 2010. 164p.

Record, S.J. e Hess, R.W. Timbers of the new world. New Haven: Yale University Press, 1949. 640p.

Schilling, G. e Georgiadis, M.C. An Algorithm for the Determination of Optimal Cutting Patterns. *Computers & Operations Research*, n. 29, p.1041-1058, 2002.

Schmidt, P. B. Determinação indireta da relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus taeda*. 1997. 102p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Curitiba.

Serpa, P.N.; Vital, B. R.; Della Lucia, R. M. e Pimenta, A. S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*; *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliotti*. *Revista Árvore*, v.27, n.5, p.723-733,2003.

Silva, P. H.; Gomide, L. R.; Ferreira, M. A. e Almeida, J. C. Otimização do sortimento de madeira em um plantio de eucalipto. In: *XXI CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA*, 2012, Lavras. *Resumos...*Lavras: Associação de Pós-Graduação de Lavras, p. 6.2012.

Silveira, R.; Morabito, R. Um método heurístico baseado em programação dinâmica para o problema de corte bidimensional guilhotinado restrito. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 9, n. 1, p. 78-92, 2002.

Suliman, S. M. A. Pattern generating procedure for the cutting stock problem. *International Journal of Production Economics*, v. 74, n. 1-3, p. 293-301, 2001.