

MODELAGEM DA LOGÍSTICA NA COLHEITA FLORESTAL: UMA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

José Rodrigo Banhara, ESALQ/USP, jbanhara@esalq.usp.br

Jose Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira, ESALQ/USP, jmoreira@esalq.usp.br

Luiz Carlos Estraviz Rodriguez, ESALQ/USP, lcer@esalq.usp.br

José Vicente Caixeta Filho, ESALQ/USP, jvcaixet@esalq.usp.br

Resumo: Devido ao amplo crescimento observado no setor de florestas plantadas nos últimos anos, torna-se cada vez mais importante a análise da logística na cadeia de produção florestal. Dentre as operações realizadas nesta cadeia destaca-se a colheita, por apresentar complexos aspectos a serem analisados em um curto período de tempo. Para a análise desta operação, propõem-se a construção de um modelo básico, por meio de técnicas de programação linear, para representar os processos logísticos relevantes, auxiliando no gerenciamento dos recursos, sob considerações referentes ao estoque atual de madeira, deslocamento do sistema de colheita entre os talhões adjacentes em diferentes épocas do ano e atendimento das necessidades do cliente, de acordo com um fluxo contínuo de produção, em função de períodos de maior intensidade de chuvas. Com a realização deste estudo foi possível gerar um cronograma de colheita, estabelecendo uma rota ótima de execução, respeitando uma seqüência lógica de continuidade de colheita dentro de cada talhão. Além disso, foi possível observar o desempenho deste modelo em diferentes cenários para adequar sua utilização em casos reais. E ainda, foi possível identificar potenciais avaliações, com relação á subutilização ou ampliação do sistema de colheita ou contratação de equipes externas em determinados períodos.

Palavras chaves: Programação Linear; Colheita Florestal; Logística.

1. Introdução

O termo logística pode ser definido genericamente segundo DASKIN (1985) como o planejamento e controle de sistemas, sendo estes físicos, gerenciais ou informacionais, com o intuito de que insumos e produtos sejam alocados corretamente, superando de forma econômica os condicionantes espaciais e temporais.

Para a aplicação da logística, é importante considerar os custos e o gerenciamento integrado das atividades, sendo estes vitais para o sucesso ou fracasso de um determinado produto ou indústria (BALLOU, 1992). Além disso, devido a intensiva competição em mercados globalizados, a performance da logística em uma determinada cadeia é considerada como uma importante ferramenta estratégica para alcançar e manter a competitividade .(MOURITS & EVERS, 1995).

Levando-se em consideração estes aspectos, a logística aplicada ao setor de florestas plantadas pode ser definida com a gestão da cadeia completa de produção, incluindo tanto

serviços primários, diretamente vinculados às operações de colheita e distribuição, quanto ações de apoio, fornecidas por segmentos vinculados à formação, quantificação e caracterização da floresta, bem como manutenção mecânica, desenvolvimento de sistemas operacionais e controles econômicos e financeiros (GUIMARAES, 2004).

Na maioria dos empreendimentos florestais, as operações vinculadas ao abastecimento de um determinado centro processador são consideradas como as mais dispendiosas de todo o processo de produção florestal (VIEIRA, 2004). Esta afirmação está embasada, principalmente, em aspectos econômicos, visto que aproximadamente 50% do custo da madeira se deve à colheita e transporte (ANDRADE, 1998).

A colheita florestal pode ser definida como um conjunto de atividades efetuadas em um determinado povoamento florestal, visando preparar e extrair a madeira até o local de transporte, fazendo-se uso de técnicas e padrões estabelecidos, com a finalidade de transformá-la em produto final. Deve-se destacar nesta operação o transporte primário, o qual refere-se à movimentação da madeira desde o local de corte até à estrada, carreador ou pátio intermediário. (MACHADO, 2002).

Além das atividades supracitadas, acrescenta-se à operação de colheita florestal a atividade de descascamento em campo, a qual auxilia na redução da exportação de nutrientes através da casca, prevenindo danos na capacidade de sustentação do sítio, diminuindo a necessidade de reposição desses nutrientes (VITAL 1996).

Para a realização de análises voltadas ao planejamento de um determinado processo, pode-se contar com o apoio de uma área da ciência denominada pesquisa operacional, a qual possui métodos que se baseiam essencialmente na definição de um modelo que represente adequadamente o problema e permita um tratamento matemático mais rigoroso (RODRIGUEZ, 2005).

Dentro da Pesquisa Operacional, a Programação Linear (PL) é uma das mais antigas técnicas e continua a ser a mais utilizada atualmente (KEYS, 1995). Esse método matemático é bastante utilizado em “situações de tomadas de decisão” que necessita a escolha de uma das opções dentre muitas. Essa técnica pode ser aplicada em problemas que permitem a definição de um objetivo em termos quantitativos (RODRIGUEZ, 1987). Os problemas de PL envolvem a otimização de uma função linear (função objetivo) sujeita a restrições lineares que podem ser expressa em equações ou inequações (GOLDFARB & TODD, 1989).

As aplicações de técnicas de programação linear, voltadas à resolução de problemas relacionados ao planejamento estratégico, tático e operacional da colheita florestal foram amplamente estudadas nas últimas décadas. Sendo que, atualmente, a incorporação de

análises espaciais e integração entre os níveis hierárquicos de planejamento são alvos de diversos estudos em literatura nacional e principalmente internacional.

Pode-se citar, os estudos realizados por CHURCH *et al.* (1998) e WEINTRAUB & CHOLAKY (1991), os quais desenvolveram modelos para representar a estrutura hierárquica do planejamento florestal, considerando a interação espacial das unidades de manejo e sua integração. MARTELL *et al.* (1998), apresentam importância da integração de atividades, principalmente quanto aos níveis tático e operacional, utilizando os conceitos de roteirização aplicados ao manejo florestal.

No estudo realizado por MITCHEL (2004), voltado à resolução de problemas relacionados ao agendamento operacional de colheita, sendo avaliado a alocação de equipes de colheita, identificando sua rota de trabalho, tipos de produtos a serem explorados e destinação destes produtos aos mercados consumidores, incorporando o agendamento de transportes.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo construir um modelo básico, através da utilização de técnicas de programação linear, capaz de representar os processos logísticos relevantes para a colheita florestal. Especificamente, propõe-se a elaboração de um modelo visando a maximização da receita líquida da produção de madeira, sob as restrições referentes ao estoque atual de madeira, deslocamento do sistema de colheita entre os talhões adjacentes em diferentes épocas do ano e atendimento das necessidades do cliente, de acordo com um fluxo contínuo de produção, em função da intensidade de chuvas.

2. Materiais e Método

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos através de pesquisas em empresas florestais atuantes no estado, informativo de preços de produtos florestais (CEPEA, 2006), informativo de dados meteorológicos (EMBRAPA, 2006). Foi representado um projeto florestal localizado em uma região de clima “Aw”, segundo a classificação de Köppen, caracterizando duas épocas distintas, sendo o verão com altas temperaturas e precipitação e inverno com baixas temperaturas e precipitação.

Em função da distribuição da precipitação média mensal, foi possível definidas as curvas de produtividades dos talhões, considerando-se neste caso que o incremento mensal do povoamento florestal é influenciado diretamente pela quantidade de chuva ocorrente naquele mês. Outro fator importante a ser considerado se refere à idade do povoamento, sendo possível a identificação de estágios diferenciados de crescimento. A figura 2 a seguir apresenta as curvas de crescimento deste povoamento florestal em função da precipitação e idade, ao longo do horizonte de planejamento.

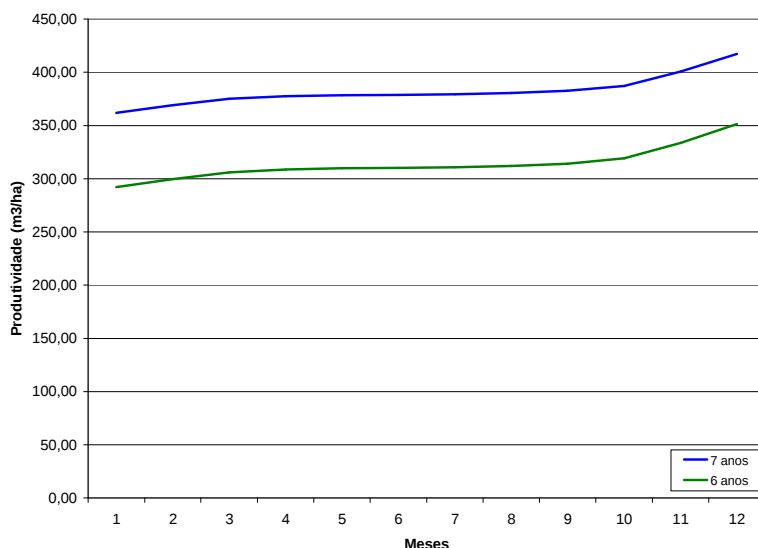


Figura 2. Curvas de crescimento do povoamento florestal em função da distribuição pluviométrica e idade, ao longo do horizonte de planejamento.

Para representar a dificuldade no acesso aos talhões na época de maior concentração de chuvas, foram estabelecidos limites de máximos de colheita ao longo do ano. Tais dificuldades são influenciadas principalmente pelas condições das estradas nestes meses e possíveis impactos ambientais a serem causados pela entrada de máquinas pesadas nos talhões. Desta forma, um maior volume de madeira a ser colhido é direcionado para os meses com menor pluviosidade. Estes limites de extração de madeira estão expressos na figura 3 a seguir:

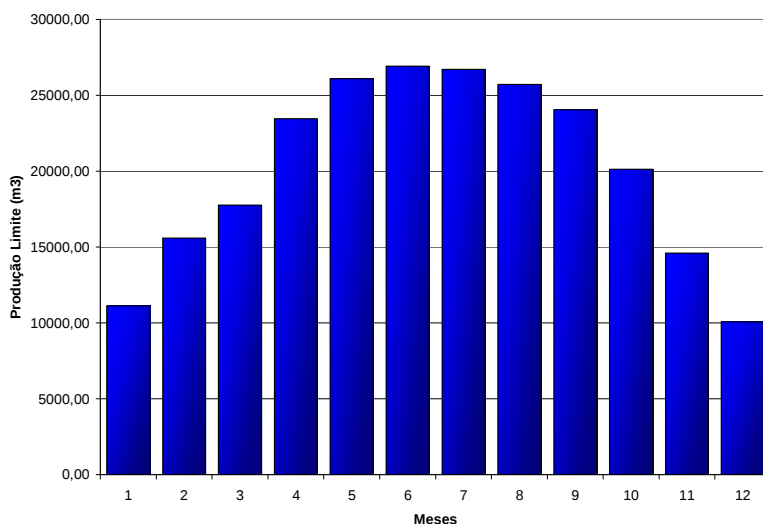


Figura 3. Limites máximos mensais de madeira a ser colhida.

Um outro importante aspecto a ser considerado na operação de colheita florestal se refere ao deslocamento do sistema entre os talhões. Sendo que, deve ser contabilizado o raio econômico para deslocamento das máquinas a serem utilizadas, bem como as distâncias entre

os talhões a serem colhidos. Para representar este aspecto foi construído o grafo de adjacência entre os talhões, conforme ilustrado na Figura 4 a seguir:

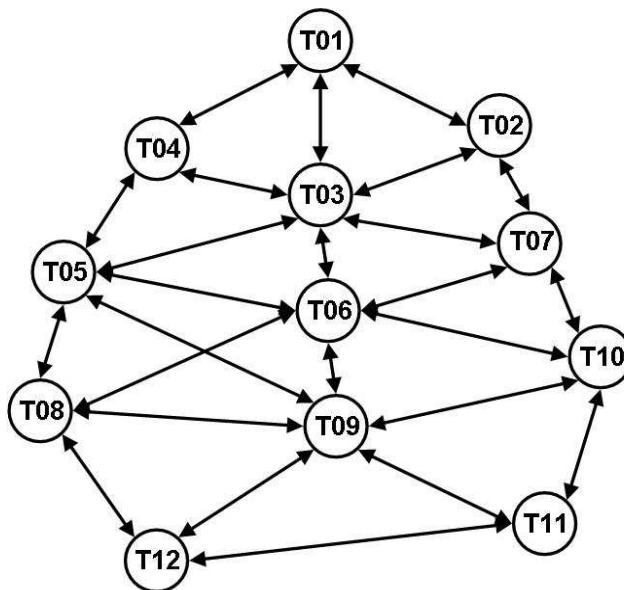


Figura 4. Grafo de adjacência entre os talhões agendados para a colheita.

O sistema selecionado para realizar a operação de colheita pode ser classificado como sistema de tora longas, sendo que, o corte e transporte primário são realizados com as árvores inteiras, sem o seu traçamento em toras, auxiliando no aumento do rendimento destas atividades. Este sistema é composto pelas atividades de corte, transporte primário, traçamento, descascamento e redistribuição de resíduos no campo. Na Tabela 1 são apresentados os custos e rendimentos médios de cada atividade, número de equipamentos em cada atividade, bem como, o custo total e rendimento máximo para a operação de colheita.

Tabela 1. Rendimento e custo médio das atividades para a operação e colheita..

Atividade	Equipamento	Rendimento unitário (m3/h)	Custo unitário (R\$/m3)	Nº de equipamentos	Rendimento total (m3/h)	Custo total (R\$/m3)
Corte	Feller Buncher	90.00	2.05	1	90.00	2.05
Transp. Primário	Skidder	90.00	1.60	1	90.00	1.60
Traçamento	Trator + grua + cabeçote	44.00	2.32	2	88.00	4.64
Descascamento	Descascador	13.00	2.57	6	78.00	15.42
Redistribuição de resíduos	Trator + carreta	37.77	1.32	2	75.54	2.64
Total da operação					75.54	26.35

Para a realização deste estudo, foi elaborado um modelo matemático, utilizando-se a programação linear inteira mista (PLIM). Este modelo foi estruturado para maximizar a receita líquida da produção, sendo o resultado da somatória da renda bruta, subtraindo-se a somatória do custo da operação de colheita e a somatória do custo de deslocamento entre os talhões. Através da opção de maximizar a receita líquida, promove-se a seleção dos talhões

mais produtivos, os quais contribuem para a viabilidade da operação, de acordo com o período e análise.

Os índices utilizados neste modelo são:

i e i' = conjunto de talhões agendados para colheita, sendo $i \neq i'$;

j e j' = períodos (quinzenas) para a realização da colheita, sendo $j \neq j'$.

Desta forma, a função objetivo deste modelo pode ser definida como:

$$MAX \left((R_j - C_i) \times \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} \times P_{ij} \right) - \sum_{j=1}^J \left(\sum_{i=1}^I \sum_{i'=1}^{I'} ARCO_{ii'j} \times D_{ii'} \times L_{ii'} \right)$$

Onde:

R_j = Preço de venda da madeira (R\$/m³) de acordo com o período j , sendo igual a R\$ 60,00/m³, neste estudo;

C_i = Custo da operação de colheita no talhão i , sendo igual ao custo total do sistema de colheita neste estudo;

X_{ij} = Área colhida no talhão i e período j ;

P_{ij} = Produtividade do talhão i no período j ;

$ARCO_{ii'j}$ = Ligação entre os talhões i e i' em um determinado período j , sendo valor 1 para uma ligação estabelecida e 0 não estabelecida;

$D_{ii'}$ = Distância entre os talhões i e i' ;

$L_{ii'}$ = Custo de deslocamento entre os talhões i e i' .

As restrições construídas para balizar o modelo proposto são:

- Limite de colheita por talhão, não sendo superior a área total do mesmo:

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} \leq AREA_i$$

- Demanda máximo quinzenal de madeira estabelecido pela fábrica:

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} \times P_{ij} \leq RD_j$$

- Equilíbrio a ser estabelecido em relação à entrada, permanência e saída da equipe de colheita em cada talhão (nó) na formação da rota de colheita:

$$PE_{ij} = PE_{ij-1} + \sum_{i'=1}^I ARCO_{i'ij} - \sum_{i=1}^I ARCO_{ii'j}, \quad j > 1$$

- Escolha dos talhões de entrada no início do horizonte e de saída no final do horizonte:

$$\sum_{j=1}^1 PE_{ij} = 1; \quad \sum_{j=16}^{16} PE_{ij} = 1$$

- Condições de entrada e saída única no espaço:

$$\sum_{i'=1}^I ARCO_{i'ij} + PE_{ij-1} = 1, \quad j > 1; \quad \sum_{i=1}^I ARCO_{iir'j} + PE_{ij} = 1, \quad j > 1$$

- Condições de entrada e saída única no tempo:

$$\sum_{i'=1}^I ARCO_{i'ij} \leq 1, \quad j > 1; \quad \sum_{i=1}^I ARCO_{iir'j} \leq 1, \quad j > 1$$

- Continuidade de colheita em um determinado talhão ao longo do tempo:

$$X_{ij} \leq AREA_i \times \left(\sum_{i'=1}^I ARCO_{i'ij} + \sum_{i=1}^I PE_{ij'} \right), \quad j' < j; \quad \sum_{i=1}^I X_{ij'} = AREA_i \times \sum_{i=1}^I ARCO_{iir'j}, \quad j' < j$$

- Rendimento máximo da equipe de colheita em função das horas trabalhadas em cada período:

$$\frac{\sum_{j=1}^J X_{ij} \times P_{ij}}{HORAS_i} \leq RE_j$$

$AREA_i$ = Área total do talhão i ;

RD_j = Demanda máxima de madeira para o período j ;

PE_{ij} = Permanência no talhão i durante o período j ;

$HORAS_i$ = Horas efetivas trabalhadas em cada período, sendo igual a 160 h/quintzena neste estudo;

RE_j = Rendimento da equipe de colheita (m^3/h) em cada período, sendo igual ao rendimento médio do sistema de colheita, neste estudo.

O cenário a ser estudado é composto por 12 talhões a serem colhidos em um horizonte de planejamento de 16 períodos. Além disso, para realizar uma tentativa de validação deste modelo e avaliar seu desempenho com diferentes quantidades de variáveis a serem analisadas, foram selecionados apenas 9 talhões a serem colhidos em um período máximo de 12 quinzenas, compondo um segundo cenário.

3. Resultados e Discussão

A resolução do modelo proposto neste estudo, para ambos os cenários, foi obtida através da utilização do software especializado GAMS (BROOKE *et al.*, 1998) por meio do solver CPLEX.

Com a resolução do modelo para os dois cenários propostos, pôde-se, para o primeiro cenário, chegar a uma solução ótima com tempo de processamento equivalente a 9 h., 26 min., 23.74 s. Já para o cenário de validação, foi possível obter uma solução ótima sob o tempo de processamento de 3 min., 30.05 s. Comparando-se as diferenças entre o número de variáveis envolvidas nestes cenários e seus respectivos tempos de processamento, pode-se observar o comportamento do modelo, apresentando um crescimento praticamente exponencial e acordo com o aumento de poucas variáveis. Este comportamento é considerado típico para problemas de roteirização, por envolver variáveis inteiras, tendo-se como referência em literatura o conhecido problema combinatorial do caixeiro viajante (Travel Salesman Problem), descrito por MILLER *et al.* (1960, citado por IGNIZIO & CAVALIER, 1994).

A rota ótima estabelecida e cronograma de execução de colheita contendo suas respectivas áreas a serem colhidas por talhão e quinzena podem ser observados na Tabela 2 a seguir. Nota-se, que foi selecionada apenas uma rota para o sistema colheita, sem a ocorrência de sub-rotas ou rotas sem ligação. Desta forma foi possível identificar um caminhamento claro para a colheita dos talhões.

Também, pode ser observada uma seqüência contínua de colheita dentro de cada talhão, evidenciando a característica de continuidade de colheita no talhão ao longo do horizonte, sendo condizente com a realidade da operação de colheita florestal. Além disso, evidenciam-se diferenças entre as áreas colhidas por talhão e quinzena, devido a produtividades dos talhões de acordo com a quinzena e os limites de produção e rendimento por quinzena.

Outro aspecto interessante a ser observado foram as áreas onde não houve colheita no horizonte de planejamento, sendo identificadas como 49,28% da área total do talhão T04 e toda a área do talhão T05. Este resultado caracteriza a limitação do sistema para a colheita de todos os talhões no horizonte pré-estabelecido. Sendo este um importante indicativo da necessidade de se avaliar a viabilidade de aumento no rendimento do sistema de colheita, investindo na aquisição de máquinas e mão-de-obra especializada para suprir esta demanda, ou mesmo, avaliar a contratação de serviços terceirizados para auxiliar nesta operação.

Tabela 2. Cronograma quinzenal de colheita por talhão.

Talhões	Horizonte de Planejamento (quinzenas)																Área Total Colhida (ha)	% da Área Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		

T03		47.98	100
T06		46.5	100
T09		43.57	100
T08		43.78	100
T12		38.71	100
T11		38.77	100
T10		39.6	100
T07		44.56	100
T02		41.63	100
T01		43.73	100
T04		24.18	50.72
T05		0	0
Total		453.01	86.55

Com relação ao volume total de madeira colhida por período, a Figura 5 apresenta esta distribuição para o horizonte de planejamento, além do déficit de volume como sendo a diferença entre a demanda máxima pré-estabelecida e o volume colhido. Pode-se notar que até o oitavo período todo o volume de madeira demandado foi colhido totalmente, devido ao fato de o valor máximo demandado nestas quinzenas serem menores que o rendimento do sistema. Porém, a partir da nona quinzena, evidência-se a ocorrência de déficit de madeira, ou seja, o volume demandado não está sendo totalmente colhido. Isto pode ser justificado pelo fato de que com o rendimento atual do sistema de colheita não foi possível atender toda a demanda. Sendo necessário, para o atendimento completo da demanda, analisar as opções de ampliar o rendimento do sistema de colheita ou avaliar a contratação de equipes formada por terceiros. Torna-se possível observar, por esta figura, a época em que o sistema atual é capaz de colher o volume demandado, da mesma forma em que é possível identificar o período e a quantidade de volume em déficit de demanda para a realização desta avaliação.

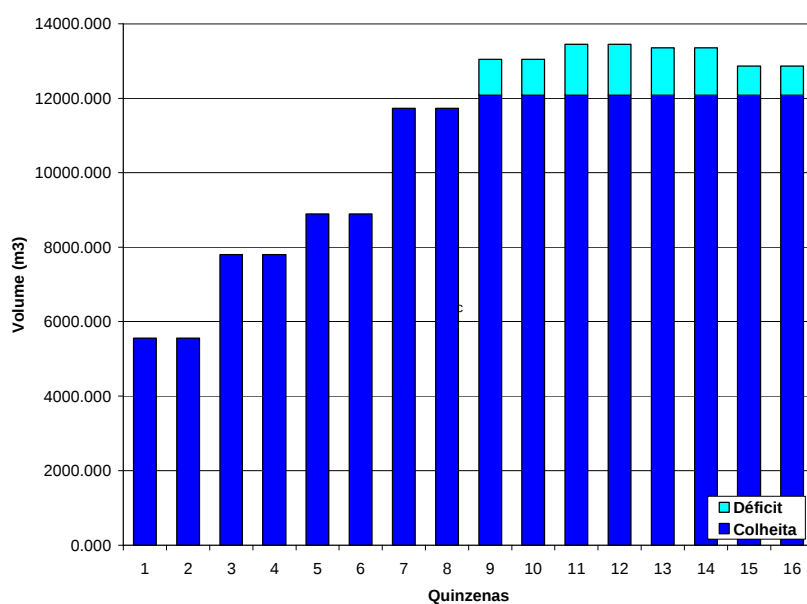
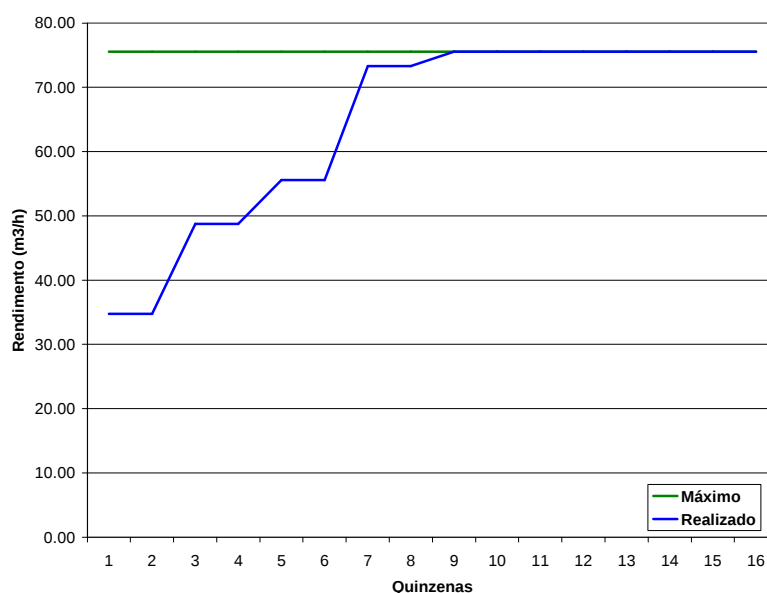


Figura 5. Volume colhido de madeira e déficit de demanda.

Outro importante aspecto a ser analisado, embora já mencionado anteriormente, com a resolução deste problema, refere-se ao comportamento do rendimento do sistema de colheita em cada período, apresentando-se, na Figura 6, sua distribuição durante o horizonte de planejamento. Por esta figura, podem-se observar duas épocas distintas, sendo a primeira relacionada à subutilização do sistema nos períodos onde este é capaz de atender a demanda pré-estabelecida. Este caso, torna-se possível realizar uma avaliação quanto ao redimensionamento do sistema, de forma a utilizar somente as máquinas necessárias para atender tais demandas, aumentando seu rendimento nestes períodos.

A segunda época a ser analisada se refere aos períodos onde o sistema não consegue atender a demanda máxima de volume pré-estabelecida, atingindo seu rendimento máximo. Da mesma forma em que foi possível observar tanto para a análise da distribuição de volume quanto para o cronograma de colheita, a distribuição dos rendimentos do sistema de acordo com o período pode ser utilizada como subsídio para a avaliação da ampliação do sistema ou contratação de mão-de-obra externa, ressaltando-se neste caso a análise de possíveis incrementos nos rendimentos de colheita em cada período.

**Figura 6.** Rendimento do sistema de colheita comparado com seu limite máximo por período.

4. Conclusões

Com a realização deste estudo, foi possível elaborar um modelo básico para auxiliar na logística da operação de colheita florestal, obtendo-se um cronograma quinzenal de colheita, além de estabelecer uma rota ótima para sua execução, respeitando-se a característica de continuidade de colheita em cada talhão ao longo dos períodos.

A análise do comportamento deste modelo em cenários diferentes promoveu a observação de profundas diferenças quanto o tempo de processamento, além da mesma tendência quanto ao comportamento das variáveis de análise. Sendo estes, importantes fatores a serem considerados na validação deste modelo, a fim de ser utilizado em problemas reais;

Por fim, foi possível identificar duas potenciais análises a serem elaboradas com a utilização deste modelo. Sendo a primeira relacionada à subutilização do sistema em períodos onde se é capaz de atender a demanda de volume pré-estabelecida. Já a segunda avaliação se refere a viabilidade da ampliação do sistema de colheita ou contratação e equipes externas em períodos de não atendimento a demanda e ainda, quanto aos seus possíveis acréscimos no rendimento em cada período de colheita analisado.

5. Referências Bibliográficas

- ANDRADE, S. C. **Avaliação técnica, social, econômica e ambiental de dois sistemas de colheita florestal no litoral norte da Bahia**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1998. 125p.
- BALLOU, R. **Business Logistics Management**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1992.
- BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A.; RAMAN, R.; ROSENTHAL, E. **GAMS – A user's guide**. Washington: GAMS Development Corporation, 1998. 276p. Disponível em: <http://www.gams.com/docs/gams/GAMSUsersGuide.pdf/>. Acesso em: 21 out. 2006.
- CEPEA. **Informativo CEEA – Setor florestal**. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Piracicaba. n 59. 2006. 4 p. Disponível online em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/florestal/>. Captado em 22/11/2006.
- CHURCH, R. L.; MURRAY, A. T.; WEINTRAUB, A. **Locational issues in forest management**. Location Science. v. 6. 137 – 153 p. 1998.
- DASKIN, M. S. **Logistics: An Overview of the State of the Art and Perspectives on Future Research**, Transportation Research. v. 19, n.5/6, p. 383-398. 1985.
- EMBRAPA. **Banco de Dados Climáticos do Brasil**. Disponível on-line em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>. Captado em 22/11/2006.
- GOLDFARB, D.; TODD, M. J. **Linear Programing**. In: NEMHAUSER, G. L.; KAN, A. H. G. R.; TODD, M. J. (ed). Optimization. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1989. v.1. 2ed. cap.2. 73-165.

- GUIMARÃES, H.S. A logística como fator decisivo das operações de colheita e transporte florestal. In: **XIII Seminário de Atualização sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal**. Curitiba: UFPR, 2004. p.127-46.
- IGNIZIO, J. P.; CAVALIER, T. M. **Linear programming**. Prentice hall. Englewood Cliffs. New Jersey. 1994.
- KEYS, P. **Understanding the process of Operational Research: collected readings**. England: Wiley and Sons, 1995: cap.17, p.269-302.
- MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2002. 468p.
- MARTELL, D. L.; GUNN, E. A.; WEINTRAUB, A. **Forest management challenges for operational researchers**. European Journal of Operational Research. v.104 p. 1 – 17. 1998.
- MITCHEL, S. A. **Operational Forest Harvest Scheduling Optimisation: A mathematical model and solution strategy**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de Produção. Universidade de Auckland. Nova Zelândia. 2004. 278 p.
- MOURITS, M. & EVERS, J. J. M. **Distribution network design: An integrated planning support framework**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v. 25.n. 5, 1995.
- RODRIGUEZ, L. C. E. **Técnicas quantitativas para a gestão de florestas plantadas**. Piracicaba, 2005. 106 p.
- RODRIGUEZ, L. C. E. **Planejamento agropecuário através de um modelo de programação linear não determinista**. Piracicaba, 1987. 83p. Tese (Mestrado) – Escola Superior Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- VIERA, G.A. Logística de processo florestal - uma abordagem gerencial. In: **XIII Seminário de Atualização sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal**. Curitiba: UFPR, 2004. p.147-92.
- VITAL, A.R.T. **Efeito do corte raso no balanço hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia reflorestada com eucalipto**. Piracicaba, 1996. 106p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- WEINTRAUB, A.; CHOLAKY, A **hierarchical approach to forest planning**. Forest Scienc. V. 37. n. 3. p. 439 – 460. 1991.