

Utilização de programação linear na análise do transporte principal de madeira

Linear program utilization in the wood transport analysis

Roberto Antônio Ticle de Melo e Sousa¹
Marcelo Dias de Souza²
Romano Timofeiczuk Junior³
Edilene Silva Ribeiro²
Alberto Dorval¹

¹ Prof. Dr. Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).
E-mails: ratms@terra.com.br; adorval@terra.com.br

² Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Faculdade de Engenharia Florestal (FENF-UFMT).
E-mails: marcelo.dias@florestal.eng.br; eng.edilene@gmail.com

³ Prof. Dr. Departamento de Economia Rural e Extensão, Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: romano@ufpr.br

RESUMO **ABSTRACT**

O estudo teve como objetivo fazer uma revisão de literatura sobre a utilização da técnica de programação linear como suporte para a tomada de decisão por empresas do setor florestal, especificamente na atividade de transporte principal de madeira, matéria-prima para o abastecimento industrial. O texto discute o grau de adoção da técnica pelas empresas, os resultados obtidos e as principais restrições ou barreiras ao uso e difusão dessa técnica, finalizando com um estudo abordando perspectivas de ordem administrativas ambientais e econômicas. A técnica de programação linear para tomada de decisões no transporte principal de madeira revela-se atual, flexível e bastante adequada, adaptando-se às novas demandas do setor e com um vasto campo ainda a ser explorado dentro do setor florestal, sendo que sua utilização concentra-se principalmente nas empresas de grande porte ou em situações que envolvam maior investimento de capital.

The study has to objective do a review of literature about the use of the technique of linear programming as a support for decision making by forestry companies, specifically in the transport activity main of wood, raw material for supply industrial. The text discusses the degree of adoption of technology by businesses, results obtained and major restrictions or barriers to the use and dissemination of this technique, ending with a study addressing administrative, environmental and economic perspectives order. The linear programming technique for making decisions on transportation of wood has revealed current, flexible and adapted, adapting to the new demands of sector and with a vast field yet to be explored within the forestry sector, being that its utilization concentrated is mainly concentrated in large companies or in situations involving much capital investment.

PALAVRAS-CHAVE **KEY WORDS**

otimização de transporte
pesquisa operacional
programação linear

*optimization model
operational research
linear programming*

INTRODUÇÃO

O ponto básico em uma tomada de decisão na área de produção em economia florestal é encontrar o uso mais eficiente dos recursos produtivos escassos. Essa eficiência tem que estar relacionada aos objetivos do proprietário dos recursos e aos objetivos das indústrias que os utilizam. Uma produção é mais eficiente se resultar em um máximo de produto para uma dada quantidade de recursos ou em um mínimo de quantidade de recursos utilizados para um dado nível de produção.

A Pesquisa Operacional compreende o desenvolvimento instrumental de apoio a esse processo de tomada de decisão com relação aos recursos escassos. A programação linear é um dos métodos mais utilizados, com o objetivo de orientar as indústrias individualmente e facilitar o uso mais eficiente de seus recursos. Essa técnica é de aplicação generalizada em diversos estudos, mas com poucas referências quanto à sua utilização na análise de problemas de transporte principal de madeira no setor florestal. O poder da técnica de programação matemática reside no fato de que, enquanto ela formaliza e processa o problema resolvendo uma situação complexa, também conserva as condições essenciais da situação real.

O estudo teve como objetivo fazer uma revisão de literatura sobre a utilização da técnica de programação linear (PL) como suporte para a tomada de decisão por empresas do setor florestal, especificamente na atividade de transporte principal da matéria-prima madeira para o abastecimento industrial.

1 BARREIRAS AO USO E DIFUSÃO DA TÉCNICA

Vários aspectos são apontados por diferentes autores como razões para a existência de uma grande barreira à adoção e uma maior difusão ao uso de *software* de otimização no planejamento por parte de empresas do setor florestal. Duran *et al.* (1985) consideram a falta de experiência em modelagem, a grande quantidade de dados requeridos pelos modelos, a baixa qualidade e não disponibilidade destes como os principais componentes dessa barreira. Considerando-se o nível de desenvolvimento da informática para a época em que os autores escreveram o trabalho, as dificuldades de processamento de dados deveriam também constar como um dos principais componentes dessa barreira.

Wagner (1986) fez uma estimativa de que um terço dos esforços requeridos para a aplicação de modelos de otimização linear está justamente na atividade de formulação do modelo (modelagem). Tecendo comentários sobre a importância industrial de tais modelos, o autor menciona explicitamente as companhias petrolíferas, que têm desenvolvido modelos de otimização linear para, entre outros fins, determinar a lucratividade bruta em trocar óleo cru de sua propriedade por óleo cru de propriedade de outra companhia.

Oliveira (1993) considera o enorme desenvolvimento experimentado pelo setor de informática como passo decisivo para a absorção e difusão da Pesquisa Operacional pelo setor florestal no Brasil. Acrescentando-se a essa observação, a importância da quebra de reserva de mercado no setor de informática, promovendo um avanço no suprimento de software e hardware.

A falta de conhecimento detalhado (treinamento) do método por parte da direção das empresas e do pessoal técnico, somada à inexperience e formação profissional dos pesquisadores do setor florestal, são apontados por Caixeta Filho (1993) como uma das dificuldades para a não adoção de tais técnicas de modo mais amplo pelo setor florestal brasileiro.

Chinneck e Moll (1995), estudando o processamento de modelos para manejo de florestas na Inglaterra, acrescentaram a lista de barreiras, a forma de apresentação matemática dos modelos de otimização. Surge, então, um problema de comunicação e entendimento entre os profissionais de planejamento e os profissionais de execução, como sendo mais um fato para explicar a existência de barreiras à adoção dessa técnica. De acordo com Chinneck e Moll (1995), a forma matemática dos modelos pode ser bastante compreensível para pesquisadores de sistemas operacionais e para acadêmicos, porém é praticamente inteligível para os trabalhadores ou profissionais de execução.

Hartstela (1997), analisando a adoção dos sistemas de suporte a tomadas de decisão no abastecimento de madeira para indústrias na Finlândia, ratificou as observações feitas por outros autores ao afirmar que, apesar de a técnica já ser utilizada pelas grandes empresas desde o início da década de 90, essa prática não é difundida entre as empresas de menor porte.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A tendência observada nos trabalhos consultados mostra que o desenvolvimento de modelos matemáticos em programação linear aplicada ao setor florestal se divide nitidamente em dois ramos de pesquisas. Um deles é voltado para o manejo integrado de florestas, e o outro, para questões relativas à colheita e transporte de madeira. Mgeni e Price (1993) atestam que o método, desde o início, mostrou-se bastante útil em situações referentes à produção. Sua utilização começou por volta de 1959 com Theiler usando dados hipotéticos para questões relativas ao abastecimento de madeira.

Chappelle (1977) fez um levantamento histórico e observou que, desde 1950, a programação linear tem ganhado terreno como método de alocação de recursos em manejo e planejamento florestal. Martin e Sendak (1973) observaram que o número de publicações nos Estados Unidos utilizando programação linear em florestas, no intervalo de 1950 (primeira vez) até 1970, foi de 105 trabalhos. Aproximadamente 51% desses trabalhos referem-se à alocação da *commodity* madeira e de seus produtos para o mercado consumidor (transportes primário e secundário), 47% referem-se à alocação ótima de pontos de produção e distribuição, e 4% são orientados para questões de otimização de fluxos inter-regionais.

Dykstra (1984), referindo-se à listagem feita por Martin e Sendak (1973), considerou que, no mínimo, ela já triplicou de tamanho, com mais de 305 publicados em 11 anos. Dykstra (1984) menciona ainda as colaborações de Little e Wooten (1972) em trabalho de otimização de pá-tios de estoque. Os primeiros estudos sobre as técnicas de programação matemática, voltada especificamente para as operações de transporte de madeira, surgiram em congressos, conferências e simpósios na primeira metade da década de 60. Constituem-se basicamente de estudos e desenvolvimentos teóricos de modelos, com algumas proposições sem aplicações efetivas, utilizando dados fictícios. Os primeiros estudos de caso com dados empíricos aparecem somente na segunda metade da década de 60.

São três os principais polos responsáveis pelos primeiros avanços no desenvolvimento de modelos matemáticos de programação linear, aplicados ao transporte de madeira. Os países de língua inglesa

Canadá, Estados Unidos e Nova Zelândia constituem um dos blocos; os países escandinavos, preocupados em racionalizar a produção de grandes empresas exportadoras, principalmente Finlândia e Suécia, um segundo bloco; os países de economia planejada (Croácia, Hungria, Polônia, Rússia e Checoslováquia), membros da antiga União Soviética, constituem um terceiro bloco.

Na primeira metade da década de 70, os trabalhos realizados por Barr (1970), Korinek (1972) e Abel (1973) mostraram que a maior preocupação na época era com o domínio da técnica recém-adotada e com o aprimoramento dos métodos através de estudos usando dados fictícios e simulações. Em uma segunda etapa, desenvolveram estudos demonstrando os reflexos da otimização do transporte na organização da indústria e na economia como um todo. Na segunda metade da década de 70, respondendo aos interesses de grandes indústrias no planejamento do transporte de madeira, aparecem os primeiros estudos como os de Gregersen e Nylinder (1979), voltados para o desenvolvimento de modelos aplicados para situações reais utilizando dados empíricos.

Roitto (1975) discutiu teoricamente os problemas econômicos relativos às otimizações no setor florestal para a Finlândia, onde há forte competição entre as indústrias madeireiras. Ao sugerir que o ótimo na alocação da matéria-prima madeira pode não ser aquele que minimiza o custo de transporte, mas sim aquele que maximiza a diferença entre os preços pagos no pátio da indústria (destino) e os custos de colheita (origem) somados aos custos de transporte dessa madeira, o autor demonstra a riqueza de combinações e informações que se pode conseguir no processo de modelagem.

Além disso, comprovou também o porquê da ênfase de vários autores ao item “experiência em modelagem” para o sucesso na utilização prática da técnica. A primeira abordagem (minimização do custo de transporte) fornece uma perspectiva microeconômica com enfoque nas questões administrativas pertinentes ao universo individual das indústrias. A segunda abordagem (maximização da diferença) amplia a perspectiva para questões macroeconômicas permitindo enfoques regionais como, por exemplo, análise e formação de preços.

A década de 80 iniciou estudos mais apurados dos detalhes técnicos, identificando os potenciais de aplicação e os limites dos modelos matemáticos de programação linear aplicados na otimização do

transporte de madeira. Das relações entre povoamentos e indústrias florestais, permeadas pela necessidade do transporte que liga a oferta de madeira com a demanda, surgiram diversas possibilidades teóricas de otimização utilizando programação linear. Todas as possibilidades identificadas por diversos autores ao longo da década consideram o custo mínimo de transporte como referencial nas definições dos modelos.

Primeiramente, temos uma situação como o cenário do trabalho de Rose *et al.* (1984), em que os custos de transporte da matéria-prima definem o melhor local para a instalação de uma serraria. Nesse caso, já se têm definidos a localização e características dos povoamentos fornecedores, as dimensões e os tipos de caminhão que compõem a frota que fará o transporte, faltando definir o local em que se construirá a indústria de transformação.

Uma segunda possibilidade é abordada nos trabalhos de McGuigan (1984) e Miyata *et al.* (1986), que desenvolveram modelos de otimização em programação linear, com o propósito de definir quais os melhores locais de colheita da madeira para o abastecimento industrial (dentro de um elenco), com base no menor custo de transporte. Nesse caso, já se encontram previamente definidos a localização da indústria e o dimensionamento da frota que fará o transporte, faltando definir o local de onde se fará a retirada da madeira, respeitando-se as capacidades de oferta e de demanda.

Hadi *et al.* (1988) apresentaram uma nova perspectiva para a técnica ao considerarem os reflexos da otimização de modelos de transporte na rentabilidade do sistema em que a indústria madeireira se insere, e não mais apenas sobre o comportamento da indústria individualmente. Outra possibilidade foi proposta por Korpilahti (1989), que, trabalhando na Finlândia, desenvolveu um sistema para microcomputadores utilizando planilhas de cálculo e programação linear com o propósito de analisar a taxa de eficiência no uso de caminhões no transporte principal de madeira. É um cenário em que só falta caracterizar e dimensionar a frota para o abastecimento, uma vez que já se tem definida a localização geográfica da indústria e dos povoamentos de onde será retirada a madeira.

Os trabalhos desenvolvidos na década de 90 confirmam as perspectivas de desenvolvimento e aplicação dos modelos de transporte no setor florestal. Tem-se como exemplos, trabalhos em viveiros para

o abastecimento de mudas, como os de Rajive *et al.* (1992), estudos do comportamento da oferta e demanda de madeira industrial como os de Berg e Larsson (1994) e Fukuda *et al.* (1991), estudos da viabilidade técnica e econômica de equipamentos em função do fluxo de transporte como os desenvolvidos por Oijala *et al.* (1993). Na segunda metade dessa década, surgiram trabalhos que dão suporte para que a programação linear continue tendo seu espaço e sendo bastante utilizada em Pesquisa Operacional, apesar da evolução e surgimento de novas técnicas.

Brack e Marshall (1996) e Palander (1997) reafirmaram a condição da programação linear como uma técnica de suporte para tomada de decisão, bastante apropriada e superior às demais, para o caso de operações ligadas ao fluxo de madeira. Martell *et al.* (1998) consideraram 1996 como um ano especial, de intensos esforços e ênfase nos trabalhos produzidos no sentido de incorporar as questões ambientais e ecológicas aos modelos de programação linear do segmento florestal da economia.

A possibilidade de utilização da internet para coordenação do fluxo de transporte dentro e entre as empresas é levantada por Walter e Carlsson (1998), que, com o apoio do Instituto de Pesquisas Florestais da Suécia, desenvolveram um “software” de otimização de rotas para microcomputadores. Carter *et al.* (1999) avançaram nesse sentido, ao fazer uma revisão, fornecendo endereços dos pesquisadores que já utilizam a internet para disponibilizar “software” de Sistemas de Informações Geográficas (GIS), alguns utilizando programação linear para solucionar modelos de transporte primário, aplicados em manejo de recursos naturais.

No Brasil, os trabalhos de Rodriguez *et al.* (1986) e Rodriguez e Moreira (1989) definem uma vertente de pesquisa na utilização de programação linear aplicada ao setor florestal, desenvolvendo sistemas de planejamento para manejo integrado de florestas. A outra vertente voltada para a utilização de programação linear, especificamente para colheita e transporte florestal, iniciou-se na década de 70 com trabalhos de Berger (1975).

Pereira e Paula Júnior (1980) utilizaram programação linear aplicada à produção e ao transporte de carvão vegetal no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, adequando rotas e tipos de caminhos disponíveis com base no custo mínimo de transporte. Seixas e Widmer

(1993) utilizaram programação linear para selecionar e dimensionar frotas de veículos para transporte principal de madeira e afirmaram também a quase inexistência de estudos voltados para esse tipo de transporte.

2.1 MODELOS DE OTIMIZAÇÃO APLICADOS NO TRANSPORTE PRINCIPAL DE MADEIRA

Caixeta Filho (1993) ressalta a importância da adoção de técnicas de Pesquisa Operacional no gerenciamento logístico do transporte, já que ganhos monetários da ordem de 1% ou 2% nos custos de transporte de madeira se mostram bastante significativos. Bidzinska *et al.* (1985) aplicaram um modelo de otimização desenvolvido para racionalizar o transporte e melhorar a eficiência na distribuição de produtos das indústrias madeireiras na Polônia. Os autores conseguem reduzir a distância média percorrida por metro cúbico de madeira posta na fábrica (Km/m³), gerando um ganho de eficiência de 12% no processo de abastecimento.

Carlsson e Arvidsson (1998) fizeram referências diretas a ganhos anuais da ordem de 3,6% para o setor florestal da Suécia devido à otimização de rotas com redução no custo anual de transporte principal de madeira. Esse percentual equivale a uma redução de US\$ 12,5 milhões anuais para a economia do país e a uma diminuição de 6% no tamanho da frota nacional envolvida em transporte de madeira. O desdobramento desses ganhos em termos ambientais se dá sob a forma de menos 20 milhões de quilômetros anualmente percorridos pelos caminhões, com uma redução na queima de óleo diesel da ordem de 6,5 milhões de litros anuais e menos 5% na emissão de gases poluentes da exaustão dos motores.

Weintraub e Abramovich (1995) desenvolveram modelos para tomada de decisão especificamente para o transporte principal de madeira para indústria no Chile, conseguindo melhorar a eficiência do transporte com ganhos variando de 15% a 25%, medidos em termos de necessidade de caminhões, custos operacionais e horas de trabalho. Gabarró *et al.* (1999) desenvolveram um dos poucos sistemas informatizados existentes usando programação linear para tomada de decisão na operação de colheita de madeira.

A principal proposta é maximizar o lucro líquido, atendendo às exigências de demanda e definindo máquinas e equipamentos a serem utilizados. Os resultados da aplicação dos modelos mostram ganhos de eficiência da ordem de 5% a 8% da renda líquida da empresa, quando comparados com o método tradicionalmente usado. Outros segmentos da economia têm lançado mão da mesma técnica com os mesmos objetivos, pois as empresas precisam manter uma performance competitiva no seu desempenho com uma eficiente alocação de seus recursos produtivos. Essa busca por parte das empresas e da economia como um todo é que mantém e sustenta o interesse pela pesquisa em planejamento logístico. O transporte de derivados do petróleo e o transporte de produtos congelados são dois segmentos frequentemente mencionados nas pesquisas em planejamento logístico.

Ross (2000) desenvolveu um modelo de otimização com base na maximização de lucros para o transporte e distribuição de derivados na indústria petrolífera do estado do Texas (EUA). A pergunta que o autor se faz é: qual a extensão da influência do modelo na atual rede de distribuição de derivados? A resposta vem com a comparação entre os resultados do modelo com o transporte realizado pela empresa, apresentando ganhos de eficiência da ordem de 13% na distribuição de derivados e de 3,6% no lucro líquido do sistema de distribuição.

3 OTIMIZAÇÃO E EXTERNALIDADES AMBIENTAIS: UM ESTUDO DE CASO

Os problemas ambientais caminham paralelos ao desenvolvimento econômico. Os transportes que são responsáveis pelo ir e vir, pelo abastecimento da sociedade de uma maneira geral, pela integração dos mercados e pela distribuição de bens não fogem à regra. Além de energia para realizar trabalho, os motores de combustão interna emitem calor, ruído, partículas sólidas, líquidas e gases que são lançados na atmosfera, entre eles o CO₂.

Sousa (2000) realizou um trabalho de otimização do transporte principal rodoviário para seis indústrias consumidoras de toras curtas de eucalipto no estado de São Paulo, na qual utilizou uma programação linear, em que encontrou valores bastante significativos da ordem de 12,8% na redução do custo total de transporte e de 6,2% na redução

da quilometragem anual percorrida para o abastecimento do agregado das seis indústrias. Nas análises do sistema agregado, considera-se o interesse do conjunto como um único grande grupo empresarial fictício, cujo comportamento afeta o bem-estar social, gerando externalidades positivas e negativas. Segundo Randall (1987), externalidade, em um conceito mais amplo, ocorre quando o bem-estar de um indivíduo é afetado por uma atividade sob seu controle ou sob o controle de outrem.

Já é consenso mundial a necessidade de se buscar redução nas emissões de gases de efeito estufa pelas indústrias dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Especificamente para CO₂, a meta aceitável pelas Nações Unidas é atingir no fim de 2012 um nível global de emissão de CO₂ equivalente a 95% daqueles registrados em 1990, com custos estimados de centenas de bilhões de dólares por ano. Os primeiros projetos nesse sentido definem um preço médio de US\$ 12/tonelada de CO, equivalente a US\$ 4/tonelada de CO₂ fixado (COSTA, 1998).

A operação de transporte principal, além de ser a mais importante do ponto de vista de custo de produção da madeira, é também a maior poluidora do meio ambiente, sendo responsável por 57% do total das emissões de gases de efeito estufa que ocorrem nas operações florestais mecanizadas (KARJALAINEN; ASIKAINEN, 1996). Deve-se também levar em consideração a faixa de velocidade média de tráfego dos caminhões no transporte principal de madeira que, segundo resultados encontrados por Winther (1998), se situam exatamente naquela faixa de velocidade considerada a mais poluidora (entre 0 e 50 km/h).

Uma das maiores preocupações dos fabricantes de veículos automotores tem sido a busca de maior eficiência do combustível reduzindo o consumo. Um dos resultados deste estudo é exatamente a maior eficiência operacional da operação de transporte principal de madeira, reduzindo o consumo anual de óleo diesel para um mesmo volume de madeira transportado.

Os resultados obtidos por Sousa (2000) na comparação do transporte principal, conforme é praticado pelas indústrias com o modelo otimizado, promovem expectativas de reduções de 3.350.415 quilômetros no total percorrido anualmente pelos caminhões no abastecimento do sistema. Essas reduções de quilometragem no transporte principal equivalem a uma estimativa de reduções no consumo anual de combustível da ordem de 1.675.207 litros de óleo diesel que não

seriam queimados na combustão interna dos motores e que, portanto, deixariam de poluir¹.

Essa redução na emissão de gases poluentes pode também ser estimada utilizando-se o padrão de emissão de 130 gramas de CO₂ por quilômetro rodado, estabelecido por Joumard *et al.* (1995) para motores a diesel. Correlacionando a redução na quilometragem anual percorrida com o padrão de emissão estabelecido, tem-se, então, uma perspectiva de redução de 6,2% no CO₂ emitido anualmente pela frota devido à otimização do sistema de transporte da matéria-prima madeira.

As alternativas que as organizações mundiais apresentam para as indústrias poluidoras são de adotar medidas tecnológicas para reduzir as emissões, ou para garantir a sua remoção da atmosfera, investindo em projetos de absorção no setor florestal via plantios de novos povoamentos ou via manejo de florestas. Portanto essa redução na emissão de CO₂ sem reduzir os níveis de atividade industrial pode ser considerada uma externalidade positiva do modelo de otimização do transporte principal de madeira, equivalendo ao custo do investimento que seria feito em projetos florestais para garantir sua absorção ou fixação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se perceber que a técnica de programação linear para tomada de decisões no transporte principal de madeira revela-se flexível e bastante adequada, adaptando-se às novas demandas do setor e com um vasto campo ainda a ser explorado dentro do setor florestal, sendo que sua utilização concentra-se, principalmente, nas empresas de grande porte ou em situações que envolvam grandes volumes de capital.

Em relação ao estudo de casos, pôde ser constatado que a situação atual das empresas do setor florestal no Brasil, no que diz respeito à eficiência do transporte principal, assemelha-se bastante à das demais empresas encontradas pelo mundo. As externalidades ambientais não podem ser desconsideradas e quantificadas sempre que possível, em qualquer nova abordagem de estudo semelhante que se faça.

¹ Segundo as condições descritas pela Equipe técnica da Cia Suzano de Papel e Celulose (1996): topografia plano – ondulada, motor de 300 hp, cavalo mecânico + SR 3E, 50 st/viagem, consumo médio de 2km/litro de óleo diesel.

Uma sugestão de variável a ser incorporada em novos estudos diz respeito às externalidades advindas dos custos socioeconômicos (aumento do valor dos seguros, dias de caminhões parados, custos hospitalares etc.) devidos aos acidentes de trânsito, que se reduzem na razão direta da redução da quilometragem anualmente percorrida pelos caminhões no abastecimento industrial de matéria-prima toras curtas de eucalipto.

Várias razões são apontadas para a não adoção da técnica de maneira generalizada, podendo-se mencionar:

- A falta de experiência em modelagem por parte dos profissionais e pesquisadores. A fase de modelagem é apontada por alguns trabalhos como a mais crítica de todo o processo uma vez que é subjetiva, pessoal e extremamente prática, não havendo outro processo de aprimoramento que não seja o da tentativa e erro.
- A linguagem matemática dos modelos gera dificuldades de comunicação e entendimento entre os profissionais dos centros de pesquisa e os profissionais de execução nas empresas do setor. Essa barreira poderia ser contornada por um aprimoramento e adequação do currículo mínimo dos cursos de engenharia florestal do país. Especificamente para o caso brasileiro, a falta de conhecimento da técnica e suas potencialidades por parte dos administradores das empresas e falhas na formação acadêmica dos engenheiros florestais que serão os executores dentro das empresas.

REFERÊNCIAS

ABEL, D. B. Linear programming and its application to the locational planning of wood-processing industries. *New-Zealand Journal of Forestry Science*, v. 2, n. 3, p. 259-269, 1973.

BARR, B. M. *The soviet wood-processing industry*. London: Oxford University Press, 1970.

BERG, M.; LARSSON, H. A planning system for timber transport optimization at Sodra. *Arbetsrapport*, n. 190, 46 p., 1994.

BERGER, R. *Minimização do custo de transporte de madeira de eucalipto no estado de São Paulo*. 1975. 122 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1975.

BIDZISNKA, G.; KOSICKA, K.; WALKOWIAK, M. Optimization of transport in forestry and wood processing industries. *Prace Instituto de Tecnologia – Drewna*, v. 31, p. 3-15, 1985.

BRACK, C. L.; MARSHALL, P. L. A test of knowledge-based forest operations scheduling procedures. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 26, n. 7, p. 1193-1202, 1996.

CAIXETA FILHO, J. V. A utilização de modelagem pelas empresas florestais. *Silvicultura*, n. 52, p. 18-20, 1993.

CARLSSON, D.; ARVIDSSON, P. A. Optimized route planning – good for both: profits and the environment. *Resultat-SkogForsk*, n. 23, p. 4, 1998.

CARTER, D. R.; ARVANITIS, L. G.; BRACKETT, D.; BOYCHEVA, V.; SAGER, S. A decision support system for timber. *Journal of Forestry*, v. 97, n. 6, p. 12-18, 1999.

CHAPPELLE, D. E. Linear programming for forest planning. In: CONVERY, F. J.; RALSTON, C. W. (Ed.). *Forestry and Long - range Planning*. Durham: Duke University, 1977. Cap. 4, p. 129-178.

CHINNECK, J. W.; MOLL, R. H. H. Processing network models for forest management. *International Journal of Management Science*, v. 3, n. 5, p. 499-510, 1995.

COSTA, P. M. Breve história da evolução dos mercados de carbono. *Silvicultura*, n. 76, p. 24-33, 1998.

DURAN, D. O.; VALDEZ, P. F.; COROMINAS, E. R. *Modelos econômicos matemáticos*. Modelos de transporte. Cuba: Universidad de La Habana, 1985. cap. 4, p. 235-309.

DYKSTRA, D. P. *Mathematical programming for natural resource management*. A graphical introduction to linear programming. New York: McGraw-Hill, 1984. cap. 2, p. 16-37.

FUKUDA, S.; YUKUTAKE, K.; ISHIZAWA, H. A study on the transportation problems of timber in remote mountain area. *Bulletin of the Faculty of Agriculture*. Miyazaki University, v. 38, n. 2, p. 153-165, 1991.

GABARRO, J.; CHEVALIER, P.; WEINTRAUB, A.; NIETO, E.; EPSTEIN, R. A system for the design of short term harvesting strategy. *European Journal of Operational Research*, v. 119, n. 2, p. 427-439, 1999.

GREGERSEN, H.; NYLINDER, M. A model for the analysis of timber flow. *Ekonomi-Forskningsstiftelsen-Skogsarbeten*, n. 4, 1979.

HADI, Y.; MOHAMED, S.; VINCENT, A. A microcomputer linear-programming log-allocation model for a Malaysian integrated timber complex. *Resource Management and Optimization*, v. 6, n. 2, p. 153-164, 1988.

- HARSTELA, P. Decision support system in wood procurement. A review. *Silva Fennica*, v. 3, n. 2, p. 215-223, 1997.
- JOUMARD, R.; JOST, P.; HICKMAN, J.; HASSEL, D. Hot passenger car emission modelling as a function of instantaneous speed and acceleration. *The Science of the Total Environment*, v. 169, p. 167-174, 1995.
- KARJALAINEM, T.; ASIKAINEM, A. Greenhouse gas emissions from the use of primary energy in forest operations and long-distance transportation of timber in Finland. *Journal of Forestry*, v. 69, n. 3, p. 215-228, 1996.
- KORINEK, J. A method for the formulation of timber transport planning. *Acta Universitatis Agriculturae*, v. 1, n. 41, p. 63-75, 1972.
- KORPILAHTI, A. A system for analysing truck haulage of timber. *Metsätehon-Katsaus*, n. 12, 1989.
- MARTELL, D. L.; GUNN, E. A.; WEINTRAUB, A. Forest management challengers for operational researchers. *European Journal of Operational Research*, v. 104, p. 1-17, 1998.
- MARTIN, A. J.; SENDAK, P. E. *Operations Research in Forestry*. General Technical Report NE-8, US Forest Service, Upper Darby, 1973, p. 90.
- MCGUIGAN, B. N. A log resource allocation model to assist forest industry managers in process selection and location, wood allocation and transportation and production planning. *Appitta*, v. 37, n. 4, p. 289-296, 1984.
- MGANI, A. S. M.; PRICE, C. Planning of forest plantation investment with the aid of linear programming: a case study of Sao Hill Forest, Tanzania. *Forest Ecology and Management*. v. 62, p. 51-72, 1993.
- MIYATA, E. S.; ZABINSKY, Z. B.; RIDEOUT, D. B.; MANN, C. N. Least cost analysis of log transportation. *American Society of Agricultural Engineers*, p. 86-1605, 1986.
- OIJALA, T.; TERAHA, J.; TOHU, J. Transportation of timber on barges. *Metsätehon-Katsaus*, n. 10-93, 1993.
- OLIVEIRA, A. J. O estado da arte do uso da pesquisa operacional no setor florestal brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, Belo Horizonte, 1993. *Anais... Viçosa: SIF/UFV*, 1993. p. 38-43.
- PALANDER, T. A local DLP-GIS-LP system for geographically decentralized wood procurement planning and decision making. *Silva Fennica*, v. 31, n. 2, p. 179-192, 1997.
- PEREIRA, A. R.; PAULA JÚNIOR, G. G. Dimensionamento de uma frota de caminhões para transporte de carvão vegetal por meio de programação linear. *IPEF Série Técnica*, v. 21, p. 85-95, 1980.

- RAJIVE, K.; RAWAT, J.; KUMAR, R. Application of linear programming to forest nursery planning. *Indian Journal of Forestry*, v. 15, n. 3, p. 254-259, 1992.
- RANDALL, A. *Resource Economics*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1987. 325 p.
- RODRIGUEZ, L. C. E.; MOREIRA, R. M. Gerenciamento de florestas de eucalipto com modelos de programação linear. *IPEF Série Técnica*, v. 6, n. 19, 1989.
- RODRIGUEZ, L. C. E.; LIMA, A. B. N. P. M.; BUENO, A. C.; MARTINI, E. L. Programação linear no planejamento florestal: uma aplicação prática. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 5., Olinda, 1986. Silvicultura, Suplemento. São Paulo, SBS, v. 41, n. 11, p. 163-168, 1986.
- ROITTO, Y. Optimization of roundwood transport. *Silva-Fennica*, v. 9, n. 1, p. 74-87, 1975.
- ROSE, D. W.; EK, A. R.; HOGANSON, H. M.; AUBE, P. A spatial regional timber supply model for industrial expansion. *Forest Products Journal*, v. 34, n. 1, p. 21-27, 1984.
- ROSS, A. D. Performance-based strategic resource allocation in supply networks. *International Journal of Production Economics*, v. 63, n. 2, p. 255-266, 2000.
- SEIXAS, F.; WIDMER, J. A. Seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira, utilizando-se de programação linear não inteira. *IPEF – Série Técnica*, v. 46, p. 107-18, 1993.
- SOUSA, R. A. T. M. *Análise do fluxo de transporte rodoviário de toras curtas de eucalipto para algumas indústrias de celulose e de chapas de composição no estado de São Paulo*. 2000. 115f. Tese (Doutorado) – DESR/ESALQ/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- WAGNER, H. M. *Pesquisa operacional*. 2. ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 1986.
- WALTER, F.; CARLSSON, D. Internet open new doors: coordination and decentralization - new system leads the way. *Forestry Research Institute*, n. 24, 1998.
- WEINTRAUB, A.; ABRAMOVICH, A. Analysis of uncertainty of future timber yields in forest management. *Forest Science*, v. 41, n. 2, p. 217-234, 1995.
- WINTHER, M. Petrol passenger car emissions calculated with different emission models. *The science of the total environment*, v. 224, p. 149-160, 1998.