



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1679-2599

Dezembro, 2005

Documentos 118

Planejamento da Exploração em Florestas Naturais

Evaldo Muñoz Braz

Colombo, PR
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, km 111 - Colombo-PR

Caixa Postal 319

Fone/Fax: 41-3675-5600

Home page: <http://www.cnpf.embrapa.br>

E-mail (sac): sac@cnpf.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Luiz Roberto Graça

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Alvaro Figueredo dos Santos, Edilson Batista de Oliveira, Honorino Roque Rodigheri, Ivar Wendling, Maria Augusta Doetzer Rosot, Patricia Póvoa de Mattos, Sandra Bos Mikich, Sérgio Ahrens

Supervisor editorial: Luiz Roberto Graça

Normalização bibliográfica: Lidia Woronkoff e
Elizabeth Câmara Trevisan

Imagem da capa:

Revisão gramatical: Mauro Marcelo Berté

Editoração eletrônica: Cleide da S. N. Fernandes de Oliveira

1ª edição

1ª impressão (2005): sob demanda

CIP – Brasil. Catalogação-na-Publicação
Embrapa Florestas

Braz, Evaldo Muñoz.

Planejamento da exploração em florestas naturais [recurso eletrônico] / Evaldo Muñoz Braz. – Dados eletrônicos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2005.

1 CD-ROM. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1679-2599 ; 118)

ISSN 1517-526X (impresso)

1. Exploração florestal – Planejamento. 2. Manejo florestal. 3. Pesquisa operacional. I. Série.

CDD (21. ed.) 634.98

© Embrapa 2005

Autor

Evaldo Muñoz Braz

Engenheiro Florestal, Mestre, Pesquisador da *Embrapa Florestas*.

evaldo@cnpf.embrapa.br

Apresentação

Durante muito tempo o manejo e exploração das florestas naturais tropicais foram realizados sem as técnicas necessárias que visassem garantir sua sustentabilidade como um todo.

Por outro lado, o planejamento das diferentes fases da exploração, podem reduzir os custos de várias atividades que compõe a base do manejo das florestas naturais, ao mesmo tempo que reduz danos ambientais. Sendo assim, o binômio: ambiental-econômico torna-se fundamental para influir na real sustentabilidade das florestas nativas.

O planejamento da exploração e manejo das florestas naturais pode ser facilitado por várias técnicas existentes, como por exemplo, a análise de modelo, a programação linear e o adequado planejamento da rede de estradas, entre outras.

Entretanto, apesar da existência dessas ferramentas, as quais objetivam a melhoria da qualidade da exploração das florestas naturais, as mesmas são muito pouco utilizadas pelos engenheiros e empresas florestais em que pese sua utilização em florestas plantadas. Na verdade, desconhece-se a maioria destas técnicas e sua compatibilidade com a exploração e manejo das florestas naturais.

Este trabalho pretende identificar, sistematizar e estimular o uso destas ferramentas, e faz parte da linha de pesquisa, atualmente desenvolvida na *Embrapa Florestas* que visa desenvolver padrões e critérios para o enriquecimento do manejo das florestas naturais tropicais, aumentando sua viabilidade e qualidade.

Percebendo a lacuna de trabalhos que sinalizam um debate sobre o tema é com prazer que a *Embrapa Florestas* lança esta publicação esperando também que sirva de estímulo a futuras pesquisas sobre técnicas de manejo de florestas naturais.

Sérgio Gaíad
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Florestas

Sumário

Planejamento da Exploração em Florestas Naturais	1
INTRODUÇÃO	9
Planejamento da Exploração em Florestas Naturais	10
FERRAMENTAS CIENTÍFICAS BÁSICAS	11
Programação Linear	11
Programação por Metas	12
Programação Dinâmica	12
PERT-CPM	13
ANÁLISES BÁSICAS	13
Análise de Sistemas	13
Seleção de Equipamento	15
Balanceamento do Sistema	16
Início da Exploração e Atividades Básicas	17
Avaliação de Acessibilidade de Exploração	18
Considerações	19

OPERAÇÕES BÁSICAS	19
Planejamento da Rede de Estradas Secundárias	19
Cuidados na Extração	21
Controle das Operações	23
Considerações	25
OUTRAS ANÁLISES E FERRAMENTAS DE APOIO	25
Análise de Inversão ou Substituição de Equipamento	25
Estudo de Tempo e Racionalização do Trabalho	26
Utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	26
Considerações	27
NOVOS RUMOS	27
Composição de Talhões Ótimos	27
CONCLUSÕES	28
REFERÊNCIAS	29

Planejamento da Exploração de Florestas Naturais: Ferramentas Básicas

Evaldo Muñoz Braz

INTRODUÇÃO

Historicamente, a exploração de florestas naturais nos trópicos tem sido realizada de forma extensiva, sem o devido planejamento. Atualmente, uma das discussões básicas sobre as florestas tropicais gira em torno da sua sustentabilidade, quando submetida ao manejo. Graaf (1986), Poore et al. (1989) e as diretrizes da Organização Internacional de Madeiras Tropicais (ITTO, 1990) identificam que uma das ferramentas a serem usadas na sustentabilidade da produção madeireira em florestas tropicais é o uso das "melhores práticas de manejo" ("best practices"), ou exploração de impacto reduzido (SABOGAL et al., 2000). Já se sabe, por exemplo, que com uma sistemática adequada de exploração florestal, os danos ao povoamento podem cair de 40% para 6 a 15% (POORE et al., 1989). Sabe-se também que o adequado planejamento das diferentes fases da exploração podem reduzir os custos destas atividades. Este planejamento pode ser facilitado por várias ferramentas existentes, como por exemplo, a análise de modelo, a programação linear e o adequado planejamento da rede de estradas.

Entretanto, apesar da existência dessas ferramentas, e que objetivam a melhoria da qualidade da exploração das florestas naturais, as mesmas são muito pouco utilizadas pelos engenheiros e empresas florestais.

O presente trabalho visa estimular o uso destas ferramentas, sem as quais o planejamento do uso de extensas áreas cobertas com floresta tropical torna-se dificultado e comprometido.

Planejamento da Exploração em Florestas Naturais

Segundo Ahrens (1997), embora a necessidade do manejo seja reconhecida, existem evidências suficientes para sugerir que os componentes técnicos desta área de conhecimento não são adequadamente conhecidos e/ou entendidos. Sendo assim, segundo o mesmo autor, a prática de manejo é precária, podendo ser amplamente aprimorada. Deve-se considerar, fundamentalmente, a heterogeneidade das florestas naturais expressa não só por seu padrão de distribuição de espécies e tipologias florestais, mas também, por exemplo, pela variedade de sítios, capacidade de suporte do solo, cargas (peso da madeira que será extraída) e relevo. Esta heterogeneidade, ou seus efeitos nas atividades de campo, pode ser ampliada, se considerarmos que o engenheiro responsável pelo planejamento terá que se deparar com determinados problemas como: a) a seleção do sistema de exploração que será utilizado; b) a escolha de equipamento adequado ao sistema; c) a elaboração de um planejamento de estradas secundárias, compatível com os custos de construção e com o potencial da floresta; e, finalmente, d) conclusão das tarefas nas datas previstas que, muitas vezes, dependem dos fatores climáticos. De acordo com a capacidade da empresa, pode ser sugerida uma maior ou menor complexidade no planejamento.

Somente buscando-se a otimização dessas ações, se alcançará a decisão mais acertada. Estas otimizações são obtidas com base em ferramentas matemáticas conhecidas, técnicas de planejamento e pesquisa operacional (PO) aplicadas às informações florestais, biológicas e econômicas, associadas a Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Essas ferramentas têm sido eventualmente usadas na exploração de florestas plantadas (LOPES & MACHADO, 2003), porém, têm sido negligenciadas no manejo de florestas naturais (BRAZ, 1994).

Não deve ser esquecido, entretanto, que os resultados obtidos de um modelo analítico devem ser utilizados como instrumentos suporte e de orientação, mas jamais serão substitutos para o processo de decisão propriamente dito (AHRENS, 1992).

Ferramentas Científicas Básicas

Aqui são indicadas algumas ferramentas ligadas à Pesquisa Operacional que podem ser utilizadas no planejamento da exploração. A Pesquisa Operacional normalmente utiliza modelos matemáticos para otimizar operações existentes e auxiliar no processo de tomada de decisão (QUEIROZ, 1991) em sistemas de gestão empresarial.

Programação Linear

É uma ferramenta do planejamento que facilita a seleção de atividades (variáveis de decisão) a empreender, dado que essas atividades (diversas alternativas) competem entre si pela utilização de recursos escassos (restrições) ou então precisam satisfazer requisitos mínimos, maximizando (ou minimizando) uma função das atividades (EHRlich, 1991).

A utilização da programação linear tem aumentado rapidamente devido à facilidade da utilização de microcomputadores. A técnica possibilita que administradores resolvam problemas de maximização ou minimização onde restrições limitam os parâmetros das atividades a serem realizadas (PEARCE & STENZEL, 1972). A Programação Linear é importante ferramenta para a otimização da colheita e transporte de madeira, principalmente nas condições complexas de heterogeneidade da floresta natural tropical.

Suponha-se a necessidade de compatibilizar o carregamento e transporte de toras, por exemplo, destinadas a diferentes indústrias de distâncias variadas, oriundas de várias áreas de corte e estaleiros, e que, além disso, estas toras são produzidas com alta variedade de sortimento, variáveis por espécie, tamanho e classe de uso industrial. Para implementar esta adequada alocação, são necessárias ainda informações do custo de transporte, em cada situação, custo de carregamento, e quantidades de cada categoria de tora. Para a combinação de todas essas restrições, é quase obrigatório a utilização da Programação Linear.

O procedimento é definir um objetivo, visando maximizar o lucro (ou reduzir o custo) e várias equações que definem os coeficientes técnicos (tempo necessário para a produção de uma unidade do produto, por exemplo, ou quantidade de material necessário) e as restrições (de capital ou tempo, por exemplo).

Este método é considerado flexível pela sua habilidade em incorporar grande quantidade de restrições, durante a maximização ou minimização da função objetivo (MACHADO & LOPES, 2002).

PROGRAMAÇÃO POR METAS

Na Programação Linear Padrão, assume-se que existe uma meta predominante que maximiza os retornos (ou minimiza custos). Este objetivo é representado pela função objetivo. Poderiam haver outros objetivos, mas estes seriam explicitados pelas restrições e não pela função objetivo.

Contudo, esta forma de otimização pode não ser satisfatória. A representação de metas por meio de Programação Linear Padrão é muito rígida. A necessidade de madeira de floresta manejada em cada ano, por exemplo, de determinada empresa, pode variar um pouco, ou seja, a taxa de extração pode ter certa flexibilidade. As quantidades não precisam ser exatamente constantes, mas "perto do constante" (BUONGIORNO & GILLES, 1987). Esta exigência de uma quantidade constante fixa pode ocasionar soluções não factíveis, principalmente se dependermos dos talhões bastante diferenciados que ocorrem nas florestas naturais.

Em função do exposto, a técnica que pode ser utilizada é a Programação por Metas, uma extensão da Programação Linear. A Programação por Metas corrige as limitações da Programação Linear, forçando na direção de todos objetivos simultaneamente, tratando todas as metas da mesma maneira e proporcionando também (se necessário) diferentes pesos a estas (BUONGIORNO & GILLES, 1987). A Programação por Metas minimiza o desvio de múltiplas metas, ou objetivos, sujeitos a algumas restrições que são metas determinadas e outras que são restrições físicas (DYKSTRA, 1984).

PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

Diferentemente das outras técnicas de Pesquisa Operacional, a Programação Dinâmica (PD) não possui algoritmo definido para a solução de diferentes problemas. Para otimização da função objetivo, podem ser utilizados vários

modelos que requerem seqüência de decisões inter-relacionadas. O método da Programação Dinâmica busca otimizar uma função, denominada função de recorrência, em que as decisões envolvem múltiplos estágios relacionados (DYKSTRA, 1984). Tem sido muito utilizada em problemas relativos a substituição de equipamentos. Chichorro (2000) utilizou para a otimização de multiprodutos da madeira, visando maximizar as receitas obtidas com o processamento das toras, tendo como base as informações prévias da estrutura de uma floresta natural.

PERT-CPM

Este método é uma combinação entre o Programa de Avaliação e Revisão Técnica e o Método do Caminho Crítico ("Program Evaluation and Review Technique" e o "Critical Path Method"). O sistema utiliza uma rede em seqüência lógica, com atividades interdependentes visando alcançar determinado objetivo. Para otimização do tempo, por exemplo, é introduzida na rede a duração de cada atividade.

O objetivo básico é encontrar a rota mais curta ou escolher um conjunto de conexões que minimizem a distância total (DYKSTRA, 1984). Tem sido utilizado principalmente no planejamento de projetos das mais variadas áreas.

ANÁLISES BÁSICAS

O desenvolvimento de modelos matemáticos e sua codificação em linguagens de computador abriram novas perspectivas na utilização de sistemas modelados (CASTRO et al., 1994).

A seguir, são mencionadas algumas formas de análise. Estas podem também se valerem das ferramentas matemáticas anteriormente indicadas.

ANÁLISE DE SISTEMAS

Análise de Sistemas é o processo que lança mão da construção de modelos, para ajudar na tomada de decisão na fase de planejamento da engenharia de sistemas (JOHNSON et al., 1967).

Para se definir o sistema de exploração florestal, sob condições conhecidas, é necessário analisar primeiro as diversas operações que formam a cadeia do transporte, desde a zona de corte, no interior da floresta, até o local de venda ou processamento (ANAYA & CHRISTIANSEN, 1986). Estes pesquisadores comentam que, em muitos casos, é possível eliminar um ou mais elos da cadeia de trabalho, diminuindo os custos terminais. O estudo que possibilita estas melhorias é denominado Análise de Sistema.

Becker et al. (1981) salienta a importância da Análise de Sistemas devido à necessidade de otimizar a utilização dos fatores de produção, diminuindo ao máximo o tempo de estocagem da madeira entre as distintas operações. A análise de modelos decompõe todo o sistema de exploração e transporte e suas possíveis variações, identificando as opções mais viáveis do ponto de vista econômico.

A forma mais simples para esta análise é a representação gráfica dos sistemas, seja linear ou em forma de matriz. O que deve ser representado será o número de operários e máquinas nos diferentes trabalhos parciais, a seqüência, interdependência e o lugar (talhão, estaleiro, etc.), onde estes serão desenvolvidos (BECKER et al., 1981).

Na análise do arraste mecanizado, por exemplo, as empresas utilizam variados sistemas nas florestas naturais. Como são várias as possibilidades de solo, relevo, tipo de carga, período do ano e condições climáticas, várias serão também as alternativas. Entretanto, dificilmente a alternativa ideal é buscada de forma científica.

A seguir, como exemplo, algumas opções que podem ser passíveis de análise, quanto ao planejamento da exploração:

- "skidder" com garra;
- "skidder" com guincho;
- "skidders" com diferentes potências;
- arraste padrão com estropos: 1 ou 2 toras;

- dois arrastes com "skidder" (recolha prévia);
- arraste com "skidder" + trator esteira;
- formas de seccionamento do tronco para arraste, entre outros.

O sistema torna-se ainda mais complexo, pois cada uma das opções anteriormente citadas são complementadas de maneira diferente por pessoal de apoio variado (estropeiros, medidores, pessoal de toragem), pátios de estocagem em distribuições e tamanhos variados concernentes ao sistema que está sendo utilizado, o que influencia toda a cadeia de planejamento (como por exemplo, ocasionando densidades de estradas secundárias diferentes) e resulta em produções e custos totais de exploração variados. Daí a importância de escolhas adequadas do sistema a ser utilizado(s).

Seleção de Equipamento

Braz (1992) salienta que os equipamentos utilizados em floresta tropical normalmente são escolhidos sem processo de seleção, como se todas as características das florestas (como por exemplo a capacidade de suporte do solo; inclinação do terreno; potencial de volume comercial da floresta; diâmetros das toras; e cargas a manipular) fossem idênticas. Sem estas considerações, normalmente os maiores equipamentos são escolhidos de forma arbitrária. É necessário, no planejamento de exploração, selecionar o equipamento mais adequado, baseando-se nas variáveis de campo. Para isso, no caso do trator de arraste, por exemplo, variáveis como a resistência de rampa, a resistência ao rolamento, a capacidade de suporte do solo, as cargas limites, além da potência da máquina, e fundamentalmente, o custo operacional de acordo com a produção horária, devem ser considerados. Basicamente, este processo identifica de maneira individual a capacidade de cada máquina para a situação específica analisada. Este processo terá reflexos na otimização dos trabalhos.

A escolha do tipo e potência do equipamento tem importância fundamental para atividades como as de arraste e de carregamento, compondo, assim, com a análise de sistemas anteriormente descrita. Ou seja, depois da escolha do sistema, resta a questão da escolha do melhor equipamento para determinada

situação de floresta. Por exemplo, imagine-se que determinado equipamento tem a capacidade de carga 30% superior em relação a um segundo equipamento analisado e de igual finalidade. Entretanto, o segundo tem um tempo de ciclo razoavelmente inferior ao primeiro e custos bem menores. A escolha pode recair provavelmente no segundo equipamento (compatibilizadas as questões ambientais).

Utilizando-se passo a passo a seleção do equipamento, pode-se, por outro lado, calcular a carga mais adequada para determinado equipamento que a empresa já possua e sua produção em determinadas condições de terreno e potencial do compartimento. Em alguns casos, análises estatísticas ou estudos de tempo, mencionados mais adiante, podem ser necessários.

Entretanto, para a seleção final, não devem ser esquecidos fatores como marca e modelo do equipamento, garantia de assistência técnica e padronização da frota (PACHECO, 2000). Além disso, deve ser verificada a disponibilidade do equipamento no mercado local (ou dificuldades para trazê-lo), preço, transporte, taxas, assistência técnica na região, reposição de peças, etc.

Balanceamento do Sistema

De acordo com o plano de manejo florestal e a capacidade instalada da indústria, a produção desejada estará de acordo com o balanceamento e controle geral do sistema.

O processo de balanceamento é o nivelamento, em termos de tempo e custo, de determinada linha de produção, no caso a exploração florestal, eliminando-se demoras improdutivas e mantendo-se um ritmo de trabalho constante (MACHADO, 1984).

Basicamente, dois enfoques poderão ser dados: balanceamento por número de equipamentos, ou por períodos de trabalho diário. No primeiro caso, a produção desejada será atingida, calculando-se o número de equipamentos necessários. Já no segundo, o equilíbrio se dará através do aumento de horas trabalhadas ou turnos de trabalho. A interface entre as atividades de corte, arraste, carregamento e transporte secundário deve estar perfeitamente balanceada. Um ajuste entre os dois sistemas pode ser utilizado.

Evidentemente, deve-se dispor de índices técnicos que sejam o mais precisos possível, principalmente dos equipamentos pesados, devido ao seu alto custo por hora. O tempo de ciclo do trator de arraste, por exemplo, pode ser avaliado por amostragem expedita, mediante modelos especiais, fórmulas, equações ou tabelas (fornecidas pelo fabricante do equipamento), ou idealmente, por estudos de tempo.

O cálculo do número ideal deve considerar seriamente os fatores climáticos regionais, dificuldades mecânicas possíveis (principalmente quando se utiliza equipamentos velhos que já ultrapassaram seu período técnico de vida útil) e equipamentos (ou operações) limitantes do sistema (são intermediárias e não cobrem as necessidades produtivas da operação ou equipamento seguinte), identificando possíveis momentos de emergência.

Início da exploração e atividades básicas

Para controle da duração de todas as atividades da empresa com relação à exploração florestal, tais como o inventário florestal, o inventário a 100%, o planejamento e a abertura das estradas principais, secundárias e picadas de arraste, pode ser utilizado o sistema PERT-CPM (Program Evaluation and Review Technique - Critical Path Method). Este sistema de rede de análise é uma ferramenta muito útil e adequa-se para planejamento e calendário de todas as atividades de exploração florestal, desde a extração até a construção de estradas (CONWAY, 1976).

No caso do planejamento florestal, objetiva-se, principalmente:

- a) garantia da duração adequada de cada atividade;
- b) articulação de várias atividades interdependentes, de maneira a se sucederem de forma ordenada e adequada aos tempos limites;
- c) o controle contínuo das operações e;
- d) reparar dentro do projeto em curso, as modificações que conduzirão à economia de tempo e custos (CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL, 1981).

Muitos embates entre produtor e clima poderiam ser resolvidos com a utilização do PERT-CPM.

Avaliação de acessibilidade de exploração

Tem por finalidade avaliar o custo de exploração florestal por metro cúbico em um ponto pré-estabelecido de acordo com as condições impostas de abate, intensidades de produção e exploração, e utilização de um determinado número de fatores físicos dominantes e específicos para a área de avaliação (FAO, 1978). A avaliação deste custo baseia-se normalmente nos inventários convencionais de baixa intensidade. A avaliação da acessibilidade de exploração serve para comparar diferentes áreas florestais do ponto de vista do custo de extração.

O Índice de acessibilidade de exploração (I), mencionado por Soels (1972) é o custo médio de exploração por metro cúbico de determinada área. O custo assumido é:

$$I = Cs + Ce + Cr + Ct + Co$$

onde: Cs = Custo de abate

Ce = Custo de extração

Cr = Custo da rede de estradas

Ct = Custo de transporte secundário

Co = Administração

O desenvolvimento ou utilização de fórmulas, ou equações para cada elemento, são essenciais para a composição final do índice, assim chamado por ser mais relativo do que absoluto.

Esta avaliação facilitará a escolha do talhão anual de exploração do ponto de vista econômico. Antes desta análise, naturalmente, a escolha do sistema de exploração já estará determinada pela análise de modelos.

CONSIDERAÇÕES

No capítulo anterior, intitulado Ferramentas Científicas Básicas, as informações abordadas podem ser divididas em duas partes:

Primeiro, foi discutido o potencial de várias ferramentas matemáticas inerentes à Pesquisa Operacional, que podem ser utilizadas no planejamento das atividades ligadas à exploração das florestas naturais. As ferramentas matemáticas selecionadas foram a Programação Linear, Programação por Metas, Programação Dinâmica e PERT-CPM. Aprofundamento sobre estes temas pode ser encontrado em qualquer livro ligado à Pesquisa Operacional.

A seguir, foi incluído o item chamado de Análises Básicas. Aqui foram tratados processos de análises gerenciais. Livros ligados à Administração da Produção fornecem informações sobre estas simulações. Estas simulações podem se valer grandemente das ferramentas matemáticas mencionadas para facilidade de sua modelagem.

O capítulo como um todo visa discutir o potencial destas ferramentas e sua utilização no manejo das florestas naturais.

OPERAÇÕES BÁSICAS

Planejamento da rede de estradas secundárias

Heinrich (1973) salienta que em muitos países em desenvolvimento não há um planejamento geral da rede de estradas, talvez devido à falta de mapas com detalhes de curva de nível, de fotografias aéreas ou de dados de inventário.

O planejamento das estradas da rede secundária, de acesso ou picada de arraste, deve buscar uma combinação entre distância ótima, densidade, forma fundamental da rede, classes de estradas e disposição dos estaleiros tal que os custos de arraste, transporte e construção das estradas, sejam mínimos, nas condições consideradas.

Um ponto inicial para o planejamento é a definição da densidade ideal da rede

para a estrutura da floresta natural considerada. Isto requer informações consistentes de inventário florestal, custo de pessoal e custo hora-máquina dos equipamentos efetivamente utilizados, seleção da classe de estrada a ser utilizada e custo de construção da classe de estrada considerada. Tendo como base estas informações, pode-se utilizar a metodologia apresentada pela FAO (1974), ou outro sistema otimizador.

A construção de estradas florestais influencia significativamente os custos de exploração. Para minimizar os custos de construção e manutenção, é necessário um adequado "lay-out" (Heinrich, 1973). O citado autor ainda informa que especialmente quando o estoque é baixo, torna-se necessário um cuidadoso planejamento.

Braz & Oliveira (1995) calcularam para um volume de 20 m³/ha, extraído de terreno plano, no Campo Experimental do CPAF-Acre, uma densidade ideal de rede de estradas de 16 m/ha e distância média de arraste de 160 metros. Outro lançamento de estrada secundária, em situação semelhante, mas sem planejamento, atingiu 29 m/ha. Isto implica em custos adicionais desnecessários.

O traçado da rede de estradas tem influência inicial de duas situações principais: o volume de madeira disponível e sua distribuição e o relevo da área.

Na utilização da influência do volume de madeira, para escolha do traçado, será peça fundamental o inventário a 100%, o qual direcionará basicamente as estradas secundárias, evitando-se a construção em áreas sem potencial. O inventário a 100% otimizará também a utilização das picadas de arraste, diminuindo drasticamente o dano ao povoamento causado por exploração sem planejamento.

Na consideração ao relevo, por sua vez, será garantido ao traçado menos corte e aterro (menos sujeito à erosão), inclinação adequada, etc. Para reduzir ao mínimo a erosão e seus efeitos destrutivos, é preciso planificar de antemão o traçado da estrada florestal e seguir métodos de construção adequados (DYKSTRA & HEINRICH, 1992). Do ponto de vista ambiental, é fundamental evitar que as estradas secundárias atravessem igarapés; entretanto, tem-se notado a utilização de estradas retas e paralelas, com distâncias pré-fixadas.

Sem respeitar a topografia do terreno e sem cálculo da densidade ideal de estradas, tanto os fatores ambientais como econômicos ficam prejudicados. Um bom exemplo de planejamento da rede de estradas, considerando estes fatores, pode ser observado no trabalho realizado pela Embrapa Acre em parceria com a empresa S. T. Manejo de Florestas Ltda.(OLIVEIRA et al., 2002).

O planejamento adequado do perfil transversal não deve ser esquecido, considerando inclinações do terreno para o transporte e necessidades de drenagem.

A seleção final da qualidade da estrada a ser utilizada considerará, além dos fatores analisados, o período do ano em que esta será utilizada, condições meteorológicas deste período, trânsito que a estrada sofrerá, etc.

Cuidados na extração

Segundo Ewel & Conde (1976), a extração de toras da floresta pode ser, individualmente, a causa para o maior dano sob o aspecto da exploração florestal na vegetação das florestas tropicais. Este, não só atinge os fustes das árvores que permanecem, como também comprometem a futura regeneração.

Os mesmos autores salientam que a revisão de estudos indica que a exploração florestal danifica aproximadamente 50% da vegetação residual. Com o aumento da dimensão dos equipamentos nos últimos anos, por unidade de área, o dano devido à extração tem aumentado proporcionalmente.

No Pará, trabalho conduzido por Uhl e Vieira (1989) mostra que 2% das árvores extraídas promovem a morte ou danos a 26% das árvores remanescentes.

Independente da questão ambiental, que por si mesma já alertaria para maiores cuidados, estes danos influem imediatamente na perspectiva desse talhão ser utilizado no próximo ciclo. Seu reaproveitamento significa menores custos futuros. Sua não utilização futura implicaria na necessidade de arrendamento ou compra de mais áreas, ou mesmo na destruição imediata de madeiras de valor.

Poore et al. (1989) sugerem que práticas adequadas na exploração florestal podem reduzir o dano no povoamento para 6-15%. Também informam que, utilizando-se as técnicas adequadas, a regeneração é satisfatória e os danos no povoamento remanescente têm reduzido para em torno de 12%, em média.

Estas práticas devem iniciar com um inventário a 100%, o qual permitirá um traçado adequado de estradas secundárias, eliminando-se previamente as desnecessárias. Também o planejamento das picadas de arraste evitará o trânsito repetido dos equipamentos dos mesmos pontos. O abate e arraste devem ser coordenados. O operador de trator deve saber onde encontrar as toras através dos mapas de campo.

É necessário o planejamento adequado dos caminhos de arraste, pátios de estocagem, limitações da capacidade de suporte do solo ao trânsito de máquinas pesadas, responsabilidades do pessoal de campo e equipamento de extração permitido. Normalmente, se evitará, dentro do possível, se cruzar igarapés significativos. As estradas devem ser localizadas visando facilitar a drenagem e redução dos movimentos de terra. O calendário de exploração deve ser obedecido. Deve-se prever o sistema de drenagem adequadamente e avaliar previamente o impacto na área. As pendentes do traçado deverão se adequar aos parâmetros técnicos indicados para estradas florestais (ITTO, 1990).

Buschbacher (1990) comenta que o dano durante a exploração florestal pode ser minimizado com corte de cipós que ligam as árvores, manutenção das árvores não comerciais, uso de tratores de arraste, utilização de tratores florestais com esteiras preferencialmente aos de pneus, elevação da tora antes do arraste e cuidadoso plano de rede de estradas e picadas. Estes cuidados levam à diminuição do dano e à regeneração.

Costa Filho (1991) identificou os seguintes percentuais de danos ao povoamento após os trabalhos de exploração sem cuidados especiais: 29,9% causado pelas operações de exploração, 16,51% devido às picadas de arraste e 1,94% por danos no estoque em pé.

Graaf (1990), de acordo com o "Celos Harvesting System", considera importante a determinação de queda das árvores com base em necessidades ecológicas e silviculturais, organização do abate e trilha de arraste, utilização do guincho de arraste, pré-estabelecimento das trilhas, registro das toras e

rotação no trabalho para promover a responsabilidade em toda operação.

Um outro fator, já mencionado, e que deve ser também considerado, é a falta da utilização dos sistemas de Seleção de Equipamentos e Análise de Modelos. As características das diferentes tipologias florestais não são levadas em consideração. Opta-se normalmente pelos equipamentos mais pesados, sem bases técnicas.

Oliveira & Braz (1995) encontraram para uma intensidade de exploração de 20 m³/ha (4,4 árvores/ha) e técnicas de exploração planejada, o dano a 26,93 árvores/ha com DAP (diâmetro a altura do peito) maior ou igual 10 cm, correspondendo a 6,33 árvore por árvore extraída. Com relação aos danos por volume, o valor foi de 0,2487 m³ por metro cúbico extraído. Os danos promovidos pela abertura de estradas, trilhas de arraste e pátios de estocagem foi de 380m²/ha e a abertura de dossel de 15%.

O arraste deve ser planejado com antecedência, com auxílio do mapa do inventário 100%, derivado do Inventário Florestal Prospectivo (o software TREMA, desenvolvido pela Embrapa Amazônia Oriental, proporciona o máximo aproveitamento do inventário 100%, consistindo uma excelente ferramenta de planejamento), e do balizamento inicial no terreno em trilhas de arraste ideais, para ganhos em tempo de ciclo (reduzindo substancialmente os custos), assim como para um menor dano à floresta (OLIVEIRA & BRAZ, 1995). Então, os fatores econômicos e ambientais caminham juntos.

Controle das operações

Segundo Machado & Lopes (2002), alguns dos principais objetivos do controle das operações são assegurar o plano de abastecimento da indústria, fornecer informações para fins gerenciais e operacionais e alimentar o sistema de controle de custos e orçamento da empresa.

O controle deve proporcionar informações ágeis para, se necessário, realizar correção ou reformulação parcial imediata dos critérios de planejamento.

Os custos de exploração devem ser calculados mediante projeções no planejamento (identificação de índices técnicos) e depois verificados através de sistemas adequados de controle. É importante lembrar que a minimização dos

custos (dentro de um compromisso com a sustentabilidade do manejo florestal) é objetivo fundamental do sistema de exploração utilizado.

Assim, os ganhos podem ser incrementados, produzindo-se mais ou reduzindo-se os custos de exploração.

O controle de custos significa bons registros (de acordo com fichário adequado) e confiáveis padrões de produção. Para este controle, é necessário que a empresa o divida em unidades manejáveis.

Para se definir o padrão de produção, ou seja, produção ideal por equipe e/ou equipamento por período considerado (hora, dia etc.), pode-se ter, a priori, um valor médio regional como base. Na própria análise de sistemas e seleção de equipamentos já mencionada, ter-se-á uma idéia prévia do potencial do equipamento e sistema. Também, experiência anterior do responsável pelo manejo da floresta pode dar uma idéia geral.

O nível da produção diária deverá ser verificado por meio da análise do ponto de equilíbrio (custo produção/hora máquina/mês).

Uma sugestão para o controle, principalmente para quem monitora diversos compartimentos, seria uma "carta controle" (CONWAY, 1976). Quando a produção cai em determinado dia, ou não é normalmente favorável, o administrador pode identificar o problema e procurar saná-lo imediatamente. Entretanto, também fatores extras, como chuvas, devem ser contabilizados e avaliados.

Deve-se ter um fichário adequado por equipamento/unidade da atividade, de maneira que a produção diária, horas efetivas de operação, consumo de combustível, lubrificantes, tempo perdido e manutenção, sejam computados, além de conhecidos os custos. Estes dados devem ser acumulados em registros semanais junto com os custos fixos e transferidos para uma tábua de operação mensal.

A ficha de controle final contará com um somatório dos custos de todos os equipamentos e atividades. Sua relação com a produção total nos indicará o custo por metro cúbico real e sua comparação com o planejado (MACKLIN, 1982).

A análise destas informações deve ser periódica, em espaços de tempo relativamente curtos, ou se tornam inúteis, pois não podem mais influir na correção do sistema. Esta é uma das principais falhas encontradas, ou seja, quando os dados são coletados, mas não são analisados.

CONSIDERAÇÕES

No capítulo concluído, foram abordadas operações extremamente importantes da extração florestal, mas que, no entanto, são muitas vezes negligenciadas. O objetivo do capítulo foi salientar estas questões básicas. Assim, foi apresentada a importância do planejamento da rede de estradas (bem como as principais variáveis a considerar nessa atividade), os cuidados na extração e finalmente, a importância do controle das operações.

OUTRAS ANÁLISES E FERRAMENTAS DE APOIO

Análise de inversão ou substituição de equipamento

Um dos problemas enfrentados pelos profissionais que se valem de mecanização é a determinação do momento ideal para substituição de uma máquina usada por uma nova (QUEIROZ, 1991).

A troca de equipamento, depois do ponto ideal, ocasionará custos mais altos no equipamento velho do que se tivesse ocorrido a troca para equipamento novo. Por outro lado, a troca de equipamentos antes do momento ideal ocasionará custos mais altos na máquina nova do que na velha. Normalmente, será o ponto de equilíbrio entre os custos fixos e variáveis. Os registros facilitarão a identificação e fornecimento dos dados para calcular o ponto ideal de reparo ou substituição dos equipamentos. Um correto modelo de análise deve ser escolhido.

O Modelo de Substituição de Equipamento (WAGNER, 1985), proporcionado pela Programação Dinâmica (seqüência de decisões inter-relacionadas), simula as relações de custo de operação, preço de compra do equipamento e preço de revenda no decorrer de um período, facilitando a decisão.

Estudo de tempo e racionalização do trabalho

Consideram-se métodos e consumo de tempo fracionando uma atividade em suas várias fases. Estes estudos servem para os cálculos econômicos e principalmente na racionalização dos sistemas de exploração florestal (ANAYA & CHRISTIANSEN, 1986), principalmente rendimento e custos.

Esta forma de avaliação é essencial para a exploração e colheita, e nas sugestões para correções de determinadas falhas na sistematização dos mesmos.

Suas características principais são o fracionamento do trabalho em suas atividades componentes e a medição do tempo necessário para realização de cada atividade.

O estudo de tempo é importante também na aferição e análise do tempo de ciclo de equipamentos como os tratores de arraste e caminhões, pois esta informação é fundamental para cálculo dos custos operacionais.

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Esta ferramenta utiliza mapas digitais associados a uma base de dados de atributos. Manipula dados de diversas fontes como mapas, imagens de satélite, cadastros e outras fontes, permitindo recuperar e combinar informações, efetuando diversos tipos de análise (MACHADO & LOPES, 2002).

O georreferenciamento dos dados geográficos da floresta natural é fundamental para o posterior planejamento ótimo de estradas, cuidados ambientais e adequação de talhões, entre muitas outras vantagens. Entretanto, devem ser tomadas precauções, uma vez que o georreferenciamento dentro de florestas naturais pode ser bastante restritivo pela difícil captação dos sinais de satélite pelo GPS e, neste caso, artifícios devem ser utilizados como utilização de clareiras.

CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo, foram abordados métodos científicos que complementarmente podem se tornar auxiliares valiosos no manejo das florestas naturais.

A análise de investimento ou substituição de equipamento é uma ferramenta eminentemente gerencial.

O estudo de tempo e racionalização do trabalho é uma ciência que requer metodologia cuidadosa e específica e é de grande valia na melhoria dos sistemas de extração.

Deve ser também salientado o SIG, ferramenta recente, ligada a várias áreas de conhecimento, com imenso potencial para as florestas naturais.

NOVOS RUMOS

Composição de talhões ótimos

O volume de madeira de um povoamento natural varia em função da capacidade produtiva do solo e da distribuição irregular das espécies. E por tal razão, é impossível esperar que uma divisão da área em partes iguais vá corresponder à divisão do volume também em partes iguais (HOSOKAWA et al., 1998), apropriada para a exploração de acordo com o ciclo considerado. Por isso, no planejamento dos talhões em cada ano, deve-se relacionar as produções volumétricas ou densidade de espécies com compartimentos de tamanho variado. Assim, os sítios de alta produtividade devem ter áreas menores e os de baixa, áreas maiores. Isto nos indica que devemos buscar o planejamento, visando ao fluxo constante (de acordo com mercado e capacidade instalada da empresa), almejando talhões otimizados, apesar da heterogeneidade da floresta.

Neste momento, novos caminhos para o manejo das florestas naturais podem ser visualizados. Com a Análise Multivariada (associando-a ao SIG), pode-se agrupar talhões/compartimentos semelhantes do ponto de vista econômico ou separar tipologias florestais diferentes quando considerados espécies, volume, e outros fatores. Análises, inicialmente desenvolvidas para identificação de

padrões de distribuição de espécies como TWINSpan ("Two-way Species indicator analysis"), podem auxiliar no planejamento de talhões (OLIVEIRA, 2001).

A Programação por Metas, já mencionada, pode "forçar" a renda ao valor médio da floresta, facilitando a organização anual de "novos" talhões compostos (BRAZ, 2001), tornando-os portanto homogêneos do ponto de vista produtivo (sempre um problema na floresta tropical), possibilitando a maximização da rentabilidade do talhão.

É ainda muito conveniente, para a boa utilização destas ferramentas, a atualização das informações da floresta mediante inventários florestais contínuos, os quais são fundamentais para se conhecer previamente a produtividade da floresta e suas respostas às intervenções.

CONCLUSÕES

Devido ao rápido desenvolvimento da informática no setor florestal, a análise dos itens anteriores, aparentemente complexa, far-se-á de forma relativamente fácil. Boa parte do correto planejamento (como o da rede de estradas) concorrerá para o menor dano ao povoamento e possibilitará a minimização dos custos de exploração e danos ambientais, tanto em termos biológicos (ex: regeneração natural de espécies) como físicos (solos e água).

A correta manipulação de todas estas informações é fundamental para a utilização da floresta tropical.

A Pesquisa Operacional e outras ferramentas apresentadas podem ser utilizadas em vários campos da engenharia florestal de áreas tropicais. Ao se mencionar programação linear, planejamento da rede de estradas, formulação de manejo de uso múltiplo, sistemas de seleção de equipamentos, entre outros, se está também considerando a otimização dos recursos nelas envolvidos, fundamentais para o avanço do manejo nas florestas naturais.

A utilização destas ferramentas pelas empresas, como auxiliar na tomada de decisão, auxiliará a otimização das atividades, facilitando, assim, seu controle

e redução de custos. As facilidades do como utilizar estas técnicas, codificando-as em sistemas de fácil utilização e compreensão, são atribuições das instituições de pesquisa.

REFERÊNCIAS

AHRENS, S. **A seleção simultânea do ótimo regime de desbastes e da idade de rotação, para povoamentos de *Pinus taeda* L., através de um modelo de programação dinâmica.** 1992. 189 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

AHRENS, S. O manejo de recursos florestais no Brasil: conceitos, realidades e perspectivas. In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL, 1997, Curitiba. **Tópicos em manejo florestal sustentável.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p. 5-18. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 34).

ANAYA, H.; CHRISTIANSEN, P. **Aprovechamiento forestal, análisis de apeo y transporte.** San José: IICA, 1986. 248 p.

BECKER, G.; STÖHR, G. W. D.; MALINOVSKI, J. V. **III Curso de atualização sobre sistemas de exploração e transporte florestal.** Curitiba: FUFPE, 1981. 105 p.

BRAZ, E. M. Main constraints to implementation of forest management. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL STUDIES OF TROPICAL RAINFORESTS, 2., 1992, Rio de Janeiro. **Anais.** Rio de Janeiro: Instituto Biosfera, 1992. p. 41.

BRAZ, E. M. Planejamento das atividades de exploração florestal em floresta tropical úmida. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADO E MADEIRA TROPICAL, 2., 1994, Belém, PA. **Anais.** Rio de Janeiro: SENAI, 1996. p. 139-144.

BRAZ, E. M. **Um modelo em programação linear para garantia do rendimento sustentado em pequena propriedade na floresta tropical.** 2001. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BRAZ, E. M.; OLIVEIRA, M. V. N. d'. Arraste em floresta tropical: análise para identificação dos parâmetros ideais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2., 1995. Salvador, BA. **Anais**. Viçosa: SIF, 1995. p. 222-237.

BUONGIORNO, J.; GILLESS, J. K. **Forest management and economics: a primer in quantitative methods**. New York: Macmillan Publ. Co., 1987. 285 p.

BUSCHBACHER, R. J. Natural forest management in the humid tropics: ecological, social and economics considerations. **Ambio**, v. 19, n. 5, p. 253-58, 1990.

CASTRO, A. M. G. de; COBBE, R. V.; QUIRINO, T. R.; LUCHIARI JUNIOR, A. L.; MARTINS, M. A. G. Aplicação do enfoque sistêmico na gestão de C&T. In: GOEDERT, W. J.; PAEZ, M. L. D.; CASTRO, A. M. G. de. (Eds.). **Gestão em ciência e tecnologia: pesquisa agropecuária**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 77-104.

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL. **Mémento du forestier: techniques rurales em Afrique**. 3e éd. Paris: Ministère de la Coopération et du Développement, 1989. 1266 p.

CHICHORRO, J. F. Análise estrutural e econômica de multiprodutos da madeira em florestas naturais. 2000. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CONWAY, S. **Logging practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1976. 404 p.

COSTA FILHO, P. P. Mechanized logging and the damages caused to tropical forests: case of the Brazilian Amazon. In: CONGRESO FORESTAL MUNDIAL, 10., 1991, Paris. **Actas...** [S.l.: s.n., 1991?].

DYKSTRA, D. P. **Mathematical programming for natural resource management**. New York: McGraw-Hill Book Co., 1984. 318 p.

DYKSTRA, D. P.; HEINRICH, R. Sostenimiento de los bosques tropicales mediante sistemas de explotación ecológicamente adecuados. **Unasylva**, v. 43, n. 169, p. 9-15, 1992.

EHRlich, P. J. **Pesquisa operacional**: curso introdutório. São Paulo: Atlas, 1991. 322 p.

EWEL, J.; CONDE, L. **Potential ecological impact of increased intensity of tropical forest utilization**. Florida: Botany Department of University of Florida, 1976. 115 p. Final Report to USDA Forest Service.

FAO. **Avaliação dos custos de extração a partir de inventários florestais nos trópicos**: princípios e metodologia. Roma, 1978. 56 p.

FAO. **Logging and log transport in tropical high forest**: a manual on production and costs. Roma, 1974. 88 p. (FAO. Forestry series, 5; FAO. Forestry development paper, 18).

GRAAF, N. R. de. **A silvicultural system for natural regeneration of tropical rain forest in Suriname**. The Netherlands: Agricultural University Wageningen, 1986. 250 p.

HEINRICH, R. **Logging operations and forest road constructions in Nigeria**. Roma: FAO, 1973. 19 p.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B. de; CUNHA, U. S. da. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Ed. da UFPR, 1998. 162 p.

ITTO. **ITTO**: guidelines for sustainable management of natural tropical forests. Yokohama, 1990. (ITTO. Technical series, 5).

JOHNSON, R. A.; KAST, F. E.; ROSENZWIG, J. E. **The theory and management of systems**. New York: McGraw-Hill Book Co., 1967. 513 p.

JONKERS, W. B. J.; SCHMIDT, P. Ecology and timber production in tropical rainforest in Suriname. **Interciência**, v. 9, n. 5, p. 290-297, 1984. Edição dos Anais do International Symposium on Amazônia, 1983, Belém.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C. Desafios do planejamento da colheita florestal no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 6., 2003, Belo Horizonte. **Anais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; SIF, 2003. p. 44-68.

MACHADO, C. C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1984. 138 p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. da S. Planejamento. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa: Ed. da UFV, 2002. p. 169-213.

MACKLIN, R. R. **The logging business management handbook**. San Francisco: Miller Freeman, 1982. 176 p.

OLIVEIRA, L. C. Métodos multivariados de ordenação e classificação aplicados ao manejo de florestas tropicais. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 11 p.

OLIVEIRA, M. V. N. d’.; BRAZ, E. M. Reduction of damage to tropical moist forest through planned harvesting. **Commonwealth Forest Review**, v. 74, n. 3, p. 208-210, 1995.

OLIVEIRA, M. V. N. d’.; BRAZ, E. M.; THAINES, F. Estudo de caso do projeto de manejo florestal sustentado da ST Manejo de Florestas Ltda. na Amazônia Ocidental. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2., 2002, Curitiba. 2002. **Anais**. Curitiba: UFPR: FUPEF, 2002. p. 106.

PACHECO, E. P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 21 p. (Embrapa Acre. Documentos, 58).

PEARCE, J. K.; STENZEL, G. **Logging and pulpwood production**. New York: The Ronald Press Co., 1972. 451 p.

POORE, D.; BURGESS, P.; PALMER, J.; RIETBERGEN, S.; SYNOTT, T. **No timber without trees: sustainability in the tropical forests**. London: Earthscan, 1989. 252 p.

QUEIROZ, D. M. de. **Engenharia de sistemas agrícolas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, 1991. 158 p.

SABOGAL, C.; SILVA, J. N. M.; ZWEEDE, J.; BARRETO, P.; GUERREIRO, C. A. **Diretrizes técnicas para a exploração de impacto reduzido em operações florestais de terra firme na Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 52 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 64).

SOELS, K. **Evaluation of accessibility of forest resources: a pilot study on logging costs from inventory results**. Rome: FAO, 1972. 32 p.

UHI, C.; VIEIRA, I. C. G. **Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: a case study from Paragominas region of the state of Pará**. **Biotropica**, v. 21, n. 2, p. 98-106, 1989.

WAGNER, H. M. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 1985. 851 p.