

**METODOLOGIA PARA O PLANEJAMENTO DA
COLHEITA E DO TRANSPORTE FLORESTAL
UTILIZANDO GEOTECNOLOGIA E PESQUISA
OPERACIONAL**

MARIANA PERES DE LIMA

2009

MARIANA PERES DE LIMA

**METODOLOGIA PARA O PLANEJAMENTO DA COLHEITA E DO
TRANSPORTE FLORESTAL UTILIZANDO GEOTECNOLOGIA E
PESQUISA OPERACIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração Ciências Florestais, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador:
Prof. Ph.D. Luis Marcelo Tavares de Carvalho

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

MARIANA PERES DE LIMA

**METODOLOGIA PARA O PLANEJAMENTO DA COLHEITA E DO
TRANSPORTE FLORESTAL UTILIZANDO GEOTECNOLOGIA E
PESQUISA OPERACIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração Ciências Florestais, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 06 de março de 2009.

Prof. Dr. Carlos Eduardo Volpato

UFLA/DEG

Prof. Dr. José Marcio de Mello

UFLA/DCF

Prof. Ph.D Luis Marcelo Tavares de Carvalho.

UFLA

(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Lima, Mariana Peres de.

Metodologia para o planejamento da colheita e do transporte florestal utilizando geotecnologia e pesquisa operacional / Mariana Peres de Lima. – Lavras : UFLA, 2009.

46 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Luis Marcelo Tavares de Carvalho.

Bibliografia.

1. Sistema de informações geográficas. 2. Pesquisa operacional. 3. Planejamento florestal. 4. Extração de madeira 5. Colheita e transporte florestal I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.928

*“Feliz do homem que encontrou a sabedoria,
E daquele que adquiriu a inteligência,
porque mais vale este lucro que o da prata,
e o fruto que se obtém é melhor que o fino ouro.
Ela é mais preciosa que as pérolas, jóia alguma a pode igualar.”*

(Provérbios 3: 13-15)

Todos estes que aí estão
Atravancando o meu caminho,
Eles passarão.
Eu passarinho!

Mário Quintana

*À
Deus,
Valquíria,
Nelson Filho,
Maitê, Renan
e Leonice. Nelson
e Emília em Especial.*

DEDICO

AGRADECIMENTO

A Deus por ter guiado meus passos, em cada dia, de mais uma etapa de minha vida, muitas vezes com dificuldades, mas sempre com grandes vitórias;

À Universidade Federal de Lavras pelo aprendizado de vida, vivenciando diferentes experiências e situações, que de certa forma me engrandeceram e que com certeza levarei pelo resto de minha vida;

Ao Departamento de Ciências Florestais, ambiente de trabalho e estudo que me ensinou lições que nunca serão esquecidas;

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo concedimento da bolsa de mestrado;

Existem pessoas em nossas vidas que nos deixam felizes pelo simples fato de terem cruzado o nosso caminho...

As funcionárias do DCF Chica, Marluce, Terezinha, Roseane, Gláucia, Bete, Dona Regina e Márcia, sempre de prontidão para me ajudar quando necessário;

Ao meu professor orientador Luis Marcelo Tavares de Carvalho por me “*ensinar a pescar e não me dar o peixe*”, que com certeza foi um dos maiores aprendizados de minha vida;

A todos meus mestres, que me deram lições acadêmicas e de convivência e por me tornarem uma pessoa reflexiva e consciente da minha missão, em especial os professores Calegario e Cristina, Zé Aldo, Zé Luis e Volpato;

As minhas amigas de Altinópolis, Vivian, Vanessa, Verena, Carolina, Daiane, Josi, por todo o carinho e compreensão que sempre tiveram por mim;

As minhas queridas e jamais esquecidas, Estela, Maria, Ana Pimenta, Ana Magalhães, Tatão, Fernanda, Liana, Marília, Mayesse pela oportunidade de ter dividido esses anos de amizade e companheirismo, vivendo altos e baixos, com muita garra e cumplicidade;

Aos amigos de mestrado e companheiros de laboratório: Thomaz, Totonho, Guto, Clavícula, Bodinho, Nory, Iedo, Ayuni (mesmo que por pouco tempo) em especial Gleyce e Adriana que foram meus suportes nesta trajetória;

A Mirlaine pela grande amizade nestes anos, dedicação e ensinamentos valiosos;

À Thaís minha amiga e companheira de república por todos os momentos inesquecíveis vividos, pelas risadas e pelos choros;

Às minhas mães de Lavras Maria, Maísa e família, com certeza minha segunda casa. Agradeço por todo o amor e apoio que sempre me deram;

À Nazaré por todo o carinho concedido a mim. Nunca me esquecerei da nossa frase: “...*que vidinha boa, essa nossa!*”;

À Taís da Votorantim e seus companheiros que acreditaram no meu trabalho e disponibilizaram os dados para minha dissertação. Você é uma amiga especial;

Aos meus amigos e vizinhos Raoni, Jú, Mary Ana, Dai, Rafa, pelos momentos de grande felicidade que compartilhei com vocês;

Ao Samuel que me fez refletir sobre os verdadeiros valores da vida e sobre o caráter do ser humano. Com certeza você foi um dos anjos que passou pela minha vida.

À Rita que me viu crescer e até hoje está do meu lado sempre dando forças para continuar. Você é uma lição de vida para mim;

Aos meus maravilhosos irmãos, Maitê e Renan, minhas delícias, obrigado por fazerem parte de minha vida;

Aos meus lindos avôs que com certeza estariam felizes por mais esta conquista. Vó Nice obrigado por estar sempre do meu lado, mesmo longe sempre preocupada. Aos meus queridos Vô Nelson e Vô Emília “*Saudades Sim, Tristeza Nunca*”, vocês estarão guardados para sempre no meu coração;

Ao meu fiel companheiro Téo, meu cãozinho querido, pela companhia em várias noites de trabalho inacabáveis;

Aos meus pais, que acompanharam toda a minha trajetória e dividiram todos os momentos especiais e marcantes da minha vida, estando presentes ou não. Obrigado por terem me proporcionado grandes oportunidades e acreditarem em mim;

A todos que de certa forma participaram desta minha nova vitória, sintam-se agradecidos.

Amo Todos Vocês!!!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	i
GENERAL ABSTRACT.....	ii
APRESENTAÇÃO.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
ARTIGO – Metodologia para planejamento da colheita e transporte florestal utilizando geotecnologia e pesquisa operacional.....	1
RESUMO.....	2
ABSTRACT.....	3
1 Introdução.....	4
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
2.1 Área de estudo.....	9
2.2 Obtenção dos dados.....	9
2.3 Sistema de colheita.....	11
2.4 Fator de empilhamento.....	12
2.5 Análises espaciais no sistema de informações geográficas.....	13
2.6 Pesquisa operacional.....	19
2.6.1 Determinação de locais ótimos para empilhamento.....	19
2.6.1.1 Função objetivo	23
2.6.1.2 Restrições.....	24
2.7 Determinação de rotas ótimas.....	26
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
3.1 Análises espaciais no sistema de informações geográficas.....	27
3.2 Locais ótimos para empilhamento.....	27
3.2.1 Função objetivo e restrições.....	27
3.3 Rotas ótimas para transporte de madeira.....	31
3.4 Considerações sobre o estudo.....	39
4 CONCLUSÃO.....	42
5 AGRADECIMENTOS.....	43
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

RESUMO GERAL

LIMA, Mariana Peres de. **Metodologia para o planejamento da colheita e do transporte florestal utilizando geotecnologia e pesquisa operacional**. 2009. 46p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.*

Diante do cenário atual em que, o uso de recursos florestais está se expandindo cada vez mais, é necessário o emprego de técnicas e ferramentas que favoreçam o planejamento a curto, médio e longos prazos, facilitando a busca por uma utilização mais racional destes recursos tão preciosos, auxiliando e dando suporte à tomada de decisão. Este estudo tem por objetivo utilizar o sistema de informação geográfica e a pesquisa operacional como base para o planejamento da extração de madeira, em florestas plantadas. O estudo foi realizado em uma área pertencente à empresa Votorantim Celulose e Papel – VCP, com objetivo propor uma nova metodologia para o planejamento da extração de madeira. Buscou-se planejar os melhores locais para o empilhamento de madeira e determinar a quantidade de madeira a ser alocada em cada pilha, e ainda, simular rotas ótimas entre algumas pilhas selecionadas à saída das fazendas através do método da menor distância para o transporte da madeira. Como resultados obtidos pelas análises espaciais (sobreposição ponderada utilizando *layers* de inclinação e estradas existentes) em *software* de sistema de informação geográfica foram encontrados 80 locais potenciais para as pilhas de madeira. Posteriormente foi realizado um novo processamento utilizando pesquisa operacional que visou à maximização do volume de madeira nestas pilhas e como resultado obteve-se 21 locais ótimos para empilhamento, eliminando 59 destes locais obtidos pelo SIG, com uma redução de aproximadamente 73%. Para cada uma das 21 pilhas, foi determinada a quantidade de madeira que seria alocada em cada uma. Novamente utilizando o sistema de informação geográfica, foram realizadas simulações para determinar as melhores rotas ligando os binômios pilhas de madeira (origens) e as saídas da fazenda (destinos) através de algoritmo de menor distância.

Palavras-chave: Sistema de informação geográfica, extração de madeira, pesquisa operacional, sobreposição ponderada, planejamento da colheita e transporte florestal.

* Comitê orientador: Luis Marcelo Tavares de Carvalho - UFLA/DCF (Orientador).

GENERAL ABSTRACT

LIMA, Mariana Peres de. **Methodology for planning forest harvesting and transport using geotechnology and operations research**. 2009. 46p. Dissertation (Masters in Forestry Science/ Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brazil.*

Considering the current scenario in which the use of forest resources is growing quickly, it is necessary the use of techniques and tools to facilitate the short, medium and long run planning, thus facilitating the search for a more rational use of these precious resources, assisting and supporting the decision making. This study aimed to use the geographic information system and operational research as a basis for planning the extraction of timber in forest plantations. The study was conducted in an area belonging to the “Votorantim Celulose e Papel Company – VCP”, aiming to propose a new methodology for planning the extraction of timber. It was tried to plan the best places for the stacking of timber and to determine the amount of timber to be allocated in each pile, and also simulate optimal routes between some logpiles of the farms selected for output using the method of least distance for log transportation. The results obtained by the spatial analysis (using weighted overlapping *layers* of slope and existing roads) in *software* for geographic information system 80 potential locals were found for piling the logs. After this, a new processing was performed using operational research that aimed to maximize the volume of wood in these piles and the result obtained was 21 optimal places to stacking, eliminating 59 of these places from the GIS, with a reduction of, approximately, 73%. It was determined the amount of timber that would be allocated to each of the 21 piles. Again, using the geographic information system, simulations were performed to determine the best routes linking the binomial piles of wood (sources) and the output of the farm (destinations) through a smaller distance algorithm.

Key words: geographical information system, extraction of timber, operations research, weighted overlap, planning of forest harvesting and transport.

* Committee leader: Luis Marcelo Tavares de Carvalho - UFLA (Mentor).

APRESENTAÇÃO

O planejamento da colheita e do transporte florestal são atividades de grande importância para o setor, já que são as atividades que mais concorrem para a determinação do custo final da madeira, desta forma pesquisadores e estudiosos vem buscando - se aperfeiçoar estas atividades, garantindo a redução de custos e a maximização de lucro das empresas, cooperativas, entre outros.

Novos trabalhos têm abordado a utilização de tecnologias e ferramentas para facilitar o planejamento de atividades florestais. As geotecnologias, como o Sensoriamento remoto (SR), Sistemas de informações geográficas (SIG), Sistema de posicionamento global (GPS) vem se destacando cada vez mais no campo da Engenharia Florestal, desde a atualização de banco de dados florestais em tempo real, inventário florestal, estimativas volumétricas e de biomassa, planejamento da colheita e transporte florestal, até análise da diversidade e paisagens e tipologias florestais, avaliação e monitoramento ambiental, viabilizando um planejamento que tenda a um regime mais sustentável.

A Pesquisa operacional (PO) é outra ferramenta que está sendo bastante utilizada no setor florestal, visando à otimização dos recursos, além da minimização de custos através do estudo de variáveis que influenciam no processo, e conseqüentemente a maximização dos lucros.

Esta dissertação foi realizada com o intuito de utilizar estas ferramentas disponíveis, para melhorar e planejamento da extração de madeira em florestas plantadas.

Lavras, 06 de março de 2009.

Mariana Peres de Lima

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Quadro de classes de dificuldade das variáveis 1,2 e 3.....	14
TABELA 2	Quadro de declividades máximas para atividades florestais	17
TABELA 3	Quadro de características da variável 3.....	18
TABELA 4	Capacidade máxima de madeira por pilha “Vij”, em metros cúbicos.....	21
TABELA 5	Volume de madeira do talhão 16 e volume máximo suportado pelas pilhas, em metros cúbicos.....	22
TABELA 6	Pilhas selecionadas e seus respectivos valores de volume de madeira suportada por pilha e volume de madeira que será alocada, em metros cúbicos.....	31
TABELA 7	Características dos caminhões florestais.....	32

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Mapas de localização da área de estudo.....	10
FIGURA 2	Mapa da área e estradas do talhão 16 (a); Mapa das curvas de nível do talhão 16 (b).....	15
FIGURA 3	Mapa de elevação do talhão 16 (a); Mapa de inclinação do talhão 16 (b).....	16
FIGURA 4	Mapas da variável 1 - classes de dificuldade de movimentação das máquinas florestais (a), da variável 2 - classes de dificuldade de empilhamento das toras (b) e variável 3 - distância de estradas (c).....	20
FIGURA 5	Divisão dos subtalhões e pilhas em grupos.....	23
FIGURA 6	Mapas dos polígonos potenciais (a) e dos pontos centrais dos polígonos, e as saídas 1 e 2 (b).....	29
FIGURA 7	Pilhas selecionadas em cada grupo.....	30
FIGURA 8	Rota ótima para o binômio Pilha 4 - Saída 1(a), Rota ótima para binômio Pilha 15 - Saída 2 (b).....	34
FIGURA 9	Rota ótima para o binômio Pilha 4 - Saída 2 (a), Rota ótima para binômio Pilha 20 - Saída 2 (b).....	35
FIGURA 10	Rota ótima para o binômio Pilha 3 - Saída 2 (a), Rota ótima para binômio Pilha 5 - Saída 2 (b).....	37
FIGURA 11	Rota ótima para o binômio Pilha 13 - Saída 2.....	38

ARTIGO

METODOLOGIA PARA O PLANEJAMENTO DA COLHEITA E DO TRANSPORTE FLORESTAL UTILIZANDO GEOTECNOLOGIA E PESQUISA OPERACIONAL

O artigo foi encaminhado para submissão do
Periódico Científico **Revista Cerne**

MARIANA PERES DE LIMA^{1*}, LUIS MARCELO TAVARES DE
CARVALHO², ADRIANA ZANELLA MARTINHAGO³, LUCIANO
TEIXEIRA DE OLIVEIRA⁴, GLEYCE CAMPOS DUTRA⁵

1. Engenheira Florestal, Mestranda em Ciências Florestais pela Universidade Federal de Lavras - Departamento de Ciências Florestais/UFLA, Campus Universitário - C.P. 3037 - 37200-000 - Lavras, MG - mpl_p@eflorestal.ufla.br

2. Professor Adjunto, Departamento de Ciências Florestais/UFLA, Campus Universitário - C.P. 3037 37200-000 Lavras, MG – passarinho@ufla.br

3. Bacharel em Ciências da Computação, Doutoranda em Ciências Florestais pela Universidade Federal de Lavras – Departamento de Ciências Florestais/UFLA, Campus Universitário – C.P. 3037 37200-000 – Lavras, MG – dricazm@gmail.com

4. Engenheiro Florestal, Doutorando em Ciências Florestais pela Universidade Federal de Lavras - Departamento de Ciências Florestais/UFLA, Campus Universitário - C.P. 3037 - 37200-000 - Lavras, MG – oliveirat@hotmail.com

5. Professora Adjunta, Faculdade de Ciências Agrárias – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri /UFVJM, Campus II – Rod. MGT -367 km 583, nº 5000 - 39100-000 - Diamantina, MG – gleycedutra@yahoo.com.br

* Autor para correspondência: mpl_p@eflorestal.ufla.br

RESUMO: Verificando a necessidade de melhorar o planejamento da colheita e transporte de madeira, já que estas atividades são as que mais influenciam no custo final da madeira posta na fábrica, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma nova proposta metodológica através da utilização de ferramentas de geotecnologia e pesquisa operacional visando à determinação de melhores locais para o empilhamento de madeira e, conseqüentemente, a determinação de traçado ótimo de transporte utilizando o método da menor distância ligando algumas das pilhas selecionadas até as saídas da fazenda. Foram utilizadas *layers* de inclinação e estradas existentes para obter três variáveis utilizadas para a análise espacial denominada sobreposição ponderada. Para a determinação das rotas ótimas, foi utilizado o algoritmo de menor distância contido no software de sistema de informação geográfica. Como resultados obtidos pelo sistema de informação geográfica, para locais ótimos de empilhamento, foram selecionados 80 locais potenciais para as pilhas de madeira. Com a utilização posterior da pesquisa operacional, com a maximização do volume nas pilhas, eliminou-se 59 destes locais, com uma redução de 73%, sobrando 21 locais ótimos para o empilhamento da madeira. Ainda foram determinadas as quantidades de madeira que seriam alocadas em cada pilha. Com a utilização do sistema de informação geográfica foi determinada as melhores rotas ligando alguns dos binômios pilhas (origens) e as saídas da fazenda (destinos) selecionados. Os resultados encontrados no estudo, mesmo não validados em campo, foram considerados satisfatórios no planejamento da extração de madeira, já que foram utilizados métodos determinísticos e não mais intuitivos ou empíricos como é realizado atualmente, e que facilitariam as atividades de campo. Por outro lado, há necessidade de uma interação simultânea entre as duas ferramentas, conseguidas somente por um engenheiro de integração, o que aumentaria as chances de um planejamento mais eficiente.

Palavras-chave: Geotecnologia, pesquisa operacional, planejamento florestal, rota ótima, empilhamento de madeira.

ABSTRACT: Noting the need to improve the planning of harvesting and transporting timber, as these activities are those that most influence the final cost of wood put in plant, this work aimed to develop a new methodological proposal through the use of tools and the geotechnology and operational research aimed at determining the best places for the stacking of wood and consequently the determination of optimal transport route using the shortest distance connecting the logpiles selected by some of the outputs of the farm. We used layers of slope and existing roads for three variables used for the spatial analysis called weighted overlap. For the determination of optimal routes, we used the algorithm of shortest distance in the software of geographical information system. As results by geographic information system for local optimum of stacking, we selected 80 potential sites for waste wood. With the subsequent use of operational research, with the maximum volume of the piles, it eliminated 59 of these sites, with a reduction of 73% on 21 great places to stack the wood. Yet been determined quantities of wood that would be allocated in each pile. With the use of geographic information system was given the best routes linking some of the binomial piles (sources) and the output of the farm (destinations) selected. The findings in the study, although not validated in the field, were considered satisfactory in planning the extraction of timber, as was used deterministic methods rather than empirical or intuitive as it is currently conducted, and that facilitate the activities of field. Furthermore, we saw the need for a simultaneous interaction between the two tools, achieved only by an engineer integration, which would increase the chances of a more efficient planning.

Key words: Geotechnology, operational research, planning forestry, great route, stacking wood.

1 INTRODUÇÃO

O planejamento das atividades florestais tais como viveiro, silvicultura, colheita, transporte e logística em empresas de base florestal são imprescindíveis para quaisquer tipos de tomadas de decisão a curto, médio e longo prazo. Dentro deste contexto, as empresas buscam se atualizar em tecnologias que se despontam, visando solidificar seu banco de dados.

Existem inúmeras ferramentas e softwares desenvolvidos para o setor florestal, ou ainda adaptados de outros setores, que estão sendo muito utilizados produzindo resultados satisfatórios, tais como: Sensoriamento remoto (SR), Sistemas de informações geográficas (SIG), Sistema de posicionamento global (GPS) e Pesquisa operacional (PO). Inúmeros trabalhos e publicações abordando estes temas vêm sendo discutidos dentro do universo de planejamentos florestais.

Autores como Weintraub & Romero (2006), Arce (1997), Carlsson et al. (1999), Soares et al. (2003), Seixas (1986), Flisberg et al. (2007), Contreras & Chung (2007) apresentam em seus estudos métodos de utilização aplicada destas ferramentas de geotecnologia e pesquisa operacional, obtendo bons resultados na otimização do planejamento florestal em diversas atividades como a de arraste de madeira, determinação de rotas ótimas, minimização da distância e custo de transporte, locais ótimos para indústrias, etc.

Dentro do planejamento florestal existe uma tendência a grandes

preocupações referente às atividades de colheita e o transporte florestal, pois são as duas atividades que mais afetam no custo total da madeira. Machado (2002) salienta que a colheita florestal é responsável por grande parte do custo final da madeira posta em fábrica. Andrade (1998) acrescenta que 40 a 50% dos custos da produção da celulose é consequência do uso do produto florestal e cerca de 50% deste, refere-se aos custos de transporte e colheita florestal.

A utilização e implementação de geotecnologias e pesquisa operacional têm se mostrado muito eficientes para este setor, já que são de grande interesse na administração das empresas florestais interferindo nas tomadas de decisões. Assim, podem-se planejar atividades como: extração de madeira, orientar os planos de exploração, visando à análise econômica e a otimização da execução destas atividades, produzindo cronogramas e resultados bastante satisfatórios.

Nas principais atividades do planejamento florestal, tem-se buscado a utilização de geotecnologias visando à diminuição de custos e, conseqüentemente, aumento do lucro de empresas florestais. Ainda hoje é necessário ressaltar que o uso de sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica e sistema de posicionamento global são muito pouco utilizados no setor florestal no Brasil.

O Sistema de Informações Geográficas é definido como um conjunto de ferramentas que captura, armazena, recupera, transforma e apresenta os dados espaciais (Burrough & McDonnell, 1998), o que garante uma melhor

compreensão dos resultados.

A pesquisa operacional dentro da ciência florestal tem cada vez mais seu uso destacado em trabalhos para otimizar o planejamento. Esta ferramenta possui uma ampla utilização e aborda várias metodologias como a programação linear, programação inteira, programação dinâmica, heurísticas, entre outras, que buscam a melhor forma para solucionar problemas de maximização ou minimização de variáveis.

No meio florestal, a utilização da pesquisa operacional é citada por vários autores, dentre eles, Weintraub & Romero (2006), Mello et al. (2005), Lacowicz et al.(2002), Souza et al.(2002), Carlsson et al. (1999), Arce (1997), que utilizaram o método de programação linear como otimizadores para a resolução de problemas florestais.

De acordo com Rodriguez & Lima (1985) e Leite (1994) citados por Silva et al. (2003), entre as técnicas de pesquisa operacional aplicadas ao planejamento florestal, a Programação Linear aparece como uma das principais e tem se destacado pela eficiência.

Este estudo focaliza a utilização de geotecnologias e pesquisa operacional para planejar de forma mais determinística locais para empilhamento de madeira, já que, atualmente, os locais para o empilhamento da madeira são determinados de forma muitas vezes intuitiva, levando em consideração a experiência do planejador, sem nenhuma ferramenta que agilize o processo de tomada de decisão.

O sistema de informação geográfica, por sua vez, pode extrair e utilizar dados como características do relevo, distância entre estrada e pilhas, inclinação máxima de segurança para operações de maquinários florestais, para obter as melhores áreas dentro de um povoamento para realizar o empilhamento da madeira. Trabalhos utilizando essa metodologia são raros, por isso a importância de se realizar estudos como este.

A pesquisa operacional pode auxiliar o sistema de informação geográfica para realizar uma filtragem nas áreas definidas como potenciais para o empilhamento, devido a utilização de restrições que diminuem de forma otimizada os locais para empilhar a madeira. Além disto, a pesquisa operacional pode definir a quantidade de madeira que deve ser alocada para cada pilha, facilitando e tornando mais eficiente o planejamento da extração de madeira no campo.

Outro assunto a abordar neste estudo é a determinação de rotas ótimas para transporte de madeira, um assunto de grande importância para as empresas florestais, já que o transporte é uma das atividades que tem mais participação no custo total da madeira.

A pesquisa operacional e o sistema de informação geográfica podem ser utilizados para determinar as melhores rotas de transporte de várias origens para diversos destinos, levando em consideração distâncias mínimas, custo do transporte, distância mais rápida, entre outros. Neste trabalho utilizaremos o método da menor distância para ligar o binômio pilhas-saídas da fazenda.

Deve-se ainda destacar o aspecto inovador do presente estudo, pois trabalhos que envolvem a combinação dos sistemas de informação geográfica com a pesquisa operacional são raros na literatura florestal.

Diante do contexto apresentado, abordando o planejamento do processo de extração da madeira da floresta, busca-se apresentar uma nova proposta metodológica através de métodos determinísticos utilizando a geotecnologia e a pesquisa operacional como ferramentas suporte para definir os seguintes objetivos específicos apresentados abaixo:

- Determinar as melhores localizações para as pilhas de madeira, utilizando técnicas de análise espacial e pesquisa operacional;
- Determinar a quantidade de madeira que será alocada em cada pilha considerada ótima através da maximização do volume, em metros cúbicos; e
- Simular rotas ótimas para o escoamento da madeira proveniente de algumas destas pilhas até a saída da fazenda, utilizando o algoritmo da menor distância

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A Fazenda Santa Terezinha I pertence à empresa Votorantim Celulose e Papel. Está localizada no município de São José dos Campos na região leste do Estado de São Paulo. A fazenda está situada nas coordenadas 22° 58' 20" S e 45° 55' 20" W e está apresentada na Figura 1. O clima da região é quente com inverno seco com temperatura média anual de 21°C, com média máxima de 24°C e média mínima de 17 °C. Os meses com maiores índices pluviométricos são janeiro e fevereiro (Oliveira, 2001).

2.2 Obtenção dos dados

Os dados utilizados neste estudo foram disponibilizados pela empresa Votorantim Celulose Papel. Utilizou-se um projeto localizado na Fazenda Santa Terezinha I com uma área total de 981,87 ha, sendo a área efetiva 512,57 ha com plantio de *Eucalyptus* spp com finalidade de produção de celulose.

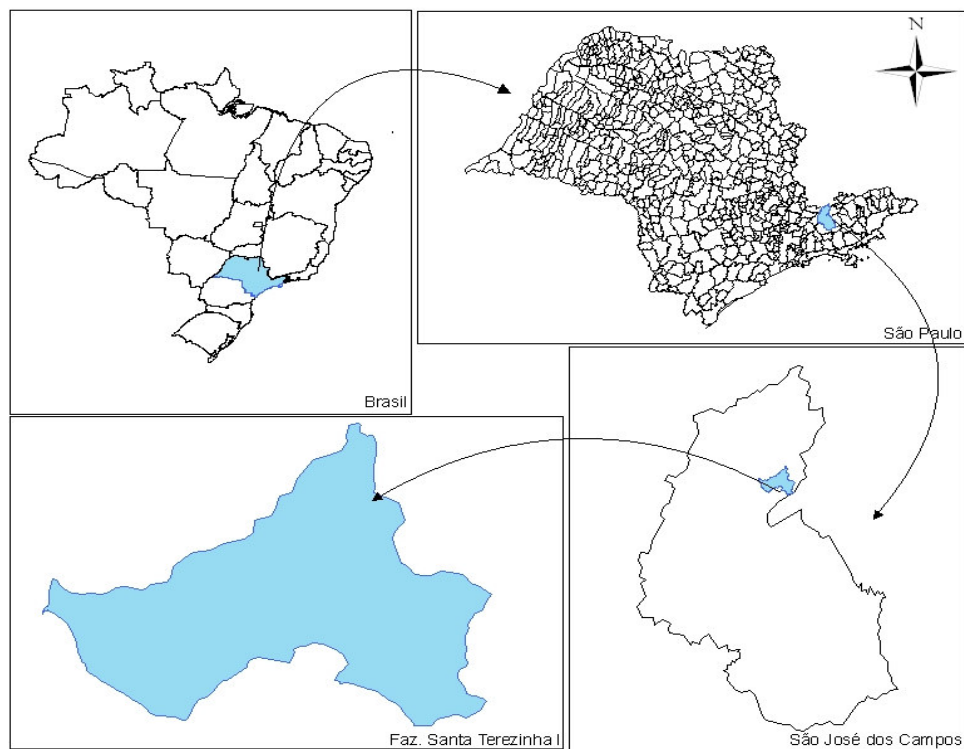


Figura 1 Mapas de localização da área de estudo.

Estes dados foram disponibilizados em três formas. A primeira forma foi uma planilha de inventário florestal processada por talhão, contendo informações de projeto, talhão, área do talhão, espaçamento, clones, data do plantio, altura, altura dominante, volume esperado de madeira com casca e sem casca de 5 a 9 anos e volume esperado de celulose de 5 a 9 anos.

Outro conjunto de dados foi disponibilizado em formato vetorial compatível com o sistema de informações geográficas. Este conjunto refere-se à

área e perímetro dos talhões e da fazenda, estradas existentes nas áreas, áreas de reserva legal e áreas de preservação permanente caracterizadas pelo tipo de vegetação existente (bambu, capoeira, pasto, brejo, etc.) e infra-estruturas existentes na área.

Por fim, a empresa forneceu tabelas contendo os fatores de empilhamento e cubicação, declividades máximas de trabalho para os tratores florestais e declividade máxima de áreas para instalações de pilhas de madeira.

Com o intuito de detalhar o planejamento da extração de madeira, foi escolhido dentre os 16 talhões da fazenda Santa Terezinha I, o talhão número 16 que foi dividido em subtalhões com seus respectivos volumes em metros cúbicos (Figura 2a), com a segunda maior extensão cobrindo uma área de 47,58 ha., e com um volume total de madeira estimado de 12.576,18 m³ para 7 anos de idade.

2.3 Sistema de colheita

Na área de estudo, os sistemas de colheita utilizados são o semi-mecanizado e mecanizado. O corte e extração da madeira são feitas por meio do harvester em locais de inclinação inferiores a 27° e com motosserra, para locais com inclinação superior a 27° inclinação. O baldeio da madeira é feito utilizando o forwarder.

2.4 Fator de empilhamento

Primeiramente, é necessário conhecer as dimensões das pilhas de madeira que irão ocupar as áreas de estocagem. Estas dimensões podem ser obtidas utilizando fatores de empilhamento. O fator de empilhamento é uma relação que transforma o volume do conjunto de árvores no volume que as mesmas ocupariam caso fossem empilhadas.

A medida utilizada para a mensuração de madeira em pilha é o metro estéreo. Por isso é necessário a utilização do fator de empilhamento (Fe) que transforma metros cúbicos de madeira (m^3) em metros estéreos de madeira (mst), facilitando assim o planejamento e a comercialização de madeira (Machado & Figueiredo Filho, 2003).

Segundo Couto & Bastos (1988), no Brasil a utilização de fatores de empilhamento para *Pinus* e *Eucalyptus* é adotada, evitando-se assim uma amostragem específica para cada local. No entanto, estes fatores acarretam erros grosseiros, pois levam a entender que o povoamento é homogêneo apresentando uma mesma frequência de indivíduos e que todos são semelhantes em relação à forma do fuste.

Observa-se que uma possibilidade real para a diminuição do erro destes fatores é a realização do empilhamento das toras de madeira por classes diamétricas, calculando-se, para cada classe, os fatores específicos.

No caso do presente trabalho, foram utilizados para a conversão de metros

cúbicos em metros estéreos e vice - versa um fator de empilhamento de 1,8 e um fator de cubicação de 0,56, utilizados pela empresa.

2.5 Análises espaciais no sistema de informações geográficas

Os dados espaciais do cadastro florestal da empresa foram georreferenciados e incorporados ao Sistema de Informações Geográficas no ambiente ArcGIS 9.3. Foram utilizadas no SIG as seguintes camadas, ou *layers* de informação: perímetro e áreas dos talhões, estradas existentes, limite de reserva legal e área de preservação permanente, projeto, curvas de nível (isolinhas).

A Figura 2a, retrata o talhão 16 que se encontra subdividido em áreas menores (subtalhões), contendo a rede de estradas pertencentes a ele.

A operação das máquinas florestais e a localização das pilhas de madeira são determinadas principalmente pela inclinação do terreno e distância das estradas existentes. Assim, foi necessário calcular, a partir das curvas de nível, (Figura 2b) o modelo de elevação (Figura 3a) e, a partir deste, o modelo de inclinação (Figura 3b) para a área de estudo.

Em seguida foi realizada, a partir das *layers* inclinação e estradas existentes no talhão 16, uma reclassificação para uma escala ordinal gerando três novas *layers*: (1) classes de dificuldade de movimentação das máquinas florestais, (2) classes de dificuldade de empilhamento das toras e (3) distância de

estradas, doravante denominadas variáveis 1, 2 e 3.

Tabela 1 Quadro de características das variáveis 1,2 e 3.

Valores	Classe	Coloração
1	Muito baixa	Verde
2	Baixa	Azul
3	Alta	Amarelo
4	Muito alta	Laranja
5	Restrito	Vermelho

Os valores variam de 1 a 5, em que os menores valores (1 e 2) são classificados como áreas com dificuldades muito baixas e baixas, os valores 3 e 4 são locais com dificuldades altas e muito altas para o empilhamento da madeira. O valor 5 representa as áreas onde não é possível o empilhamento da madeira, por isso denominada área restrita. A Tabela 1 apresenta o esquema de classificação das variáveis utilizado neste trabalho.

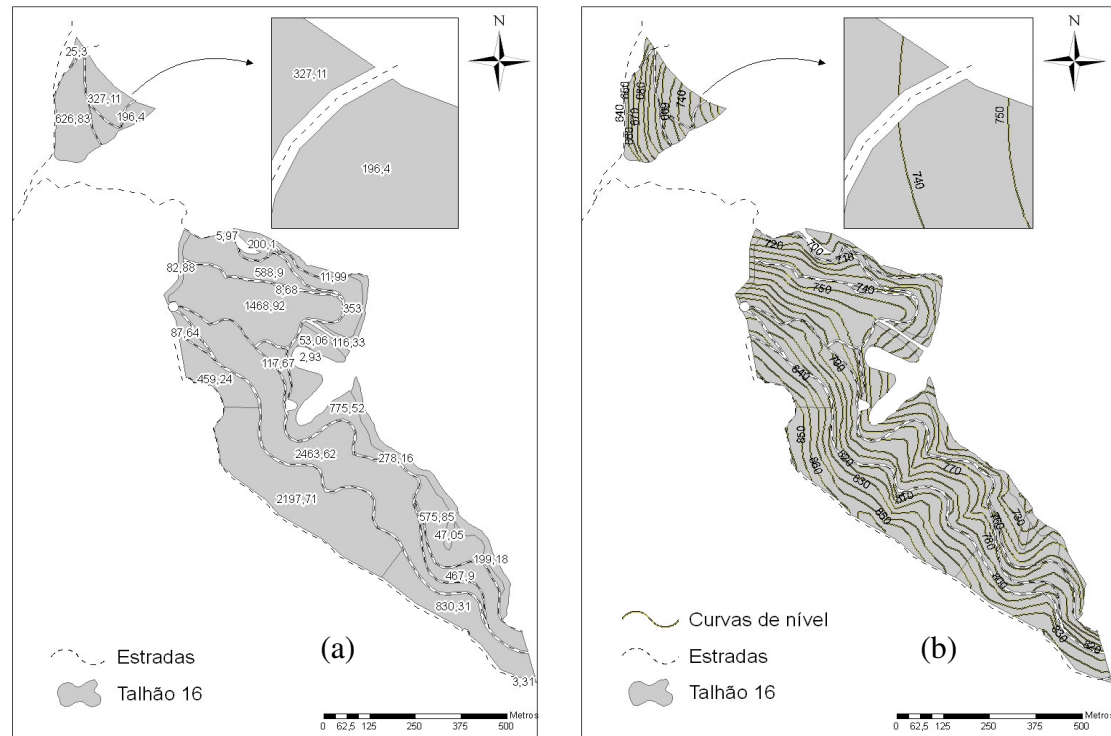


Figura 2 Mapa da área e estradas do talhão 16 (a); Mapa das curvas de nível do talhão 16 (b).

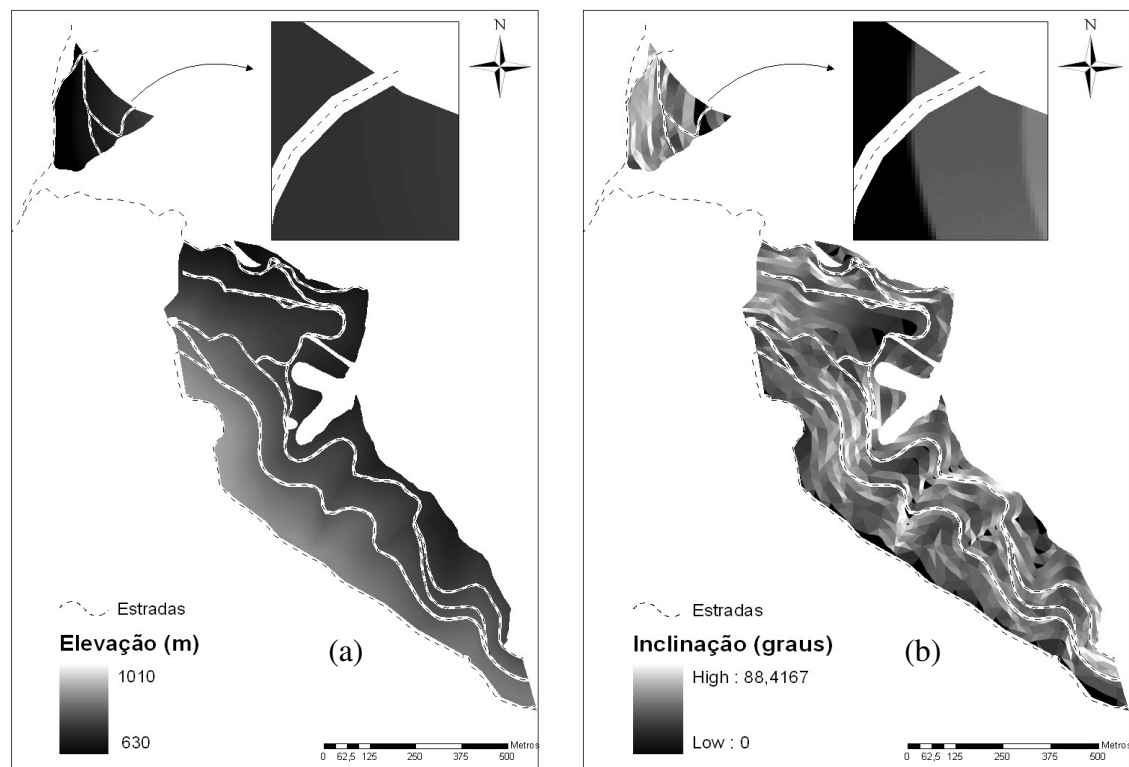


Figura 3 Mapa de elevação do talhão 16 (a); Mapa de inclinação do talhão 16 (b).

Nas variáveis 1 (Figura 4a) e 2 (Figura 4b), as áreas com valor 5 (vermelho) representam locais com inclinação limitante para operação de máquinas florestais e para empilhamento das toras, respectivamente, de acordo com a Tabela 2. As demais classes destas variáveis foram definidas em intervalos de mesma amplitude.

Tabela 2 Quadro de declividades máximas para atividades florestais.

Atividades florestais	Declividade máxima (°)	Declividade máxima (%)
Forwarder	27	50
Harvester	27	50
Empilhamento	6,35	10

Fonte: VCP, (2008).*

A variável 3 (Figura 4c) representa as classes de distância das estradas existentes. Como nas variáveis anteriores, locais mais próximos das estradas (0 a 2,5m) foram considerados muito bons para o empilhamento da madeira, sendo reclassificados com o valor 1. No outro extremo da escala, locais reclassificados com o valor 5, encontram-se as áreas distantes mais do que 10m das estradas e, portanto, inaptas para o empilhamento das toras. A largura fixada em 2,5m das quatro primeiras classes de distância foi definida utilizando como base o tamanho das toras traçadas pelo harvester (2,4m), de acordo com dados fornecidos pela VCP (Tabela 3).

* Comunicação pessoal. Votorantim Celulose e Papel -VCP, 2008.

Estas três variáveis (*layers*) foram combinadas no intuito de gerar uma única *layer* que representasse a potencialidade das áreas para receber as pilhas de madeira. Para isso foi feita uma operação de sobreposição ponderada. Para as variáveis 1 e 3 foi atribuído o peso 30%, enquanto que para variável 2 foi atribuído o peso 40%.

Tabela 3 Quadro de características da variável 3.

Variável 3 Valores	Classe	Coloração	Distâncias até a estrada (m)
1	Muito baixa	Verde	0-2,5
2	Baixa	Azul	2,6-5,0
3	Alta	Amarelo	5,1-7,5
4	Muito alta	Laranja	7,6-10,0
5	Restrita	Vermelho	>10,0

Estes pesos foram definidos com base no que a empresa julga mais importante para a instalação de uma pilha de madeira. Tanto a inclinação limite de trabalho das máquinas e equipamentos florestais (variável 1), quanto as distâncias da pilha até a estrada (variável 3) possuem importâncias iguais, e que a variável 2 possui uma importância maior em relação as demais por estar diretamente relacionada com o empilhamento.

Por fim, o resultado da sobreposição ponderada foi reclassificado para

duas classes de potencialidade: áreas potenciais e áreas não potenciais para o empilhamento de madeira. Calculando-se a área de cada classe, verificou-se que o agrupamento das classes 1 e 2 seria suficiente para receber toda a madeira do talhão. Assim, estas classes foram reclassificadas como potenciais e as demais como não potenciais.

2.6 Pesquisa operacional

2.6.1 Determinação de locais ótimos para empilhamento

Para determinar os melhores locais para o empilhamento da madeira foi feita uma divisão do talhão 16 em quatro grupos de subtalhões (Figura 5), visando a distribuir melhor as pilhas na área, reduzindo a distância para o arraste de toras.

Esta subdivisão foi realizada baseando-se em dois aspectos: a proximidade geográfica dos subtalhões e a inclinação do terreno. Depois de feita a subdivisão, foi determinada para cada grupo a soma da área dos subtalhões, o volume de madeira em metros cúbicos que os subtalhões possuíam, a listagem dos melhores locais para empilhamento da madeira em cada grupo e a capacidade de volume total, em metros cúbicos, que estas pilhas seriam capazes de receber (Tabela 4). Na Tabela 5 é ainda apresentado o volume de madeira real contido no grupo de subtalhões do talhão 16.

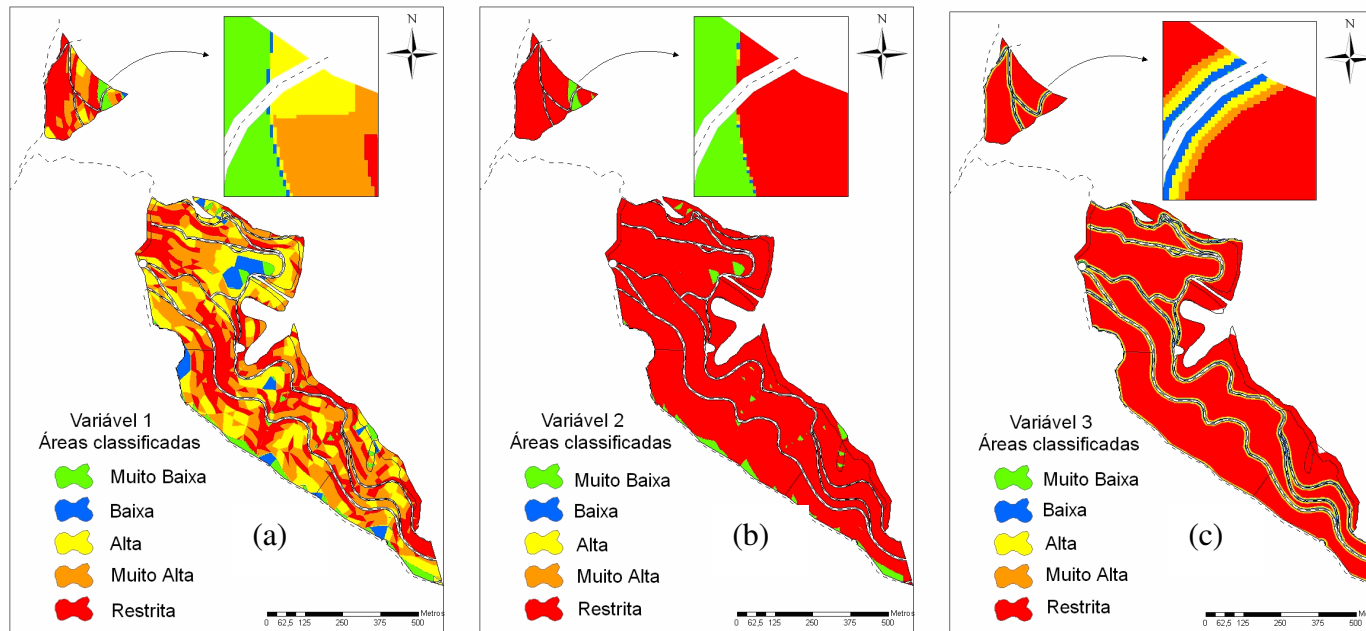


Figura 4 Mapas da variável 1 - classes de dificuldade de movimentação das máquinas florestais (a), da variável 2 - classes de dificuldade de empilhamento das toras (b) e variável 3 - distância de estradas (c).

Tabela 4 Capacidade máxima de madeira por pilha “Vij”, em metros cúbicos.

Grupos Pilhas	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Pilha 1	286,35	133,99	246,17	113,60
Pilha 2	537,02	581,00	155,81	392,46
Pilha 3	532,56	1009,60	381,92	237,75
Pilha 4	585,31	236,36	227,91	126,11
Pilha 5	620,70	651,71	113,97	564,00
Pilha 6	508,47	166,41	303,07	173,25
Pilha 7	319,68	551,38	200,10	167,31
Pilha 8	318,64	745,66	177,69	90,27
Pilha 9	198,25	137,92	202,68	97,45
Pilha 10		257,80	96,09	121,07
Pilha 11		249,78	434,36	134,92
Pilha 12		227,64	244,12	390,98
Pilha 13		220,63	113,18	361,35
Pilha 14		184,91	1100,76	277,99
Pilha 15		1384,62	1268,63	725,05
Pilha 16		163,42	183,82	
Pilha 17		220,95	165,30	
Pilha 18		218,48	625,10	
Pilha 19		174,17	177,72	
Pilha 20		130,32	1147,42	
Pilha 21		202,72	696,38	
Pilha 22		152,37	482,28	
Pilha 23		183,90	553,09	
Pilha 24		187,47	412,52	
Pilha 25		630,00	361,40	
Pilha 26		524,31	135,00	
Pilha 27		460,66	98,57	
Pilha 28		225,16		
Pilha 29		216,52		
Volume Total (m³)	3.906,98	10.429,81	10.305,03	3.851,25

Tabela 5 Volume de madeira do talhão 16 e volume máximo suportado pelas pilhas, em metros cúbicos.

Grupos	Volume de madeira total do talhão 16 (m³)	Capacidade de madeira suportada pelas pilhas (m³)
Grupo 1	1175,63	3.906,98
Grupo 2	3790,58	10.429,81
Grupo 3	4119,39	10.305,03
Grupo 4	3490,57	3.851,25

Neste estudo foi utilizado o método de programação linear, para a resolução do problema. Este método leva em consideração algumas restrições, tais como: capacidade volumétrica total que as pilhas comportam e a quantidade disponível de madeira em cada grupo de subtalhões.

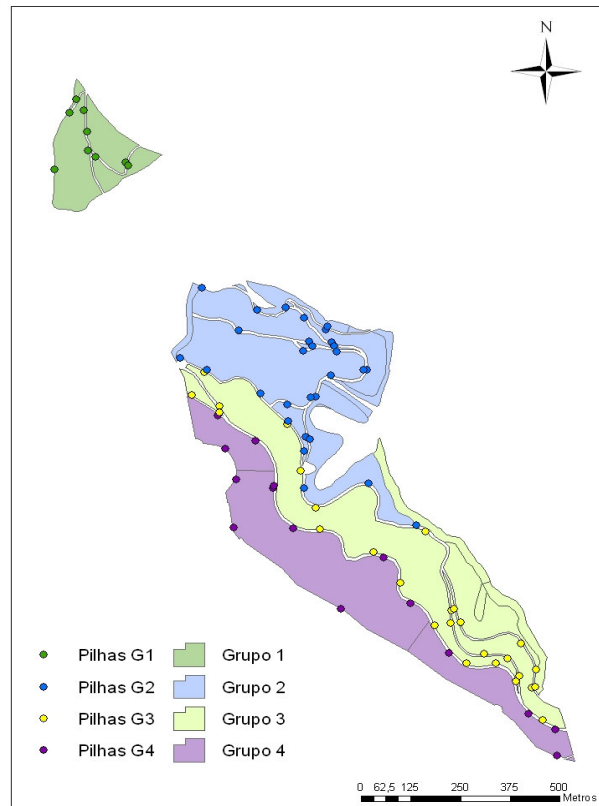


Figura 5 Divisão dos subtalhões e pilhas em grupos.

2.6.1.1 Função objetivo

A formulação do modelo matemático foi feita com as informações registradas na Tabela 4, que são os volumes contidos na matriz - “ V_{ij} ” (capacidade de volume total que estas pilhas possuíam em metros cúbicos) e com informações de disponibilidade de madeira por grupo de subtalhões. O software utilizado para a resolução do problema foi o LINDO.

$$\text{Maximizar: } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n V_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Em que:

Z = Quantidade de madeira alocada nas pilhas i do grupo j , em metros cúbicos;

X = variável que identifica a pilha e o seu respectivo grupo de subtalhões;

V = capacidade de volume total que estas pilhas possuíam, em metros cúbicos;

i = número de pilhas de madeira de 1 a m ; e

j = número de grupos de subtalhões variando de 1 a n , onde $n = 4$.

2.6.1.2 Restrições

Para cada um dos quatro grupos de subtalhões, existe um volume de madeira a ser fornecido que precisa ser empilhado.

Conseqüentemente, o somatório do volume de madeira que será alocado nas pilhas tem que ser no mínimo igual ao volume disponível para o empilhamento, ou seja, a quantidade total de madeira contida em cada grupo de subtalhões, em metros cúbicos, de acordo com as equações abaixo.

$$\text{Para } j = 1, \text{ tem - se: } \sum_{i=1}^9 X_{ij} \leq V_{f \ g_j} \quad (2)$$

$$\text{Para } j = 2, \text{ tem - se: } \sum_{i=1}^{29} X_{ij} \leq V_{f \ g_j} \quad (3)$$

$$\text{Para } j = 3, \text{ tem - se: } \sum_{i=1}^{27} X_{ij} \leq V_f g_j \quad (4)$$

$$\text{Para } j = 4, \text{ tem - se: } \sum_{i=1}^{15} X_{ij} \leq V_f g_j \quad (5)$$

Em que:

$V_f g_j$ = Quantidade total de madeira fornecida pelo grupo de subtalhões j .

Existe a restrição quanto ao valor da variável “ X_{ij} ”. O valor da pilha não pode ultrapassar a capacidade de madeira suportada, em metros cúbicos.

Para i e j variando respectivamente de 1 a m e 1 a n , tem-se:

$$X_{ij} \leq V_{ij} \quad (6)$$

A seguir, são apresentadas as restrições quanto a não negatividade das variáveis.

$$X_{ij} \geq 0; i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (7)$$

Aplicando as equações de (1) a (7) apresentadas anteriormente, aos dados fornecidos, foram determinadas quais pilhas seriam selecionadas para colocar a madeira e quanto de madeira seria empilhada em cada pilha.

2.7 Determinação de rotas ótimas

Após a seleção dos melhores locais para empilhamento da madeira, foram feitas simulações ligando os locais de empilhamento e as saídas da fazenda (S1 e S2).

Existem vários métodos e algoritmos para determinar um traçado ótimo para o transporte florestal. O critério utilizado neste estudo foi embasado em trabalhos que também utilizaram o sistema de informação geográfica com resultados significativos.

Motta (1996) demonstrou que a utilização do SIG foi viável na determinação de rotas ótimas de transporte. Barddal (1994) utilizou o SIG para projetos de estradas, e reformulou os traçados existentes anteriormente, de forma a otimizar o transporte florestal, contemplando aspectos técnicos e econômicos.

A ferramenta utilizada para a determinação das melhores rotas é baseada no método do caminho mínimo, ou seja, leva em consideração o percurso de menor distância entre as pilhas e as saídas da fazenda. Foi feita, a partir da importação de dados para o ambiente SIG, a seleção de sete origens (pilhas) e os dois destinos (saídas S1 e S2) para exemplificar o procedimento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises espaciais no sistema de informações geográficas

A Figura 6a apresenta o resultado obtido na ponderação, onde as áreas em cinza são áreas não potenciais para o empilhamento da madeira e as áreas em verde são as áreas potenciais para o empilhamento da madeira extraída.

Após este processo, foi realizada uma filtragem nas áreas potenciais para receber o empilhamento de madeira. Esta filtragem visou a excluir áreas menores que 100 m², pois foi determinado pela empresa que áreas menores que 100m² seriam áreas pequenas para realizar o empilhamento da madeira. Foram obtidos 80 polígonos aptos para o empilhamento da madeira.

Foram calculados os valores de volume em metros cúbicos e o volume em que metro estéreo que cada um dos polígonos comporta, além das distâncias que cada polígono está em relação às duas saídas (S1 e S2) da fazenda.

Na Figura 6b, são apresentados os pontos centrais dos polígonos aptos, além das duas saídas/destinos (S1 e S2) e a malha viária existente do talhão 16.

3.2 Locais ótimos para empilhamento

3.2.1 Função objetivo e restrições

A formulação do modelo matemático foi feita com as informações contidas na Tabela 4, que são os coeficientes da matriz “ V_{ij} ” (capacidade de

volume total que estas pilhas possuíam em metros cúbicos) e com informações de disponibilidade de madeira por grupo de subtalhões.

A partir das fórmulas disponibilizadas anteriormente de (1) a (7) juntamente com os dados fornecidos, foi determinado quais pilhas seriam ótimas para colocar a madeira e quanto de madeira seria empilhada em cada pilha.

Foram selecionados 21 locais aptos para o empilhamento entre os 80 locais selecionados pelo sistema de informação geográfica, mostrando que houve uma redução de cerca de 73% para os locais de empilhamento.

Estas pilhas estão distribuídas da seguinte forma: duas pilhas no grupo de subtalhões 1, quatro pilhas no grupo de subtalhões 2, quatro pilhas no grupo de subtalhões 3 e onze pilhas no grupo de subtalhões 4, totalizando os vinte e um locais aptos.

De acordo com os resultados obtidos pela programação linear, tem-se para cada grupo de subtalhões, o seguinte:

- Referentes ao grupo de subtalhões 1 a madeira será empilhada nas pilhas número 4 e 5 com 554,93 e 620,70 m³ de madeira respectivamente.
- Referentes ao grupo de subtalhões 2 a madeira será empilhada nas pilhas número 3, 5, 8 e 15 com 1009,60; 650,70; 745,66 e 1384,62 m³ de madeira respectivamente.

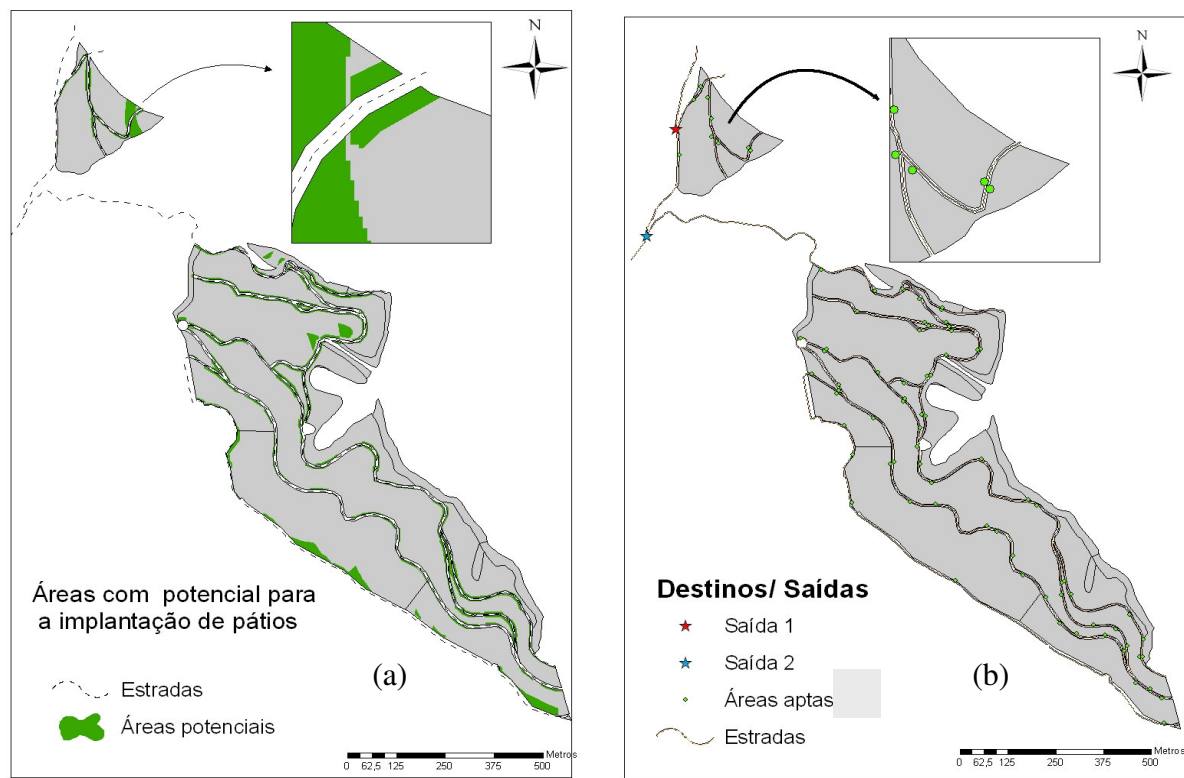


Figura 6 Mapas dos polígonos potenciais (a) e dos pontos centrais dos polígonos, e as saídas 1 e 2 (b).

- Referentes ao grupo de subtalhões 3 a madeira será empilhada nas pilhas número 14, 15, 20 e 21 com 1100,76; 1268,63; 1147,42 e 602,58 m³ de madeira respectivamente.

- Referentes ao grupo de subtalhões 4 a madeira será empilhada nas pilhas número 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14 e 15 com 392,46; 237,75; 65,51; 564,00; 173,25; 167,31; 134,92; 390,98; 361,35; 277,99 e 725,05 m³ de madeira respectivamente.

Na Figura 7 estão apresentadas espacialmente as pilhas que serão utilizadas para a alocação da madeira contida em cada grupo de subtalhões.

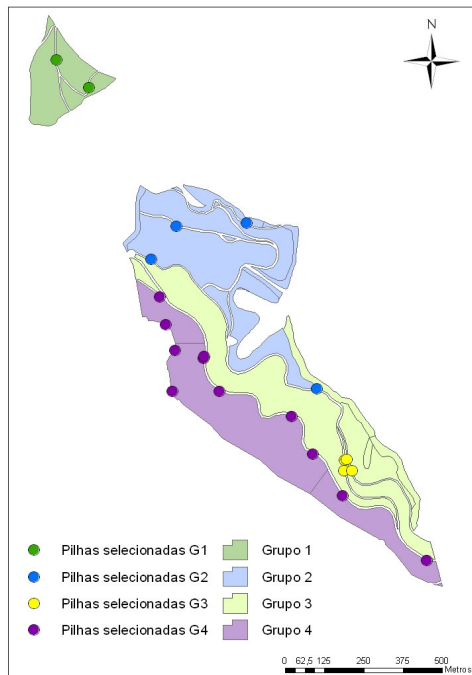


Figura 7 Pilhas selecionadas em cada grupo.

Tabela 6 Pilhas selecionadas e seus respectivos valores de volume de madeira suportada por pilha e volume de madeira que será alocada, em metros cúbicos.

Grupos	Pilhas selecionadas	Vol. de madeira suportada (m³)	Vol. de madeira alocada (m³)
Grupo1	4	585,31	554,93
	5	620,70	620,70
Grupo2	3	1009,60	1009,60
	5	651,71	650,70
	8	745,66	745,66
	15	1384,62	1384,62
Grupo3	14	1100,76	1100,76
	15	1268,63	1268,63
	20	1147,42	1147,42
	21	696,38	602,58
Grupo 4	2	392,46	392,46
	3	237,75	237,75
	4	126,11	65,51
	5	564,00	564,00
	6	173,25	173,25
	7	167,31	167,31
	11	134,92	134,92
	12	390,98	390,98
	13	361,35	361,35
	14	277,99	277,99
15	725,05	725,05	

3.3 Rotas ótimas para transporte de madeira

Foram selecionadas aleatoriamente sete pilhas contidas nos quatro grupos de subtalhões e foram simuladas as rotas ótimas para cada pilha através do algoritmo de menor distância.

A empresa forneceu dados de características dos caminhões florestais utilizados no transporte da madeira. Dados de tipo de material transportado (tora ou cavaco), número de eixos para os caminhões vazios e carregados, o volume de madeira transportada por viagem, em metros cúbicos, e ainda a capacidade do caminhão em toneladas. A Tabela 7 a seguir apresenta as características da frota florestal.

Tabela 7 Características dos caminhões florestais.

Caminhões Florestais	Tipo de Material	Número de Eixos		Volume (m ³)	Capacidade (ton)
		Vazio	Carregado		
FL-BITREM 7E	Tora	5	7	40	38,5
FL-BITREM 7E	Tora	4	7	45	60,0
FL-CARRETA 6E	Cavaco	3	6	33	26,5
FL-ROMEU/JULIETA 6	Tora	5	6	38	60,0
FL-ROMEU/JULIETA 6E Tora Curta	Tora	5	6	38	31,0
FL-ROMEU/JULIETA 6E	Tora	5	6	33	60,0
FL-TRITREM 9E	Tora	6	9	45	100,0
FL-TRITREM 9E TR	Tora	6	9	60	100,0
FL-TRITREM 9E	Tora	6	9	60	100,0

Fonte: VCP, (2008).*

Utilizando-se os dados da tabela acima foi escolhido um dos caminhões para fazer posteriores simulações para a quantidade de caminhão para transportar cada uma das sete pilhas selecionadas. O caminhão selecionado foi *FL-ROMEU/JULIETA 6E*, com volume transportado de 60 m³ de madeira em toras.

* Comunicação pessoal. Votorantim Celulose e Papel -VCP, 2008.

As figuras subseqüentes mostram os resultados obtidos das rotas ótimas de transporte para sete das vinte e uma pilhas selecionadas, ligando-as até as saídas (S1 e S2) das fazendas.

A Figura 8a mostra a melhor rota obtida por meio da análise espacial para a pilha número 4 do grupo de subtalhões 1. A saída utilizada foi a saída 1 (S1). A rota possui uma distância de 462,35m. Seriam necessários para transportar o volume de 554,93 m³ da pilha quatro 9,24 viagens do caminhão *FL-ROMEU/JULIETA 6E*.

A figura 8b retrata a melhor rota ótima obtida entre a pilha número 15 do grupo de subtalhões 3 para a saída 2. A rota possui 2.333,05m e seria necessário 21,4 viagens do caminhão florestal para o transporte de 1.268,63 m³ de madeira contido na pilha.

As Figura 9a e 9b mostram respectivamente as melhores rotas de saída da madeira da pilha 4 do grupo de subtalhões 4 para a saída 2 e da pilha número 20 do grupo de subtalhões 3 para a saída 2. A rota do binômio pilha 4 e saída 2 tem uma distância de 3.030,96 m enquanto que distância do binômio pilha 20 e saída 2 possui 2.293,31 metros.

Para a pilha 4 do grupo de subtalhões 4, seriam necessários 1,09 viagens para transportar 65,51m³ de madeira, enquanto para a pilha número 20 do grupo de subtalhões 3 seriam necessárias 19,21 viagens para o transporte de 1147,42m³ de madeira.

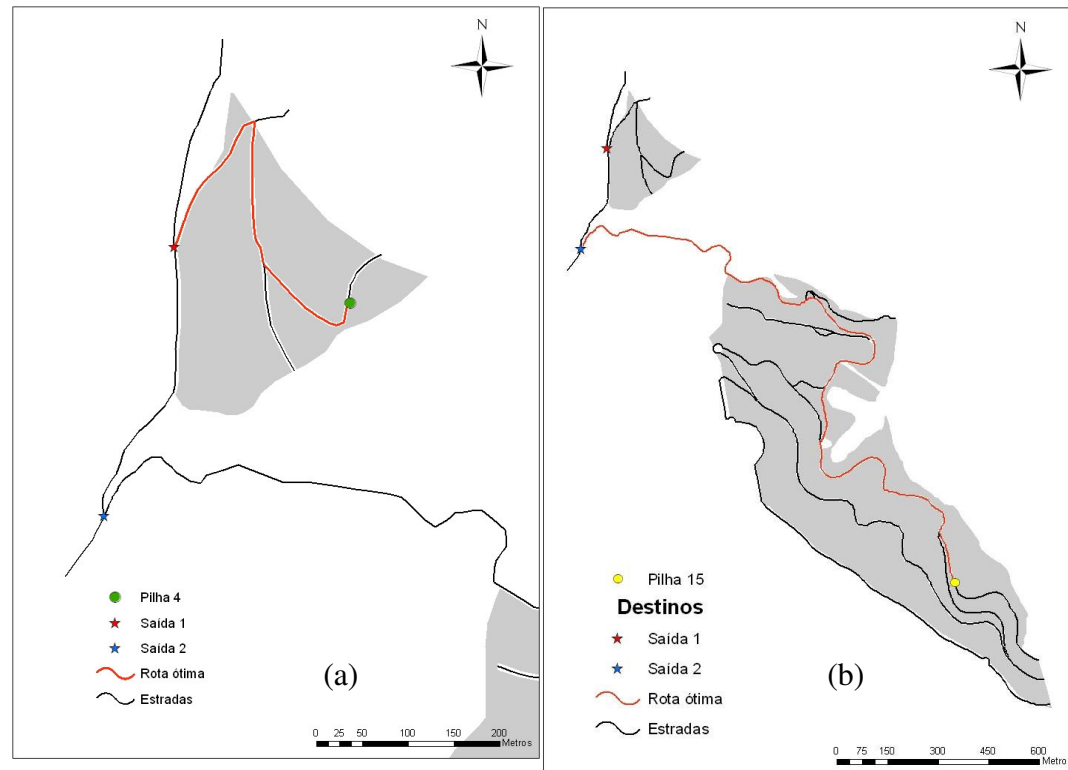


Figura 8 Rota ótima para o binômio Pilha 4 - Saída 1(a), Rota ótima para o binômio Pilha 15 - Saída 2 (b)

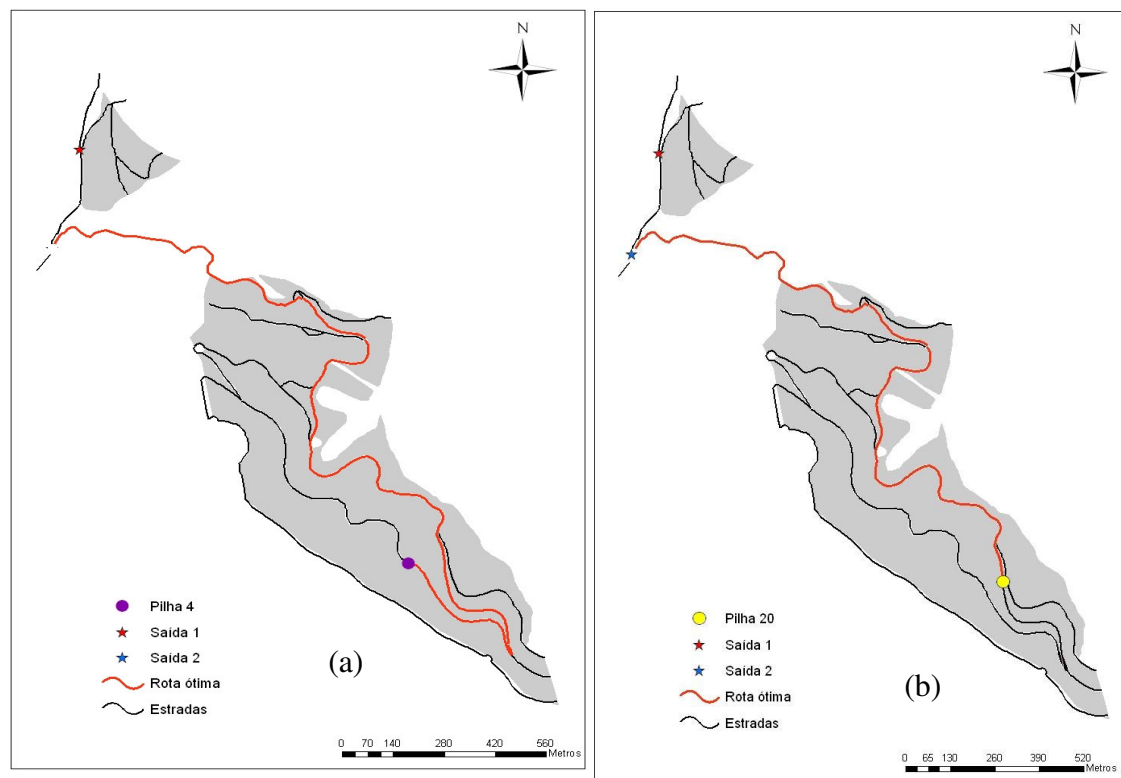


Figura 9 Rota ótima para o binômio Pilha 4 - Saída 2 (a), Rota ótima para o binômio Pilha 20 - Saída 2 (b)

A Figura 10a mostra a melhor rota para a pilha número 3 do grupo de subtalhões 3 para a saída 2. A rota possui uma distância de 2.051,72m de extensão e são necessárias 16,82 viagens para transportar 1009,60 m³ de madeira.

A Figura 10b mostra a melhor rota para a pilha número 5 do grupo de subtalhões 3 para a saída 2. A rota possui uma distância de 1.698,38m e há necessidade de 10,85 viagens para transportar o volume de 650,7 m³ de madeira da pilha 3.

A Figura 11 ilustra a rota ótima com uma extensão equivalente a 2.456,72 m da pilha número 13 do grupo de subtalhões 4 para a saída 2, sendo necessárias 6,02 viagens para o transporte de 361,35 m³ de madeira em toras.

Deve-se notar que a metodologia utilizada para a determinação das melhores rotas foi a do percurso de menor distância, porém esta metodologia não garante que está seja a opção com o menor custo de transporte, pois pode haver outro trajeto com distâncias maiores que possuam trechos com menores declividades, com uma infra-estrutura em melhores condições de tráfego para os veículos florestais, entre outros fatores determinantes.

Outras metodologias poderiam ser aplicadas como o caminho mais rápido, caminho de menor custo, entre outros, se dados como custo de transporte, consumo de combustível, quilometragem por litro de combustível, condições das estradas, inclinação do greide fossem adicionadas ao modelo espacial e numérico.

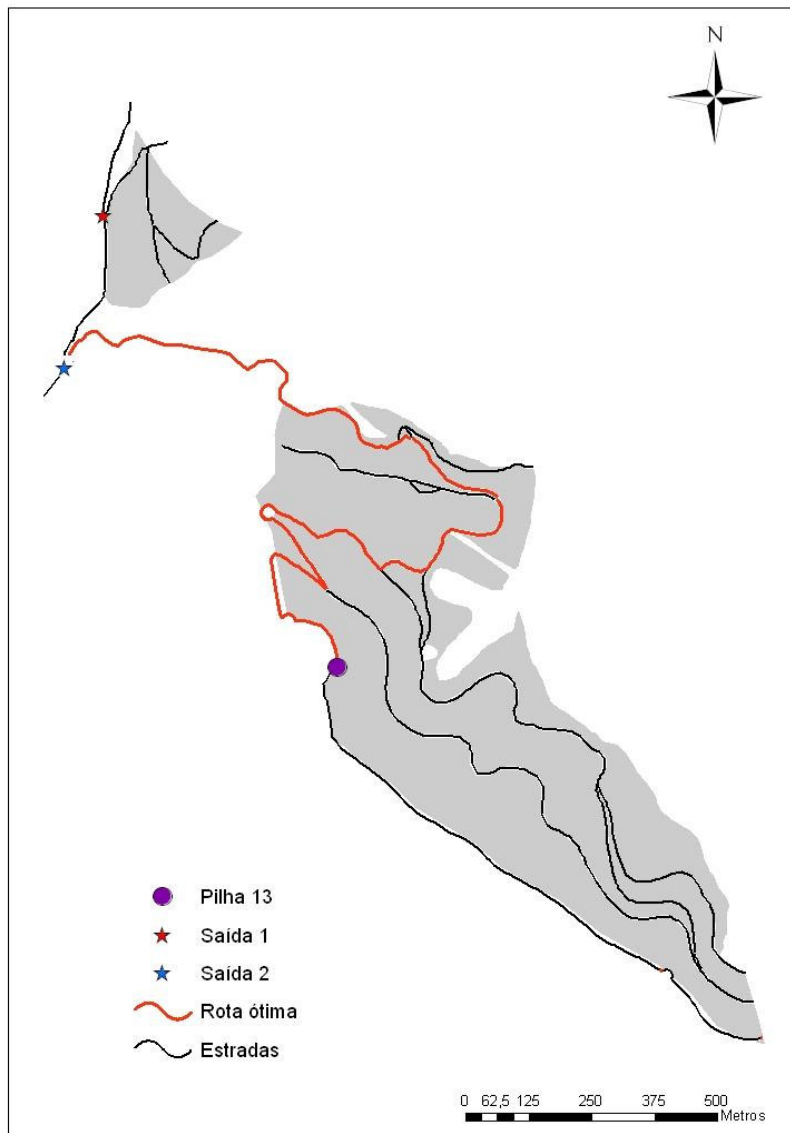


Figura 11 Rota ótima para o binômio Pilha 13 - Saída 2

3.4 Considerações sobre o estudo

Seria necessário validar a metodologia proposta por este trabalho para verificar a eficiência deste planejamento para a extração da madeira do projeto florestal. Os resultados obtidos por este estudo, referentes ao planejamento da extração de madeira do talhão 16, não puderam ser postos em prática, para se avaliar se houve ou não redução de custos da extração, já que o talhão só será cortado no ano de 2010. Porém, estudos futuros poderão ser realizados para avaliar a diminuição ou não destes custos através deste planejamento.

Em relação à proposta metodológica apresentada neste trabalho é necessário salientar que a metodologia utilizada para se planejar a extração da madeira determinando os locais para o empilhamento e o traçado das rotas ótimas é um método determinístico, deixando de lado a forma empírica e intuitiva como este problema é tratado atualmente pelas empresas. Uma combinação das duas abordagens seria muito benéfica para agilizar a operacionalização da colheita.

Para trabalhos posteriores seria positiva a disponibilidade de um banco de dados mais completo e consistente, visando à aplicação de diferentes metodologias e por consequência adicionar variáveis aos modelos e também simular várias combinações para respectivas ponderações.

Atualmente deve-se ressaltar que um dos grandes problemas para os trabalhos, estudos e pesquisas realizadas na área florestal é a ausência de um banco de dados completo.

Bolfe et al.(2004) acrescenta que existe uma alta demanda de fluxo de informações, nas quais encontram-se dificuldades em alocar, detalhar, organizar, interpretar, e principalmente armazenar de forma que garantam um banco de dados confiável.

As ferramentas de análise espacial e pesquisa operacional se mostraram de grande importância no dia-a-dia das empresas, já que pode dar suporte para o planejamento de rotas ótimas e locais para empilhamento, antes não planejado com uso de ferramentas de suporte a decisões.

É necessário destacar que as técnicas utilizadas neste estudo foram baseadas em atributos que a empresa julgava importantes ou não e dentre estes, quais os mais importantes. As variáveis utilizadas foram discutidas e analisadas visando a sua relevância dentro do planejamento florestal para a colheita e transporte de madeira.

Sabe-se que quanto maior o número de variáveis de estudo, até certo ponto, maior seria a eficiência do trabalho. Por exemplo, a inserção de atributos como classificação de tipo de solo, teor de argila e precipitação anual no processo de ponderação poderia enriquecer o trabalho.

Em relação às rotas ótimas, a inserção de mais variáveis também acarretaria em resultados mais enriquecidos, pois a adição destes dados aumenta a confiabilidade e ainda leva a geração de um cenário mais próximo ao real.

A utilização da pesquisa operacional mostrou-se bastante eficiente em

filtrar e reduzir, de forma otimizada os locais escolhidos e designados potenciais para a instalação das pilhas de madeira. Em trabalhos posteriores variáveis como o custo do transporte da madeira, características das estradas, poderiam ser inseridas no modelo numérico da programação linear.

É importante salientar que em problemas reais e com uma boa base de dados a otimização busca resultados satisfatórios, pois resultados ótimos e pontuais são praticamente impossíveis de se obter.

Segundo Silva et al.(2003), em muitas situações do planejamento florestal, é impossível a adoção da solução ótima, principalmente se as variáveis decisórias envolverem mão-de-obra ou máquinas, e, também, em degeneração do ótimo, quando são adotadas soluções operacionais. Uma solução operacional consiste em uma aproximação exequível do ótimo indicado pela Programação Matemática.

Este estudo também mostrou que a interdisciplinaridade é um excelente caminho para as realizações de estudos e pesquisas, pois interagem diversas formas de se pensar em melhorias para problemas difíceis de serem tratados. Neste caso foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica adicionada a a Pesquisa Operacional, visando resolver problemas de Planejamento florestal, especificamente, nas áreas de Colheita e Transporte Florestal.

Isto retrata as possibilidades infinitas que pode-se possuir para melhorar e aperfeiçoar os conhecimentos e entendimentos de questões antes difíceis de lidar.

Por outro lado, foi percebido durante este trabalho que, para a integração dos domínios científicos dos Sistemas de Informação Geográfica e da Pesquisa Operacional de maneira simultânea, é fundamental a utilização de diferentes tecnologias do domínio da ciência da computação. Para tal finalidade, a engenharia de integração e comunicação entre diferentes sistemas é inevitável, acarretando a necessidade de bibliotecas de integração entre sistemas não disponíveis até o presente momento. Portanto existe a necessidade do desenvolvimento de rotinas em linguagens de programação que incluam o domínio geo-espacial e rotinas de pesquisa operacional.

4 CONCLUSÃO

As principais conclusões da pesquisa foram:

- O uso de geotecnologias como sistema de informação geográfica e o uso de pesquisa operacional se mostraram úteis na nova proposta metodológica para o planejamento das atividades de extração de madeira;
- O uso da metodologia de ponderação das três variáveis utilizadas: classes de dificuldade de operações de maquinário, classe de dificuldade de local para empilhamento e distâncias das estradas, se mostrou satisfatório para o planejamento das pilhas de madeira;
- Foi possível determinar os locais ótimos para o empilhamento da

madeira utilizando pesquisa operacional e geotecnologia;

- Houve uma redução de 73% de locais ótimos para empilhamento quando foi aplicada a pesquisa operacional posterior à análise espacial;

- Foi possível determinar a quantidade de madeira que será alocada em cada pilha de madeira selecionada;

- Foi possível determinar a quantidade de viagens que necessitariam para o transporte total de cada pilha de madeira;

- A utilização de análise espacial é uma ferramenta que se mostrou útil no planejamento da extração de madeira, tanto para empilhamento como determinação de rotas ótimas;

- Foi possível determinar rotas ótimas através do método de menores distâncias de deslocamento ligando o binômio pilhas-saídas da fazenda.

5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - **CAPES**, pela bolsa concedida para a realização desta pesquisa. A empresa VCP – Florestal, em especial aos engenheiros Honório Kanegae, Taís Rufino, Claudio Thiersch, Pablo de Campos Ferreira, entre outros, pelo concedimento dos dados, sugestões e idéias, e a confiança depositada em mim.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCE, J.E. **Um sistema de programação do transporte principal de multiprodutos florestais visando à minimização de custos.** 1997. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ANDRADE, S.C. **Avaliação técnica, social, econômica e ambiental de dois sistemas de colheita florestal no litoral Norte da Bahia.** 1998. 125p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Viçosa, Viçosa, MG.

ASSAD, E D.; SANO, E.E. **Sistema de informações geográficas:** aplicações na agricultura. 2.ed. Brasília : EMBRAPA, 1998. 434p.

BARDDAL, S.M. A utilização do SIG na Klabin. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 1., 1994, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p 83-92.

BOLFE, E.L.; PEREIRA, R.S.; MADRUGA, P.R.A. Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados à análise de recursos florestais. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.34, n.1, p.105-111, jan./fev., 2004.

BURROUGH, P.A.; McDONNELL, R.A. **Principals of geographical information systems.** Oxford: Oxford University. 1998.

CARLSSON, D.; RÖNNQVIST, M.; WESTERLUND, A. Extraction of logs in forestry using operations research and geographical information systems. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 32., 1999, Maui, Hawaii. **Proceeding...** Maui, Hawaii: IEEE Computer Society, 1999.

CONTRERAS, M.; CHUNG, W. A computer approach to finding an optimal log landing location and analyzing influencing factors for ground-based timber harvesting. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, CA , v.37, n.2, p.276-292, Feb.2007.

COUTO, H.T.Z.; BASTOS, N.L.M. Fator de empilhamento para plantações de Eucalyptus no Estado de São Paulo. **IPEF**. Piracicaba, n.38, p.23-27, abr. 1988.

- FLISBERG P.; FORSBERG M.; RÖNNQVIST, M. Optimization based planning tools for routing of forwarders at harvest areas. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, CA, v.37, n. 11, p. 2153-2163. Nov. 2007.
- LACOWICZ, P.G.; BERGER, R.; TIMOFEICZYK JÚNIOR, R.; SILVA, J.C.G.L. Minimização dos custos de transporte rodoviário florestal com o uso da programação linear e otimização do processo. **Floresta**, Curitiba, v.32, n.1, p. 75-87, jan. 2002.
- LEITE, H.G. **Conversão de troncos em multiprodutos da madeira, utilizando Programação Dinâmica**. 1994. 230p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 468p.
- MACHADO, C.C. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Cerne**, Lavras, MG, v.6, n.2, p. 124-129, dez. 2000.
- MACHADO, S.A; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: A. Figueiredo Filho, 2003. 309p.
- MELLO, A.A; CARNIERI, C.; ARCE, J.E.; SANQUETTA, C.R.. Planejamento florestal visando à maximização dos lucros e a manutenção do estoque de carbono. **Cerne**, Lavras, MG, v.11, n.3, p. 205-217, jul./set. 2005.
- MOTTA L.P. Utilização de sistemas de informações geográficas e da distância virtual na otimização do transporte florestal rodoviário. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.20, n.3, p. 381-394, jul. 1996.
- OLIVEIRA, C.A. de. **Turfa de São José dos Campos**: Estado de São Paulo. São Paulo: CPRM, 2001. 14 p.
- OLIVEIRA FILHO, P.C.; LOPES, E.S.; MAGRAF, W.; DISPERATI A.A. Determinação da rota ótima de transporte com auxílio de um sistema de informação geográfica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v.15, n.4, p. 403-409, jul. 2005.
- RODRIGUEZ, L.C.E.; LIMA, A.B.N.P.M. A utilização da programação linear na determinação de uma estratégia ótima de reforma de um talhão florestal. **IPEF**, Piracicaba, n.31, p. 47- 53, dez. 1985.

SEIXAS, F. Planejamento e estudo de sistema de exploração florestal. **IPEF**. Piracicaba, n.34, p.25-303, dez. 1986.

SILVA, G.F.; LEITE, H.G.; SILVA, M.L.; RODRIGUES, F.L.; SANTOS, H.N. Problemas com o uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima, em regulação florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.27, n.5, p.677-688, set. 2003.

SOARES, C.P.B.; RIBEIRO, J.C.; NASCIMENTO FILHO, M.B. do; RIBEIRO, J.C.L. Determinação de fatores de empilhamento através de fotografias digitais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.27, n.4, p. 473-479, 2003.

SOUZA, R.A.T.M.; RODRIGUEZ, L.C.E.; SEIXAS, F.; CAIXETA FILHO, J.V.; Eficiência e otimização do transporte principal de toras curtas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.62, p.130-146, dez. 2002.

WEINTRAUB, A.; ROMERO, C. Operations Research Models and the Management of Agricultural and Forestry Resources: A Review and Comparison. **Revista Interfaces**, Rio de Janeiro. v.36, n.5, p. 446-457, Sept.2006.