

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**OTIMIZAÇÃO DA DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO DE MADEIRA COM
*FORWARDER***

RICARDO ANSELMO MALINOVSKI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Energia na
Agricultura)

BOTUCATU-SP

Fevereiro-2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUISTA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**OTIMIZAÇÃO DA DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO DE MADEIRA COM
*FORWARDER***

RICARDO ANSELMO MALINOVSKI

Orientador: Prof. Dr. Paulo Torres Fenner
Co-orientador: Dr. Helmer Schack-Kirchner
Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Roberto Malinovski

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Bo-
tucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU-SP
Fevereiro-2007

M251o Malinovski, Ricardo Anselmo, 1976-
Otimização da distância de extração de madeira com forwarder /
Ricardo Anselmo Malinovski. -- Botucatu: [s.n.], 2007.
xv, 94 f. : il. color. gráfs., tabs.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agronômicas, 2007

Orientador: Paulo Torres Fenner

Co-orientadores: Helmer Schack-Kirchner, Jorge Roberto Malinovski

Inclui bibliografia

1. Colheita de madeira. 2. Otimização. 3. Silvicultura de precisão. 4. SIG. 5.
Forwarder. 6. Software livre. I. Título. II. Universidade Estadual Paulista “Júlio
de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências Agronômicas.

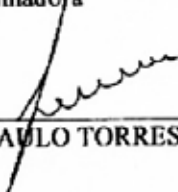
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "OTIMIZAÇÃO DA DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO DE MADEIRA COM FORWARDER"


ALUNO: RICARDO ANSELMO MALINOVSKI

ORIENTADOR: PROF. DR. PAULO TORRES FENNER


Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. PAULO TORRES FENNER



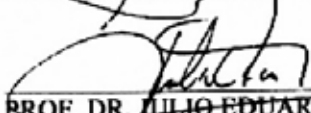
PROF. DR. LINCOLN GETRING CARDOSO



PROF. DR. RICARDO MARQUES BARREIROS



PROF. DR. FERNANDO SEIXAS



PROF. DR. JULIO EDUARDO ARCE

Data da Realização: 09 de fevereiro de 2007.

*À minha querida companheira Ludi,
aos meus pais Jorge e Nasaret, e
aos meus irmãos Rafa e Lú.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À toda comunidade da Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva, pela confiança depositada em minha pessoa e pela oportunidade cedida para a realização do meu doutorado;

À CAPES/DAAD, pela bolsa de estudos fornecida para a realização da minha pesquisa na Alemanha;

Aos Institutos Bödenkunde e Forstbenutzung da Univesidade de Freiburg, pelo suporte científico e logístico;

Ao professor Fenner, pela orientação, amizade cultivada e sinceros conselhos pessoais e profissionais;

Ao amigo Schack-Kirchner, pelo profissionalismo, dinamismo, e, principalmente, pelas brilhantes trocas de idéias, que, sem dúvida, enriqueceram esta pesquisa;

Aos Professores Ernest Hildebrand e Gero Becker, pela acolhida e apoio prestado;

Aos amigos Fabio Yamaji e Ricardo Barreiros, pela sincera amizade. Sem vocês eu não conseguiria realizar o meu sonho, valeu mesmo !

Ao meu pai pelo incentivo e pelas palavras sábias.

À minha querida e amada esposa Ludi, que, à cada dia, me faz entender mais o ditado popular: “atrás de um grande homem sempre há uma grande mulher”. Você foi fantástica, te amo!

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIII
LISTA DE UNIDADES.....	XIII
RESUMO.....	XIV
SUMMARY.....	XV
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 OBJETIVOS.....	04
2.1 Objetivo Geral.....	04
2.2 Objetivos específicos.....	04
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	05
3.1 Silvicultura de precisão.....	05
3.2 Planejamento	07
3.2.1 Macroplanejamento florestal.....	09
3.2.2 Microplanejamento florestal.....	10
3.3 Sistema de informações geográficas.....	11
3.3.1 O sistema de informações geográficas GRASS.....	13
3.4 Software livre.....	14
3.5 Colheita florestal.....	15
3.5.1 Conceito.....	15
3.5.2 Sistemas de colheita de madeira.....	15
3.5.3 Operação de corte.....	18
3.5.4 Operação de extração.....	20
3.5.5 Densidade de estradas florestais.....	23
3.5.6 Distância média de extração.....	24
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 Material.....	25
4.1.1 Caracterização do local de estudo.....	25
4.1.2 Rede viária.....	26
4.1.3 Equipamento computacional.....	28
4.1.4 Programas computacionais.....	28

4.1.5 Base de dados.....	28
4.1.6 Informações de campo.....	29
4.1.7 Premissas e condicionantes.....	29
4.2 Métodos.....	33
4.2.1 Área experimental.....	33
4.2.2 Cálculo da distância média de extração (DME).....	35
4.2.3 Cálculo da distância média de extração com linhas teóricas de plantio.....	40
4.2.4 Otimização da distância média de extração.....	47
4.2.5 Tratamento dos dados.....	50
4.2.6 Comparações entre os modelos base e otimizado e os talhões regulares e irregulares.....	51
4.2.7 Número de amostras.....	53
4.2.8 Cálculo do custo de deslocamento do forwarder utilizando o modelo otimizado.....	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
5.1 Características das áreas selecionadas.....	57
5.2 Processamento dos dados.....	59
5.3 Comparação entre os modelos base e otimizado.....	59
5.4 Comparação entre os talhões regulares e irregulares.....	63
5.4.1 Número de amostras.....	66
5.5 Simulação do custo do deslocamento do forwarder.....	66
5.6 Classificação do alinhamento de plantio.....	70
5.7 Análise dos mapas gerados pelo modelo otimizado.....	72
5.8 Considerações sobre o modelo otimizado.....	76
5.8.1 Distância entre as linhas teóricas de plantio.....	76
5.8.2 Problemas e limitações do modelo otimizado.....	78
5.8.3 Flexibilidade do modelo otimizado.....	81
5.8.4 Potencialidade do modelo otimizado.....	83
6 CONCLUSÕES.....	85
7 RECOMENDAÇÕES.....	87
8 REFERÊNCIAS.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da área de estudo.....	25
Figura 2- Imagem de satélite mostrando o sistema de estradas ortogonais (a) e o sistema de estradas em nível (b).....	27
Figura 3- Mapa da fazenda digitalizada por Antonangelo (2004) (a) e mapa da fazenda convertido para o software GRASS GIS versão 6.0 (b).....	29
Figura 4 - Exemplificação da faixa de trabalho (eito) do harvester.....	31
Figura 5 - Demonstração do deslocamento do harvester e do forwarder em dois eitos de trabalho.....	31
Figura 6- Forwarder Valmet 890.2.....	32
Figura 7 - Localização dos talhões selecionados pelo comando r.random.....	33
Figura 8- Exemplo das anotações realizadas no guia de campo (sentido de alinhamento de plantio e condições das estradas).....	35
Figura 9 - Talhão número 7053, extraído do mapa completo da fazenda (objeto tipo área)....	36
Figura 10 - Objeto vector tipo bordadura.....	36
Figura 11- Inserção de categorias em cada linha do mapa (a). Exemplos de linhas extraídas do mapa (b).....	37
Figura 12 - Demonstração do reticulado de células inserido sobre o talhão selecionado	37
Figura 13- Resultado do cálculo acumulativo das distâncias a partir de uma linha selecionada....	39
Figura 14 - Marcação da distância média e máxima de extração a partir da linha inferior.....	39
Figura 15 - Ângulos das linhas teóricas de plantio em relação ao N.....	41
Figura 16 - Linhas teóricas de plantio, com ângulos de 30° (a) e 150° (b) inseridas sobre o mapa da fazenda	42
Figura 17 - Mapas com as elevações (a) e as declividades do terreno da fazenda (b).....	43
Figura 18 - Curvas de nível em terreno com topografia relativamente plana (a) e declivosa (b).....	44
Figura 19 - Células das linhas teóricas de plantio (a) e aumento da largura das células (b) ...	45
Figura 20 - Células de contenção.....	46
Figura 21 - Mapa com células acumulativas de distância (mapa base).....	46

Figura 22 - Mapas do modelo base (a,b,c,d) e mapa otimizado (e).....	48
Figura 23 - Mapa otimizado separado.....	49
Figura 24 - Mapa otimizado com os limites demarcados em formato vector.....	50
Figura 25 - Gráfico box plot.....	52
Figura 26 - Exemplificação da metodologia adotada para o cálculo do custo de deslocamento do forwarder.....	55
Figura 27 - Diferença de tamanho (ha) das áreas regulares e irregulares.....	58
Figura 28 - Classificação dos coeficientes da DME calculados pelos modelos base e otimizado para talhões regulares	60
Figura 29 - Classificação dos coeficientes da DME calculado pelos modelos base e otimizado para talhões irregulares	61
Figura 30 - Sobreposição da distância média de extração utilizando o modelo base.....	62
Figura 31 - DME calculada para dois lados do talhão regular.....	62
Figura 32 - Classificação dos coeficientes da DME calculados pelo modelo otimizado em talhões regulares e irregulares.....	63
Figura 33 - Comparação entre as áreas regulares e irregulares: (a) média dos coeficientes mínimos, (b) média das áreas em ha e (c) densidade de estradas em m ha-1	64
Figura 34 - Distância média de extração demarcada em áreas regulares e irregulares utilizando o modelo otimizado.....	65
Figura 35 - Custo do deslocamento do forwarder em talhões regulares e irregulares.....	67
Figura 36 - Custo do deslocamento do forwarder em talhões regulares por classes (R\$/ha)....	69
Figura 37 - Custo do deslocamento do forwarder em talhões irregulares por classes (R\$/ha).	69
Figura 38 - Classificação no ranking do alinhamento de plantio adotado pela empresa em relação ao custo de deslocamento do forwarder (R\$/ha).....	71
Figura 39 - Mapas otimizados com diversos ângulos de alinhamento de plantio (talhão 7084).....	73
Figura 40 - Mapas otimizados com diversos ângulos de alinhamento de plantio (talhão 9226).....	74
Figura 41- Mapas otimizados com diversos ângulos de alinhamento de plantio (talhão 9268).....	75
Figura 42 - Diferentes distâncias do alinhamento teórico de plantio.....	76
Figura 43 - Vazamento das células de contenção	78
Figura 44 - Detalhe das áreas isoladas.....	79

Figura 45 - Alinhamento de curvas de níveis em áreas com topografias acentuadas.....	80
Figura 46 - Ilha formada com as curvas de níveis.....	81
Figura 47 - Mapas otimizados com e sem restrições na formação de pátio de madeira.....	82
Figura 48 - Demonstração da delimitação ótima de deslocamento do forwarder em formato raster (b) e vector (c).....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais informações sobre a área de pesquisa.....	27
Tabela 2 - Informações sobre os talhões que foram selecionados pela ferramenta randômica	34
Tabela 3 - Sentido de alinhamento de plantio em relação ao Norte.....	58
Tabela 4- Quantidade de mapas criados na pesquisa.....	59
Tabela 5 - Quantidade de amostras necessárias para obtenção dos coeficientes da DME.....	66
Tabela 6 - Relação entre o melhor e o pior ângulo de alinhamento de plantio em função do custo de deslocamento do forwarder.....	71
Tabela 7 - Informações dos mapas da Figura 37.....	73
Tabela 8 - Informações dos mapas da Figura 40.....	74
Tabela 9 - Informações dos mapas da Figura 41.....	75
Tabela 10 – DME e custos de deslocamento do forwarder para diversas distâncias entre as linhas teóricas de plantio (ângulo de plantio de 30°).....	77
Tabela 11 - Comparação do custo de deslocamento do forwarder, com e sem restrições, na formação do pátio de madeira.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS

CTL – *Cut-to-length* (Toras curtas)

DME - Distância média de extração

FSF- *Free software Foundation* (Fundação do *software* livre)

GPS – *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)

GRASS - *Geographic Resources Analysis Support System* (Suporte à Análise de Recursos Geográficos)

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SP – Silvicultura de Precisão

UTM - Universal Transversa de Mercator

LISTA DE UNIDADES

ha - hectare

m.ha⁻¹- metros por hectare

m³ - metro cúbico

m³ h⁻¹ - metro cúbico por hora

m³ ha⁻¹ - metro cúbico por hectare

RESUMO

A gestão das atividades e operações ligadas à colheita de madeira carece de ferramentas computacionais que auxiliem os técnicos florestais na tarefa de redução dos custos. Em muitos casos, máquinas de elevado investimento são utilizadas na colheita de madeira sem um planejamento adequado da operação, conseqüentemente, o custo por hora dessas máquinas, que é elevado, poderia ser reduzido, caso fossem utilizados recursos tecnológicos como o Sistema de Informações Geográficas (SIG) integrado com o Sistema de Posicionamento Global, os quais, são a base da colheita de precisão. Nesta pesquisa desenvolveu-se, através de técnicas matemáticas e de funcionalidades disponíveis no Sistema de Informações Geográficas GRASS, uma ferramenta tecnológica capaz de calcular e otimizar a distância média de extração (DME) de madeira com *forwarder*, em diferentes tamanhos e formatos de talhões. A ferramenta desenvolvida, chamada de modelo otimizado, compartimentaliza o talhão em função da menor distância de extração. A principal variável considerada foi o alinhamento de plantio. Para testar o modelo foram considerados talhões do gênero *Eucalyptus* sp de uma fazenda localizada no Estado de São Paulo. Foram selecionados aleatoriamente oito talhões com formato poligonal retangular e oito talhões com formato poligonal irregular. Visitaram-se os talhões para coletar as principais variáveis (sentido de alinhamento de plantio e condições para o depósito da madeira na beira da estrada). Foram criadas, de forma teórica, dez classes de ângulos do sentido de alinhamento de plantio, sendo que um deles foi o alinhamento em nível. Com o modelo otimizado, calculou-se a DME da madeira com *forwarder* para todas as classes de ângulos, comparando-se com o sentido de alinhamento adotado pela empresa. Realizou-se uma simulação do custo de deslocamento do *forwarder* utilizando como base a DME e o tamanho do compartimento do talhão. Os resultados mostraram que o modelo otimizado desenvolvido é eficiente e flexível. Os talhões com formato irregular apresentaram uma DME menor que os talhões de formato regular. O alinhamento de plantio em nível apresentou os maiores custos de deslocamento do *forwarder*. Dos alinhamentos de plantio adotados pela empresa, apenas um se enquadrou como ótimo. A maior limitação do modelo otimizado foi em talhões que apresentaram declividade acentuada.

Palavras - chave: SIG, otimização, colheita de madeira, silvicultura de precisão, *software* livre, *forwarder*

OPTIMIZATION OF SKIDDING DISTANCE OF WOOD WITH FORWARDER, Botucatu, 2007. 96p. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RICARDO ANSELMO MALINOVSKI

Adviser: PAULO TORRES FENNER

SUMMARY

The management of activities and operations on the wood harvesting, does not have good computational tools to help the forest technicians with the task of cost reduction. In many cases, machines with high investment are used in wood harvesting without any adequate operation planning, consequently, the cost per hour of these machines, which is high, could be reduced, using technological resources such as the Geographic Information Systems (GIS) integrated with the Global Positioning System (GPS), which are the base of the precision harvest. In this research, a technological tool capable of calculating and optimizing the medium distance of skidding of the forwarder, in different sizes and formats of the stands, was developed through mathematical techniques and available functionalities in the Geographic Information System GRASS. The developed tools, called optimized model, divides the stand in small parts in relation to shorter distance of skidding. The main variable considered was the alignment of plantation. To test the model eucalypt stands located in the state of São Paulo were considered. Sixteen stands were randomly selected: eight with rectangular polygon form and eight with irregular polygon form. The stands were visited to collect the main variables. Ten angle classes of plantation alignment direction were theoretically created, one of them alignments was the direction of plantation following contour lines. The medium distance of skidding for all angle classes was calculated with the optimized model and was compared to the plantation alignment direction adopted by the company. The cost of forwarder dislocation was simulated using as a base the medium distance of skidding and the size of the small areas of the stand. The results showed that the optimized model developed is efficient and flexible. The stands with irregular form had a shorter medium distance of skidding shorter than the rectangular stands. The alignment of plantation along contour lines showed the highest cost of forwarder dislocation. Among the alignments of plantation adopted by the company, only one was in an optimal situation. The biggest limitation for optimized model was in stands with steep slopes.

Key - words: GIS, optimization, wood harvesting, forestry precision, free software, forwarder

1 INTRODUÇÃO

Com o início dos incentivos fiscais em 1965, o Brasil começou a plantar florestas homogêneas, principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, que perfazem, hoje, a soma de aproximadamente 5,3 milhões de hectares.

À medida que as florestas plantadas foram “amadurecendo”, elas também foram integradas, em sua maioria, em produções verticalizadas, ou seja, foram construídas diversas unidades fabris de papel e celulose, chapas de partículas, etc., fazendo com que o Brasil passasse de importador para exportador destes produtos. Durante esse período, a silvicultura brasileira passou por diversas fases de inovações tecnológicas, tais como: adequações no preparo do solo, programas de adubação, cultura “*in vitro*”, programas de introdução de novas espécies integrados com a melhoria genética, programas de manejo, etc.

Pode-se dizer, que o país, hoje, detém tecnologia de produção de madeira com qualidade desejada pelas empresas transformadoras. Com isso, a atividade florestal que era conhecida como uma atividade isolada, tornou-se um negócio.

Da mesma forma, as atividades relacionadas com a colheita e transporte de madeira evoluíram de forma ascendente, principalmente a partir de 1991, com a abertura de mercado para a aquisição de máquinas importadas. Nesse época, a maioria das grandes empresas de renome mundial, fabricantes de máquinas e equipamentos de alta tecnologia, se instalaram no Brasil. Hoje, qualquer inovação tecnológica apresentada ao setor, em qualquer parte do mundo, pode ser prontamente adquirida pelas empresas brasileiras.

As máquinas de última geração destinadas às atividades de

colheita de madeira são consideradas de alto investimento, chegando facilmente à casa dos US \$ 450,000.00 cada uma, sendo, o custo-hora dessas máquinas também elevado. Neste contexto, a gestão dos negócios florestais carece de técnicas e ferramentas mais elaboradas, com a finalidade de racionalização dos custos. Dessa forma, a atividade florestal vem se tornando cada vez mais complexa, demandando maiores desafios aos técnicos florestais que, por sua vez, necessitam elaborar planos de negócios em uma atmosfera de incertezas.

As atividades da colheita podem ser divididas em três fases básicas: corte (processamento), extração e transporte, sendo que, a operação de extração (baldeio/arraste) da madeira desde o local de corte até a beira da estrada (estaleiro) é uma das atividades mais onerosas.

Para redução dos custos das atividades de colheita, várias técnicas e procedimentos podem ser utilizados, em especial técnicas de pesquisa operacional, tais como: programação linear, programações inteira e mista, programação dinâmica, utilização de algoritmos e simulações. A maioria destas técnicas objetiva uma solução ótima do problema, focando principalmente na maximização dos lucros ou na minimização dos custos.

Para Loesch e Hein (1999) a otimização faz parte da índole humana. Desde seu surgimento, o *Homo sapiens* vem se dedicando a minimizar esforços e maximizar os retornos de alguma atividade por ele desenvolvida, que, no princípio de sua existência, limitava-se à própria sobrevivência.

O desafio dos técnicos florestais na colheita florestal é otimizar todas as operações envolvidas. Porém, para se ter o domínio das atividades a serem realizadas, faz-se necessário conhecer, com a maior precisão possível, as restrições e alternativas inerentes a cada operação. As restrições mais comuns que envolvem tais operações são: a declividade do terreno, o espaçamento de plantio, o volume das árvores, o manejo adotado, a potência e a produtividade das máquinas, entre várias outras. A questão é como inserir essas variáveis complexas dentro das técnicas da pesquisa operacional, para se estimar o ótimo. Dessa forma, o uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) se torna uma ferramenta importante para auxiliar na solução destes problemas.

Para obter maior produtividade na extração de madeira, pode-se

relacionar, basicamente, duas variáveis que estão intrinsecamente ligadas à operação, ou seja, a atividade anterior (de corte) e a posterior (onde será colocada a madeira - pátio de estocagem). Nesse contexto, é importante conhecer a distância média de extração (DME), para se poder programar os custos da operação, e, conseqüentemente, os rendimentos potenciais a serem obtidos. A forma ideal de otimizar a DME é a compartimentalização (divisão em pequenas partes) dos talhões, de forma a otimizar tanto a distância como o fluxo de trabalho das máquinas. Como variáveis importantes deve-se relacionar o sentido de alinhamento de plantio do talhão e o desenho da rede viária.

Atualmente, existe *software* que pode ser adaptado para a obtenção da otimização adequada dos talhões, em função das variáveis acima relacionadas. O produto destes programas pode ser apresentado de forma gráfica, com todas as informações de logística para o trabalho, as quais e que servirão como uma ferramenta valiosa para os supervisores e operadores de máquinas.

É com esse intuito que se desenvolveu esta pesquisa, ou seja, com a finalidade de otimizar a operação de extração de madeira, utilizando técnicas de programação e ferramentas disponíveis no sistema de informações geográficas GRASS, que é um *software* livre, estando portanto, dentro da filosofia de redução de custos.

Hipóteses

- É possível desenvolver uma seqüência de comandos no programa GRASS 6.0, capaz de estimar com precisão a DME com *forwarder*, em áreas com formatos poligonais regulares e irregulares.
- O ângulo de alinhamento de plantio deve influenciar na DME.
- O alinhamento de plantio em nível deve elevar os custos de deslocamento com *forwarder*.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa foi utilizar o software GRASS 6.0 como ferramenta para estimar, definir e otimizar a distância média de extração (DME) de madeira com o forwarder, relacionando-a com o sentido de alinhamento de plantio.

2.2 Objetivos específicos

Este trabalho teve como objetivos específicos:

- desenvolver uma ferramenta computacional para servir de apoio na tomada de decisão do microplanejamento florestal operacional;
- otimizar a distância média de extração de madeira com *forwarder* em talhões de formato regular e irregular;
- compartimentalizar talhões regulares e irregulares em função da otimização da DME;
- comparar a influência do sentido de alinhamento de plantio com a DME de madeira com *forwarder*;
- comparar o sentido de alinhamento de plantio da área de pesquisa com o sentido de alinhamento de plantio teórico otimizado;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Silvicultura de precisão

De acordo com Taylor et al. (2006), “silvicultura de precisão” é um termo que se tornou parte do vocabulário dos engenheiros florestais, bem como da comunidade florestal. Este termo é similar aos usados pela agricultura, tais como: agricultura de precisão, cultivo de precisão, ou agricultura em um lugar específico (sítio). A agricultura de precisão pode ser definida como o controle de entrada de herbicidas, fertilizantes e etc. numa determinada cultura, e sobre uma área específica, com o intuito de reduzir o desperdício, aumentar o lucro e manter a qualidade do meio ambiente. Os mesmos autores citam que em muitos simpósios e encontros internacionais tem-se tentado sintetizar o conhecimento sobre o termo silvicultura de precisão (SP). Este termo possui diferentes significados, dependendo de quem o usa (BECKER, 2001; FARNUM, 2001; DYCK, 2003).

Nem todos os conceitos da agricultura de precisão podem ser aplicados aos sistemas de produção florestal. Além disso, existem diferentes aplicações no manejo florestal que podem ser considerados parte da SP (TAYLOR et al., 2006).

Taylor et al. (2006) definem silvicultura de precisão como o planejamento e condução de um determinado sítio da floresta com a gestão das atividades e operações florestais, visando a melhoria da qualidade e utilização da madeira, a redução do desperdício, o aumento dos lucros e a manutenção da qualidade do meio ambiente. Os mesmos

autores dividem a silvicultura de precisão em três categorias principais, sendo elas:

- a) utilização de informações geoespaciais para avaliar o planejamento e o manejo florestal:
 - o manejo e o planejamento florestal são áreas da silvicultura de precisão, as quais abrangem uma grande variedade de atividades e usam as informações geoespaciais para auxiliar no manejo florestal do sítio e no planejamento de futuras operações. Por exemplo, a utilização da tecnologia de informação para otimizar a rota de transporte de madeira da floresta até o local de processamento mais adequado.
- b) operação silvicultural específica para cada sítio:
 - sítios com operações silviculturais específicas envolvem o uso de tecnologia geoespacial como, o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e o Sistema de Informações Geográficas (SIG), os quais propiciam um aumento da eficiência operacional e reduzem o custo da madeira. Outra tecnologia também podem ser usada, por exemplo, a tecnologia de taxas variáveis, para aumentar a eficiência da aplicação de herbicidas e fertilizantes.
- c) tecnologia avançada adaptada aos sítios, para encontrar demanda de mercado para produtos com alto valor:
 - os maiores componentes do custo final da madeira são as atividades de colheita e transporte. Os altos custos dessas operações têm impacto direto nas empresas florestais, reduzindo, logicamente, os seus rendimentos. A redução significativa do custo de transporte e a economia de energia até a indústria podem ser realizadas se uma coordenada próxima da área de colheita, baseada em uma tecnologia geoespacial, for utilizada. Nesse sistema é possível coletar dados sobre a localização e o volume das árvores, bem como a forma como elas são cortadas durante a colheita. Esses dados podem ser confrontados com os dados da demanda das empresas madeireiras locais, aumentando, dessa forma, a eficiência da utilização da madeira.

Nota-se que o conceito de silvicultura de precisão trabalha em nível de sítio, ou seja, as operações e as atividades florestais são conduzidas em pequenas unidades de manejo ou em sub-áreas específicas dentro do talhão.

A gestão da informação, relacionada com a silvicultura de precisão, tem como objetivo reduzir as incertezas, fornecendo todo o suporte necessário ao planejamento, controle e logística de determinadas operações. As informações importantes para a cadeia produtiva devem estar disponíveis no formato, no local e no tempo, bem como com a precisão necessária para uma tomada de decisão com grau de incerteza controlado. A integração tática e logística entre estradas, colheita, manutenção mecânica, transporte e pátio de madeira são os fatores críticos mais importantes na cadeia produtiva da madeira. A integração permite uma visão holística de todo o processo, incluindo todo o suporte dado pelas áreas de planejamento florestal, de tecnologia florestal e de tecnologia de informação (CARDOSO; CASTRO, 2006).

3.2 Planejamento

O planejamento pode ser definido como o desenvolvimento de processos, técnicas e atitudes administrativas, as quais proporcionam uma situação viável de avaliar as implicações futuras de decisões presentes, em função dos objetivos empresariais, que facilitarão a tomada de decisão no futuro, de modo mais rápido, coerente, eficiente e eficaz. Dentro deste raciocínio, pode-se afirmar que o exercício sistemático do planejamento tende a reduzir a incerteza envolvida no processo decisório e, conseqüentemente, provocar o aumento da probabilidade de alcance dos objetivos, desafios e metas estabelecidas para a empresa (REBOUÇAS, 2002).

Machado e Lopes (2002) definem planejamento como sendo a elaboração, por etapas e com bases técnicas, de planos e programas com objetivos bem definidos. É a arte e a ciência de projetar, em uma base racional, cursos futuros de ação para indivíduos, grupos ou corporações, e sua implementação efetiva requer o uso combinado de medidas quantitativas e qualitativas. É um processo de decisão com características próprias, pois se incumbe de definir o futuro desejado para a organização e de delinear os caminhos possíveis para atingí-lo.

Segundo Assumpção (1996) e Rebouças (2002), na consideração dos grandes níveis hierárquicos da gestão de processos, se distinguem três tipos de

planejamento: estratégico, tático e operacional.

De acordo com Assumpção (1996), uma estratégia de produção, além de ser coerente nos aspectos de melhor aproveitamento dos recursos, deve ser voltada à viabilidade do empreendimento e aos resultados da empresa. Dentro deste contexto, pode-se detectar as seguintes presenças: do planejamento estratégico, que manipula dados e gera informações no nível da empresa, sem deixar de considerar sua interface com o mercado e de analisar alternativas de investimento para atingir seus objetivos de longo prazo; do planejamento tático, que subsidia decisões, os quais levam à escolha dos empreendimentos a serem implementados; e do planejamento operacional, que discute as estratégias e metas de produção, além de ser responsável pelo planejamento das operações ou ordens de produção.

Rebouças (2002) observa que o planejamento estratégico relaciona-se com objetivos de longo prazo e com estratégias e ações necessárias para alcançá-los, que afetam a empresa como um todo, enquanto que o planejamento tático relaciona-se a objetivos de curto prazo e com estratégias e ações que, geralmente, afetam somente parte da empresa. O planejamento operacional, segundo o autor, pode ser considerado como a formalização, principalmente através de documentos escritos, das metodologias de desenvolvimento e de implantação estabelecidas. Portanto, nesta situação, tem-se, basicamente os planos de ação ou os planos operacionais, que correspondem a um conjunto de partes homogêneas do planejamento tático.

Na área florestal, segundo Gunn (1991), o planejamento estratégico tem como objetivo principal verificar os recursos florestais que a empresa tem a sua disposição e definir a capacidade de produção dos vários segmentos da empresa. De acordo com Weintraub et al. (1986), as decisões estratégicas envolvem grandes investimentos, como a aquisição de terras e a construção ou expansão de uma fábrica.

Segundo Weintraub et al. (1994), as decisões táticas estão relacionadas a fatores como: quando, aonde e como realizar a colheita de madeira para satisfazer os objetivos da empresa.

O planejamento operacional visa antecipar os problemas e estabelecer rotinas e alternativas operacionais para atingir as metas de produção pré-estabelecidas (MACHADO; LOPES, 2002). A alocação de máquinas florestais, equipes de

trabalho e caminhões são exemplos de decisões operacionais (GUNN, 1991).

Assumpção (1996) descreve dois níveis hierárquicos dentro do planejamento operacional: um superior, que discute estratégias e metas de produção, e um inferior, que é responsável pelo planejamento das operações ou ordens de produção, chamada por Oliveira (2006) de microplanejamento.

3.2.1 Macroplanejamento florestal

Segundo Guimarães (2004), considerando a idade de rotação ótima das florestas, a estratégia de macroplanejamento se evidencia pelo levantamento e caracterização de todos os talhões que atingirão determinada idade num horizonte de planejamento estratégico. A caracterização de tais talhões inclui tanto aspectos relativos à estrutura e produtividade da floresta, quanto a toda rede viária, própria e externa, considerada para atendimento aos fluxos de distribuição da madeira. Logo, os objetivos específicos do macroplanejamento priorizam a macrovisão de aspectos operacionais da colheita e transporte da madeira, da rede viária, da identificação de aspectos ambientais da área, do nível de utilização de recursos externos à companhia e, conseqüentemente, da indicação das necessidades de investimento e adequação da estrutura operacional.

Segundo o mesmo autor, os objetivos do macroplanejamento florestal podem ser sumarizados em:

- definição das regiões e talhões a serem trabalhados dentro do horizonte de planejamento;
- análise da rede viária disponível e da distância média de transporte por ano de planejamento;
- avaliação dos investimentos de médio prazo;
- planejamento para atendimento dos requisitos legais e ambientais.

3.2.2 Microplanejamento florestal

De acordo com Oliveira (2006), o microplanejamento está inserido no planejamento de curto prazo, no nível operacional. Além de permitir um maior domínio da produção, é uma ferramenta que serve para intervenções no projeto, no macroplanejamento, na seqüência de execução, na organização da mão-de-obra, no fornecimento de serviços e na logística, tudo com a finalidade de atuar pró-ativamente na gestão da produção.

Segundo Araújo et al. (2001), o microplanejamento contempla, sob uma visão microscópica dos serviços, a programação e o seu controle. A detecção de desvios pela etapa de controle pode levar a possíveis reprogramações dos serviços, com relação à programação inicial.

Para Guimarães (2004), o microplanejamento florestal, partindo da visão macro, tem como objetivos segregar e caracterizar todos os aspectos operacionais que nortearão a estratégia de planejamento tático operacional de curto prazo. A menor unidade de manejo, definida como talhão, é segregada, visando a minuciosa caracterização da floresta a ser colhida, com absoluta e detalhada quantificação do volume de madeira estabelecido por sortimento, bem como a descrição fiel da estrutura física do talhão, incluindo rede viária, áreas de preservação permanente e reserva legal, sítios de valor histórico, testes experimentais e demais aspectos de relevância para o planejamento e operacionalização de todas as operações florestais subseqüentes à colheita e ao transporte de madeira.

Segundo o mesmo autor, os principais objetivos do microplanejamento florestal são:

- quantificação de volume de madeira por sortimento de produção;
- definição de sentidos e distâncias de arraste;
- definição de postos de processamento e carga;
- identificação de reserva legal e áreas de preservação permanente;
- programação de transporte de madeira (planejamento de rede viária);
- caracterização física das estradas que serão utilizadas no escoamento da produção;

Oliveira (2006) cita algumas vantagens constatadas com a

utilização do microplanejamento, tais como: maior domínio da produção, possibilidade de antecipar possíveis falhas na programação do macroplanejamento, correção das causas dos problemas de forma pró-ativa, entre outras.

3.3 Sistema de informações geográficas

De acordo com Ribeiro (2002), o Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser visto como um conjunto de ferramentas para capturar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais do mundo real.

Segundo Bohrer et al. (2001), o SIG é um banco de dados no qual podem estar acoplados diversos módulos de entrada ou importação, manipulação e análises de dados espaciais, e, saídas em diversos formatos das informações geradas. Dessa forma, a tecnologia utilizada num SIG permite a integração entre informações georreferenciadas, isto é, a localização espacial de atributos dos diferentes temas com referência a um sistema de coordenadas. Um SIG pode ser utilizado no planejamento regional ou ambiental, integrando coleta de dados, análise espacial e processo de tomada de decisão. Assim, para esses autores, um SIG pode ser utilizado como banco de dados ambientais, onde dados relevantes sobre os diferentes atributos sócio-econômicos e do ambiente natural podem ser armazenados, manipulados e analisados, podendo ser, ainda, constantemente atualizados e combinados em novas análises.

Para Neteler e Mitasova (2002), SIG é uma integração de *hardware*, de *software* e de dados designados para administração, processamento, análise e visualização de dados georreferenciados. Seu componente de *software* proporciona condições para o uso efetivo de dados espaciais na resolução de uma enorme gama de problemas.

De fato, segundo McCloy (1995) e Assad e Sano (1998), o banco de dados espaciais de um SIG possibilita a integração e o cruzamento entre diversos tipos de dados, obtidos em escalas espaciais (cartas planialtimétricas, mapas temáticos, fotografias aéreas e imagens de satélites orbitais, entre outros) e não-espaciais (tabelas). Os tipos básicos de análise espacial, incluídos na maioria dos SIG's, incluem: medições (área, perímetro), busca, classificação, modelagem (modelo cartográfico, redes, *buffers*, corredores), distância

(custo, proximidade), declividade, drenagem, interpolação / extrapolação, forma, etc.

De acordo com Assad e Sano (1998), nos SIG's, existem dois modos básicos para a representação de dados que caracterizam a superfície terrestre com todos os seus acidentes e detalhes: o modo vetorial e o modo raster. Na representação vetorial, os pontos, as linhas e os polígonos são delineados por um conjunto de coordenadas de um sistema ligadas a certos atributos. Já o modo de representação raster, utiliza um conjunto de células contidas em uma grade com a sua localização sendo definida pelas coordenadas x e y do sistema de grade. Cada célula é independentemente endereçada com o valor de um atributo. Na maioria dos SIG's, estes dois modos podem ser integrados e os modelos de dados espaciais mais utilizados para representar os diversos tipos de feições geográficas incluem pontos, linhas, polígonos e pixels.

Segundo Neteler e Mitasova (2002), o modo vetorial é usado para representar áreas, linhas e pontos. Este modo é baseado numa representação de nódulos e arcos. Um arco é armazenado como uma série de pontos, dados por pares de coordenadas (x,y) chamados vértices. Dois pontos consecutivos de coordenadas (x,y) definem um segmento de arco. Os dois pontos extremos de um arco são chamados de nódulos. Os arcos formam as características principais dos mapas que são as linhas (por exemplo, estradas ou rios) e as áreas (por exemplo, fazendas ou florestas). Arcos que contornam áreas são chamados de margens, e para cada característica do mapa é definida uma categoria numérica, a qual é usada para relacionar dados geométricos com um atributo descritivo desses dados. Por exemplo, num mapa de estradas modo vetor, uma linha que representa uma estrada pode ser definida com o código 2, que a associa com o atributo “estrada cascalhada”. Em adição às informações de coordenadas, o modo vetor de dados, freqüentemente, inclui informações sobre a posição relativa dos objetos em relação aos outros. Já o modo de representação *raster* é uma matriz de valores. Se os valores são definidos para uma grade de pontos, o modo raster está representando um campo contínuo (por exemplo, elevações ou temperaturas) e se os valores são definidos para uma grade de células (unidades de áreas) está representando uma imagem (imagem de satélite ou de scanner, por exemplo).

Segundo Sample (1994), RamalhoFilho et al. (1997) e Bitencourt e Pivello (1998), a entrada dos dados no SIG pode ser feita de modo manual, por digitalização

ou por arquivos digitais, sendo a base de dados originada de uma série de mapas ou *layers* (planos de informações) numa mesma escala, definidos pelo mesmo espaço, num sistema de coordenadas, e pelo tipo de código armazenado.

De acordo com McCloy (1995) e Assad e Sano (1998), num SIG, podem ser considerados e avaliados um maior número de alternativas e variações do que através de processos convencionais. No entanto, os resultados irão depender, em grande parte, da precisão dos dados originais. Atualmente, entre os SIG's mais utilizados, estão o ArcInfo/ArcView, Microstation, IDRISI, SPRING, SAGA, SPANS, MapInfo, AtlasGIS e o GRASS.

3.3.1 O sistema de informações geográficas GRASS

Segundo o INSTITUTO ECOS (2006)¹, o Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos - GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) é um sistema de informações geográficas (SIG) com funcionalidades vetorial e raster, processamento de imagens, visualização em terceira dimensão, modelagem espacial e produção gráfica.

Conforme o GRASS GIS HOMEPAGE (2006)², o GRASS foi originalmente desenvolvido entre 1982 e 1995 pela equipe de especialistas do Laboratório de Pesquisa de Engenharia de Construção do Corpo de Engenheiros do Exército Americano, como ferramenta de planejamento e gestão de áreas com fins militares.

O GRASS atualmente inclui mais de 350 módulos para integração de dados geoespaciais de várias fontes (projeções e transformações de coordenadas, conversões de formatos, interpolação espacial, etc), processamento de imagens (fotos aéreas e de satélite, por exemplo), análises espaciais (estatísticas espaciais, combinação de dados espaciais para encontrar mapas com as características desejadas, etc.), análise e otimização de redes de trabalho, computação gráfica (visualização de dados georreferenciados na forma digital ou em mapas de papel impressos) e simulação de processos espaciais (rede de transportes, crescimento urbano, migrações populacionais, evolução do ecossistema, erosão e

1 <<http://grass.institutoecos.org.br/geral/escopo.htm>> acesso em 10 de outubro de 2006

2 <<http://grass.baylor.edu/>> acesso em 10 de outubro de 2006

poluição da água, etc.). Os usuários deste SIG têm completo acesso ao código fonte, que possibilita o desenvolvimento de novas tecnologias com baixos custos, características não comuns aos usuários de *software* proprietário (NETELER; MITASOVA, 2002).

3.4 *Software* livre

O *software* livre existe desde o início do desenvolvimento da informática. Nas décadas de 1960 e 1970 o *software* livre era regra, não exceção, pois existiam poucos computadores no mundo, e o valor real estava na própria máquina em si, e não nos programas. Com a popularização do microcomputador na segunda metade da década de 1970, a situação começou a se alterar em favor do *software*, e este se tornou relativamente mais importante e viável economicamente que o *hardware*, de forma que, os fornecedores passaram a vender os *softwares*, sem fornecer o código-fonte, além de impor restrições à distribuição dos programas (STALLMAN, 1999).

O termo *free software* (*software* livre) costuma causar alguma confusão em inglês, pois a palavra “*free*” é freqüentemente associada a “grátis”. Porém, não é essa a filosofia dos idealizadores do *Free Software Foundation*¹ (FSF). A palavra “*free*” significa liberdade, porque leva em consideração a liberdade e não o preço (FERRAZ, 2002).

Segundo a FSF, um *software* pode ser considerado “livre” quando oferece quatro liberdades fundamentais:

- liberdade de executar o programa para qualquer propósito;
- liberdade de estudar como o programa funciona, e adaptá-lo para as suas necessidades (acesso ao código-fonte é um pré-requisito);
- liberdade de redistribuir cópias do programa;
- liberdade de aperfeiçoar o programa, e liberar os seus aperfeiçoamentos, de modo que toda a comunidade se beneficie.

Um programa é considerado “livre” se os usuários dispõem de todas essas liberdades. Essa seria a essência do *software* livre. Sua origem tem motivações ideológicas e sua proposta altera, substancialmente, as condições na qual um programa de

1 The free *software* definition <<http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>> acesso em 15/10/2006

computador pode ser desenvolvido e, mais que isso, utilizado (SOFTEX, 2005).

3.5 Colheita florestal

3.5.1 Conceito

O termo “colheita florestal” é uma denominação que substitui a expressão “exploração florestal”, por condizer mais com a realidade das operações, sendo aplicado com maior amplitude a partir de 1992 (MALINOVSKI, 2002).

No glossário de terminologia florestal da Universidade da Flórida, Hubbard et al. (2000) definem a colheita florestal como o corte e movimentação de árvores para uma localização central, para um transporte final por caminhões.

Malinovski e Malinovski (1998) definem colheita florestal como sendo todas as atividades parciais desde a derrubada da árvore até a madeira posta no pátio da indústria consumidora.

Segundo Machado (2002), a colheita florestal pode ser definida como um conjunto de operações efetuadas no maciço florestal, que visa preparar e extrair a madeira até o local de transporte. A colheita, parte mais importante do ponto de vista técnico-econômico, é composta pelas etapas: corte (derrubada, desgalhamento e traçamento ou processamento); descascamento, quando executado no campo; extração; e, carregamento.

Pulkki (2006) define colheita florestal como sendo: técnicas operacionais que envolvem a coleta de árvores da floresta até um ponto de utilização.

3.5.2 Sistemas de colheita de madeira

Sistema é definido como o conjunto formado por elementos e processos (STÖHR, 1981). Para Malinovski (1981), é um conjunto de atividades relacionadas entre si, que contribuem para um objetivo comum, é caracterizado por uma seqüência, um lugar e um objeto de trabalho, que englobam toda a cadeia de produção, ou seja, todas as atividades parciais. Em síntese, sistema é a planificação, o método e o ordenamento das

atividades a serem desenvolvidas (MALINOVSKI et al., 2002).

O sistema de colheita de madeira é baseado em ferramentas, em equipamentos, em máquinas e em pessoal envolvidos na área de colheita. O método de colheita depende de qual forma a madeira é depositada na estrada de acesso (estaleiro), e da quantidade de processos que ocorrem após o corte final da árvore (PULKKI, 2006).

Machado (2002) define sistema de colheita como um conjunto de atividades integradas entre si, que permitem o fluxo constante de madeira, evitam os pontos de estrangulamento, e levam os equipamentos a sua máxima utilização.

Os sistemas de colheita e madeira podem variar de acordo com os tratos silviculturais, o relevo, o clima, o tipo de solo, o sortimento, o capital de investimento, a disponibilidade de mão de obra, o volume a ser produzido e outros (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998).

Estes sistemas podem ser classificados quanto ao comprimento das toras e à forma como são extraídas até o local de processamento. Dessa forma, existem basicamente 5 (cinco) sistemas de colheita segundo Machado (1985), Malinovski e Malinovski (1998) e Malinovski et al. (2002), são eles:

- sistema de árvores inteiras (*Full-tree*);
- sistema de árvores completas (*Whole-tree*);
- sistema de cavaqueamento (*Chipping*);
- sistema de toras longas ou fustes (*Tree-length*);
- sistema de toras curtas (*Cut-to-length*).

Sistema de árvores inteiras

De acordo com Malinovski e Malinovski (1998), Machado (2002) e Pulkki (2006), no sistema de árvores inteiras a árvore é derrubada e extraída para fora do talhão, onde o processamento completo é feito em locais previamente escolhidos.

Esse sistema requer elevado índice de mecanização e pode ser utilizado tanto nos terrenos planos como nos acidentados. Em casos de utilização de biomassa para energia, esse sistema é indicado devido à potencialidade de uso da casca, ramos e acículas

ou folhas, porém com grandes restrições ambientais, em virtude da exportação de grande parte dos potenciais nutrientes para futuras rotações (MALINOVSKI et al., 2002).

Sistema de árvores completas

Segundo Malinovski e Malinovski (1998), Machado (2002) e Pulkki (2006), o sistema de árvores completas tem por estratégia retirar a árvore com parte de seu sistema radicular e levá-la para a margem da estrada ou para o pátio temporário, onde é processada.

Somente nos casos em que as raízes sejam de valor comercial, este sistema torna-se interessante. É o caso de árvores com alta concentração de resina nos tocos ou árvores consideradas medicinais. Não existe muita tecnologia para o uso deste sistema, o qual retira biomassa, podendo prejudicar a manutenção da produtividade dos sítios (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998).

Sistema de cavaqueamento

Neste sistema, as árvores são derrubadas, desgalhadas, destopadas, descascadas e transformadas em cavacos no local do corte. Posteriormente são extraídas e transportadas para a indústria (MALINOVSKI et al., 2002; MACHADO, 2002).

Sistema de toras longas ou fuste

Este sistema consiste em efetuar o desgalhamento e o destopo da árvore no mesmo local onde ocorreu o corte. Desta forma a toragem (traçamento) é realizada nas estradas que circundam o talhão, nos pátios intermediários de processamento ou nas indústrias. É um sistema amplamente utilizado na América do Norte, onde até 1996 cerca de 90-95% de toda a madeira era colhida por esse método. No Brasil, muitas empresas do Sul utilizam esse sistema por ser um dos mais baratos quando mecanizados (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998).

Sistema de toras curtas

O sistema de colheita de madeira de toras curtas (CTL) processa a árvore em pequenas toras no próprio lugar do corte. A moderna técnica do método CTL utiliza duas máquinas: um *harvester* e um *forwarder*. Combinando o *harvester* e o *forwarder*, tem-se os *harwarder*, capaz de processar a árvore e transportar as toras até o estaleiro (TALBOT et al., 2003; WESTER; ELIASSON, 2003; NURMINEN et al., 2006).

Para Malinovski et al. (2002), o CTL é o principal sistema de colheita utilizado nos países escandinavos e o mais antigo empregado no Brasil. É caracterizado pela realização de todos os trabalhos complementares ao corte (desgalhamento, destopo, toragem ou traçamento e descascamento) no próprio local onde a árvore foi derrubada. As toras produzidas medem até 6 metros, dependendo do índice de mecanização.

Segundo Kellogg e Bettinger (1994) e Nurminen et al. (2006), comparado com outros sistemas, o sistema CTL é considerado como o mais amigável ambientalmente, versátil e seguro. É um sistema que proporciona um produto final com maior qualidade do que os sistemas mecanizados denominados de “árvores inteiras” e de “toras longas”.

De acordo com Malinovski e Malinovski (1998), o sistema CTL é amplamente empregado porque exige menor grau de mecanização, facilita o deslocamento a pequenas distâncias, diminui a agressão ao meio ambiente (principalmente em relação ao solo) e apresenta a possibilidade de ser utilizado em desbastes.

3.5.3 Operação de corte

Para Greulich et al. (1996), a operação de corte é a primeira fase de preparação da árvore para o mercado. Os autores consideram que o corte e o traçamento da árvore têm um grande efeito sobre as demais operações de colheita. Pulkki (2006) conceitua a operação de corte como a separação da árvore do toco a partir do seu lugar de crescimento. Segundo Sant'Anna (2002), a operação de corte compreende as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento e empilhamento. A operação de corte tem grande importância por

ser a etapa inicial do preparo da madeira.

Atualmente, as principais linhas de equipamentos utilizados nessa operação são as motosserras e os tratores derrubadores e empilhadores (*feller bunchers*) e colhedoras com cabeçotes processadores (*harvesters*) (HAKKILA et al., 1992; MALINOVSKI e MALINOVSKI, 1998).

Corte com *harvester*

É um trator derrubador, desgalhador, traçador e empilhador, composto de uma máquina base de pneus ou esteira, uma grua e um cabeçote (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998). No caso de “*One Grip Harvester*”, o cabeçote corta, desgalha e traça, e no caso do “*Two Grip Harvester*” o cabeçote tem somente a função de corte, estando sobre o eixo traseiro da máquina base os equipamentos para desgalhamento e traçamento (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998; SANT'ANNA, 2002; PULKKI, 2006).

Os principais objetivos do projeto de desenvolvimento do *harvester* foram: reduzir a mão-de-obra de baixa qualificação, melhorar as condições de trabalho do homem e diminuir os custos operacionais (SANT'ANNA, 2002).

Greulich et al. (1996) citam algumas das principais vantagens do *harvester*

- utilização mais completa da madeira colhida;
- menor compactação do solo e menor distúrbio do talhão durante a colheita;
- menos problemas no corte da madeira.

Os mesmos autores citam algumas desvantagens do *harvester*:

- alto custo da colheita (um *harvester* custa em torno de US \$ 450,000.00 para comprar);
- requer um *forwarder* para completar a colheita (*Harvesters* não trabalha bem com *skidders* convencionais);
- o limite de declividade do terreno não pode ultrapassar 35%.

3.5.4 Operação de extração

Ribeiro e Souza (1992) definem extração ou movimentação, como a retirada da madeira dos talhões para a remoção. Malinovski e Perdoncini (1990) consideram a extração como o procedimento de retirada da árvore da floresta até a estrada ou estaleiro, após a sua derrubada no talhão. Segundo Seixas (2002), extração é a movimentação de madeira desde o local de corte até a estrada, carreador ou pátio intermediário.

Tanaka (1987) define extração, arraste ou baldeio como uma das fases da colheita florestal em que se faz a retirada da madeira do povoamento para as margens das estradas de uso florestal, utilizando-se de sistemas manuais, animais ou mecanizados.

Tipo de extração

Malinovski e Malinovski (1998) e Seixas (2002) citam que as operações de extração diferem quanto à forma como a carga é extraída. Segundo os mesmos autores e Pulkki (2006), existem vários sinônimos dessa operação, dependendo da forma como é realizada ou do tipo de equipamento empregado:

- arraste - quando a carga está em contato total ou parcial com o terreno. Os principais equipamentos são: tratores agrícolas adaptados, *skidders*, guinchos e extração manual ou animal;
- baldeio - quando a carga é extraída sobre uma plataforma, como um trailer ou um trator autocarregável. Os principais equipamentos são: *forwarders* e tratores autocarregáveis;
- suspenso - quando a madeira é extraída suspensa por meio de teleféricos, balões ou helicópteros.

Principais máquinas e equipamentos para extração

Segundo Staff e Wiksten (1984), é de grande importância para a viabilidade das operações florestais, que a extração seja desenvolvida ao menor custo possível.

Para se obter sucesso neste aspecto, é necessário conhecer todos os fatores que influenciam a produção de extração, a utilização dos meios disponíveis, bem como a estrutura dos custos parciais da operação. Os mais importantes são o tempo de viagem, os tempos terminais (carregamento e descarregamento), o tamanho da carga, o grau de utilização dos equipamentos e os custos de salários, das máquinas e dos materiais.

De acordo com Seixas (2002), a operação de extração pode ser realizada de várias formas:

- manual: utilizando a técnica de rolamento ou tombo de pequenas toras, aplicada geralmente em desbastes, pela ausência de espaço para a entrada de máquinas e pelo corte raso em locais acidentados, devido à falta de equipamentos adequados; utilizando a técnica de calhas, empregada em topografia acidentada com inclinação mínima de 40% e restrita à colheita de madeira curta;
- animais: indicada em locais acidentados, onde não há condições de mecanização; proporciona baixo custo em consequência do baixo investimento inicial. Segundo Greulich et al. (1996), a utilização de cavalos para o arraste da madeira é um velho método de extração na América do Norte, considerado por alguns um método obsoleto, porém viável em pequenas propriedades. Os autores citam algumas vantagens, como o baixo distúrbio do solo e o silêncio da operação comparado com os métodos mecanizados. As principais desvantagens desse método são: baixa produção, limitação na distância de extração e a necessidade de descanso dos animais;
- tratores agrícolas adaptados: podem ser divididos em: engate simples, barra e corrente, guincho e *miniskidder* (trator adaptado com uma garra traseira);
- mecanizada :*skidder*, trator autocarregável e *forwarder*.
- teleféricos (*Skylines*), balões e helicópteros.

Extração mecanizada com forwarder

Criados no Canadá e aprimorados na Escandinávia, os *forwarders* possuem chassi articulado, e capacidade de carga entre 5 e 20 toneladas. Os

primeiros *forwarders* nacionais foram desenvolvidos pela empresa Engesa no fim da década de 70, encomendados pela empresa Aracruz Celulose (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998).

Segundo Seixas (2002), os *forwarders* foram projetados para trabalhar no sistema de toras curtas, não são máquinas velozes, porém muito versáteis, com capacidade de superar as condições adversas encontradas no campo e com bom desempenho em terrenos com declividade de até 30%. É um equipamento que necessita de floresta de alta produtividade e operadores qualificados, devido ao seu alto valor de aquisição.

Greulich et al. (1996) citam as principais vantagens e desvantagens do *forwarder*:

- causa menor dano ao solo, comparado com os *skidders*;
- não necessita de grandes espaços na beira da estrada para depósito da madeira, pois esta já foi processada no local de corte, podendo, inclusive, ser descarregada diretamente no caminhão para o transporte final;
- a inclinação do terreno não deve ultrapassar 30 %;
- deve operar juntamente com um *harvester*, para ser economicamente viável;
- possui alto custo de aquisição.

Fatores influentes na extração

Segundo Seixas (2002), a extração da madeira é um dos pontos críticos da colheita florestal, exige um planejamento detalhado das operações de maneira a empregar os equipamentos próprios dentro do sistema mais indicado de trabalho. O autor destaca que os principais fatores de influência na extração são: a densidade do talhão, a topografia do terreno, o tipo de solo, o volume das árvores e a distância de transporte.

Fatores influentes na operação do forwarder

Para Tufts (1993) e Kellogg e Bettinger (1994), a produtividade do *forwarder* está fortemente correlacionada com o tipo de manejo do talhão (corte raso,

desbaste), com a distância média de transporte, com o volume de madeira a ser transportada e com o tamanho e densidade das toras. Além disso, segundo esses autores, o aumento médio do tamanho das árvores deve diminuir o tempo de carregamento. No entanto, como reportado por Nurminen et al. (2006), o tamanho da garra e da pilha de toras talvez sejam ainda mais importantes na produtividade do carregamento. Sendo assim, a operação de corte, efetuada pelo operador do *harvester*, tem influência significativa na eficiência da operação de baldeio.

De acordo com Rönnqvist e Westerlund (1999), o tempo para o *forwarder* realizar uma ciclo de trabalho, depende de vários fatores, tais como:

- a distância total de viagem para realizar o carregamento e o descarregamento da madeira;
- a velocidade do *forwarder* em diferentes tipos de estradas e talhões;
- o número de paradas, pois, às vezes, é possível realizar o carregamento de mais de uma pilha de madeira sem mover o *forwarder*. Isto é decidido pelo alcance da grua e pela distância entre as pilhas de madeira;
- o modelo do carregamento utilizado. Isto significa definir qual a pilha de madeira, e qual a ordem das pilhas a serem carregadas;
- o descarregamento, o qual depende do modelo de carregamento e do nível de habilidade do operador da máquina.

3.5.5 Densidade de estradas florestais

A densidade de estradas é expressa pela relação existente entre a área e o comprimento das mesmas (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990).

De acordo com Dietz (1983), a otimização da rede viária é sempre o ponto central de uma rede bem estruturada. Procura-se instalar as estradas de forma a obter a maior utilização líquida, ou seja, uma malha viária que apresente como resultado a menor soma possível de custos decorrentes da utilização das estradas. Dietz (1983) e Sant'Anna Júnior (1992) afirmam não haver uma solução ótima de estradas que se aplique a todas as épocas e ocasiões.

Para Malinovski e Perdoncini (1990), a densidade final da rede

viária está correlacionada com o meio de produção a ser empregado na extração florestal, pois quanto maior for a densidade de estradas, menor será a distância média de extração.

3.5.6 Distância média de extração

Para Anaya e Cristhiansen (1986), a determinação da distância de arraste é um dos fatores que define um sistema de colheita. Os mesmos autores determinam a obtenção da distância ótima em função dos custos.

Malinovski e Perdoncini (1990), descrevem que uma área atravessada por estradas paralelas possui uma distância máxima de arraste equivalente à metade da distância entre as estradas, e o arraste mais curto seria zero. Assim, a distância média de arraste corresponde a um quarto da distância entre as duas estradas.

Dietz (1983), relaciona, numa dupla escala, o custo de arraste com os custos de manutenção e construção de estradas, referidos à distância de arraste e à densidade de estradas, respectivamente.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

4.1.1 Caracterização do local de estudo

O estudo foi realizado em uma fazenda de uma empresa florestal, com um povoamento de eucalipto localizado no município de Lençóis Paulista no Estado de São Paulo (coordenadas geográficas de referência 28° 48' 36.81" S e 48° 53' 49.93" W). Nota-se na Figura 1 a localização da fazenda no Brasil, bem como a demarcação de seus limites.

A fazenda possui uma área total de 11.931 hectares, sendo que: 9.804 ha são de efetivo plantio, e 2.127 ha são áreas com preservação permanente.



Figura 1- Localização da área de estudo

Fonte: Google earth, 2006

Segundo a classificação de Köppen, o clima característico da região é o Cwa, quente e úmido, de inverno seco. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.200 mm, com temperatura média anual de 21,9 °C e umidade relativa média do ar de 60 %. Os solos predominantes na região são os Latossolo Vermelho – Amarelo (LV56/LVA) nas áreas altas e Latossolo Roxo (LV6) nas áreas baixas.

A área de estudo apresenta um relevo suave ondulado, com um declividade média de 3,23°.

4.1.2 Rede viária

A área de estudo possui dois sistemas de rede viária: um chamado de “sistema de estradas ortogonais”, onde as estradas foram implantadas sem levar em consideração as curvas de níveis do terreno, e um outro denominado “sistema em nível”, onde as estradas foram adaptadas aos contornos do terreno.

O sistema de estradas ortogonais foi implantado no ano de 1971 e apresenta estradas contornando talhões com 500 metros de largura por 1.000 metros de comprimento, formando áreas retangulares denominadas de “regulares” (Figura 2a).

O sistema de estradas em nível foi construído entre os anos de 1988 e 1994. Como as estradas seguem o contorno do terreno, as áreas formadas por esse sistema formam polígonos com “n” lados, que são chamados de áreas “irregulares”, pois a forma geométrica de cada talhão difere em número e comprimento dos lados (Figura 2b).



Figura 2- Imagem de satélite mostrando o sistema de estradas ortogonais (a) e o sistema de estradas em nível (b)

Fonte: Google earth, 2006

Observa-se na Tabela 1, que existem 175 talhões alocados no sistema ortogonal de estradas e 125 talhões no sistema de estradas em nível. Tanto os talhões localizados no sistema ortogonal como os em nível possuem altitudes máxima e mínima semelhantes. O tamanho da área do sistema de estrada em nível é menor que o sistema ortogonal, porém este, apresenta uma menor densidade de estradas em $m\ ha^{-1}$.

Tabela 1 - Principais informações sobre a área de pesquisa

Parâmetros	Sistema de Rede Viária		Total
	Em Nível (<i>Talhões irregulares</i>)	Ortogonal (<i>Talhões regulares</i>)	
Número de talhões	125	175	300
Total de áreas dos talhões (ha)	3661	6143	9804
Altitude máxima (m)	765	760	
Altitude mínima (m)	624	604	
Densidade das estradas (m/ha)	36,6	31,42	

4.1.3 Equipamento computacional

Utilizou-se um computador com um processador AMD 1.8 Turion 64 bits, com 1024 de memória RAM (memória de acesso aleatório, *Random Access Memory*) e 80 GB de HD (disco rígido, *Hard Disk*). O sistema operacional utilizado foi o Linux, distribuição SUSE, versão 10.1.

4.1.4 Programas computacionais

Utilizou-se apenas *software* livre para o desenvolvimento desta pesquisa, sendo eles: GRASS GIS 6.0, MySQL, R *Statistics*, *Open Office* e The GIMP 2.2.

4.1.5 Base de dados

Os mapas planialtimétricos da fazenda, com informações sobre a rede de estradas, as divisas, os rios e as áreas de preservação permanente, foram georreferenciados e digitalizados por Antonangelo (2004), utilizando o *software* GRASS GIS 5.0 (Figura 3a).

Em virtude dessa base de dados ter sido desenvolvida na versão 5.0 do GRASS, utilizou-se o comando *v.convert* para transformar os dados *vectors*, em dados que pudessem ser utilizados pelo GRASS na versão 6.0 (Figura 3b).

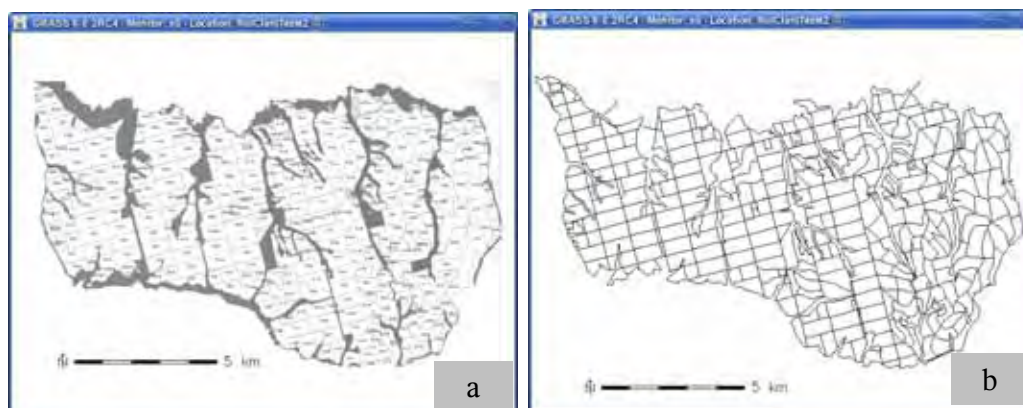


Figura 3 - Mapa da fazenda digitalizada por Antonangelo (2004) (a) e mapa da fazenda convertido para o *software* GRASS GIS versão 6.0 (b)

4.1.6 Informações de campo

Com o intuito de caracterizar os sistemas de silvicultura e de colheita de madeira utilizados pela empresa, elaborou-se um questionário com perguntas gerais e específicas, abordando vários assuntos, tais como: espécie plantada, espaçamento e manejo adotados, incremento médio anual, sistemas e equipamentos de colheita de madeira utilizados, distância média de extração praticada, estudos de tempos e movimentos, custo por m³ de madeira extraída, etc. Essas informações foram obtidas aplicando o questionário à equipe técnica da empresa.

4.1.7 Premissas e condicionantes

Analisando as informações fornecidas pela equipe técnica da empresa, percebeu-se que a área em estudo apresentava diferentes variações silviculturais (espaçamento, espécie, etc), e de colheita de madeira (diferentes sistemas e equipamentos). Em virtude disso, e pelo fato do grande número de variáveis envolvidas, optou-se pelos sistemas de silvicultura e colheita mais utilizados pela empresa. Para isto, definiram-se algumas premissas e condicionantes com a intenção de criar um cenário fictício semelhante a uma situação real.

Silvicultura e manejo

Simulou-se que o gênero plantado seria o *Eucalyptus* sp, com espaçamento de 3 metros entre linhas e de 2 metros entre árvores na linha. Para efeito de cálculo, adotou-se um número médio de árvores por hectare igual a 1.666, um incremento médio anual de 45 m³ por hectare (volume médio comercial com casca de 0,16 m³ por árvore, e que o corte raso seria efetuado aos 6 anos de idade) e que o corte raso seria efetuado aos 6 anos de idade.

Sistema de colheita de madeira

A empresa trabalha com três sistemas distintos de colheita de madeira, todos eles com toras curtas (*cut to length*). Este sistema caracteriza-se pelos trabalhos complementares ao corte (desgalhamento e processamento) no próprio local aonde a árvore foi derrubada. As árvores são processadas em comprimentos de até 6 metros, variando com a mecanização; após esta atividade parcial os toretes são extraídos.

Para este estudo, adotou-se o sistema, onde o corte da madeira seria realizado por um *harvester*, que efetuaria as atividades de derrubada, desgalhamento, traçamento e empilhamento das toras, e a extração da madeira até à beira da estrada seria realizada por um *forwarder*.

No sistema de colheita adotado, o *harvester* trabalharia em um eito (faixa de trabalho) composto por 4 linhas de árvores, transitando sobre a 3ª linha (Figura 4). As árvores seriam derrubadas para o lado direito, e o empilhamento dos toretes seria realizado para o lado esquerdo. Dessa forma, a galhada permaneceria sobre a linha de deslocamento da máquina e os toretes traçados seriam empilhados de forma transversal à esse deslocamento, formando feixes de madeira com 6 metros de comprimento. No segundo eito, o *harvester* derrubaria as árvores para o lado esquerdo, e o empilhamento dos toretes seria para o lado direito. A supressão de duas faixas de trabalho formaria um ramal com duas filas de feixes de madeira, entre as quais, o *forwarder* se deslocaria para realizar o baldeio (Figura 5).

A madeira baldeada pelo *forwarder* seria depositada na beira da estrada. Neste modelo, utiliza-se todas as beiras das estradas ao redor do talhão para se depositar a madeira.

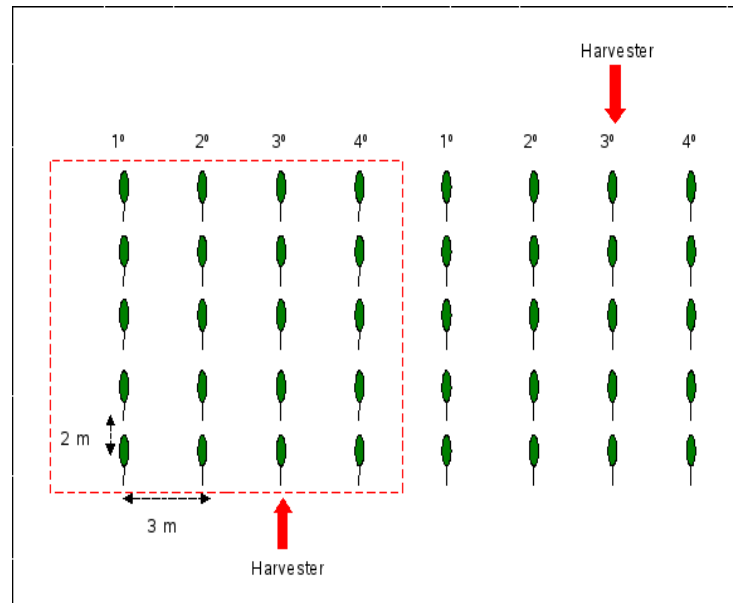


Figura 4 - Exemplificação da faixa de trabalho (eito) do *harvester*

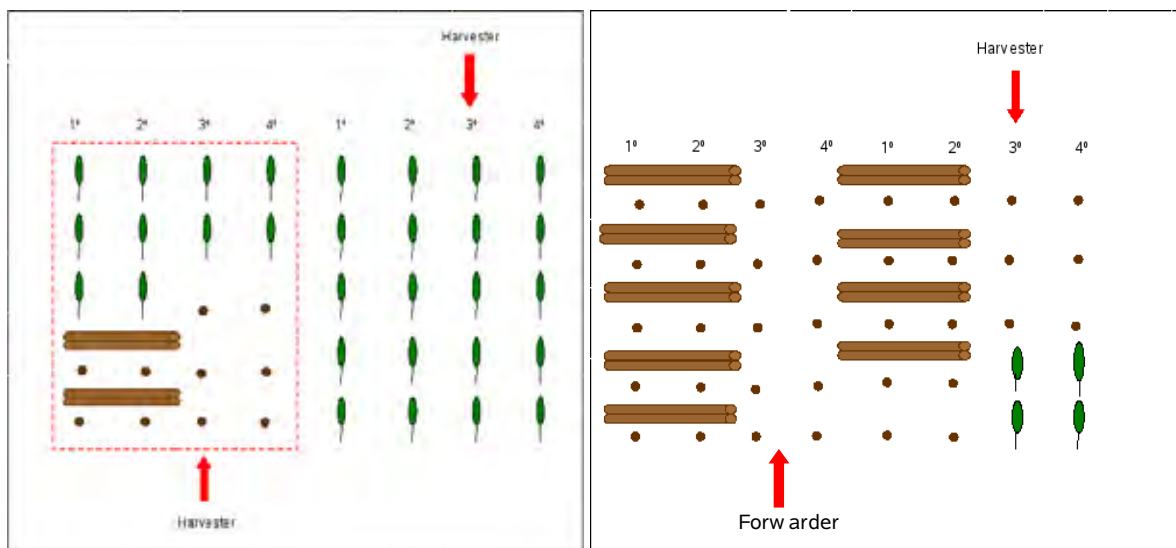


Figura 5 - Demonstração do deslocamento do *harvester* e do *forwarder* em dois eitos de trabalho.

Máquinas e equipamentos

Utilizou-se um *harvester* composto por uma escavadeira hidráulica (máquina base) Caterpillar, modelo 320 CL com motor Caterpillar 3.660 T, sistema rodante de esteira, com grua hidráulica e cabeçote *harvester* da marca Waratah, modelo 616 HTH.

Utilizou-se um *forwarder* da marca Valmet, modelo 890.2/ 6WD (Figura 6).

Segundo o estudo de tempos e movimentos realizado por Bantel (2006), na mesma área de pesquisa e com os mesmos equipamentos mencionados acima, o *forwarder* possui um volume médio de carga de 20 m³ (em média 125 árvores por carga), uma produtividade de 51 m³ h⁻¹ e uma velocidade carregado de 8,31 Km/h e vazio de 8,82 Km/h. Para essa pesquisa, adotou-se que a velocidade, tanto carregado como vazio, seria a média, ou seja, 8,56 km/h. Segundo a consultoria Martini Ltda¹, o custo por hora desse *forwarder* é de R\$ 170,00, resultando em um custo de R\$ 2,21 por m³.



Foto: Bantel (2006)

Figura 6 - *Forwarder* Valmet 890.2

1 Consulta realizada no dia 25 de agosto de 2006, email: edsonmartini@onda.com.br

4.2 Métodos

O desenvolvimento teórico da metodologia foi realizado no *Institut Für Bodenkunde und Waldernährungslehre* com apoio do *Institut Für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft*, ambos da Universidade *Albert Ludwigs*, em Freiburg, na Alemanha, durante os meses de dezembro de 2005 a novembro de 2006.

A metodologia descrita nos próximos itens apresenta vários mapas explicativos, os quais fazem parte de uma seqüência lógica de comandos desenvolvidos no GRASS 6.0.

4.2.1 Área experimental

No GRASS, utilizou-se o comando *r.random* para selecionar de forma aleatória, as áreas de estudo (Figura 7). Definiu-se trabalhar com oito talhões regulares e oito irregulares (Tabela 2).

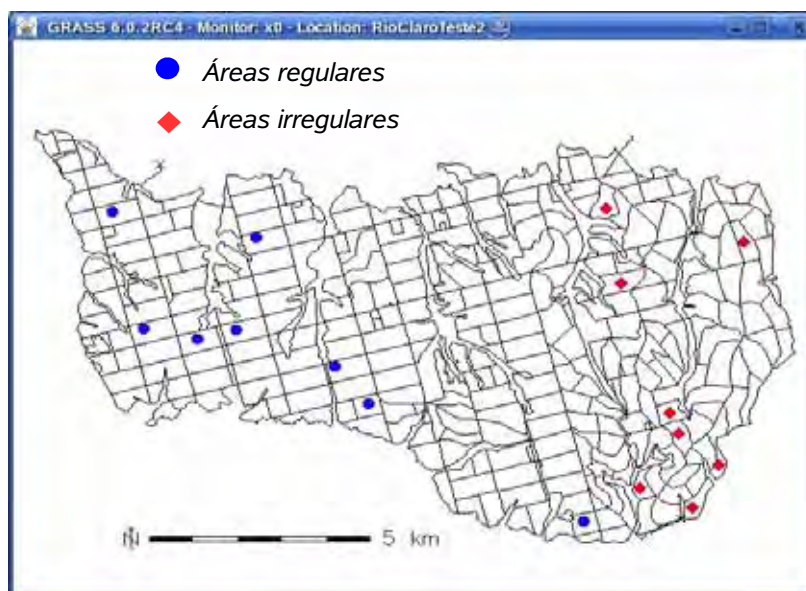


Figura 7 - Localização dos talhões selecionados pelo comando *r.random*

Cada talhão da fazenda possuía um número de identificação, que facilitou a sua localização no mapa.

Tabela 2- Informações sobre os talhões que foram selecionados pela ferramenta randômica

Número talhão	Talhões regulares		Número Talhão	Talhões irregulares	
	UTM*			UTM*	
	X	Y		X	Y
7067	711297,5	7479052,5	9289	722357,5	7478852,5
7030	707762,5	7479667,5	9268	718807,5	7479752,5
7084	713247,5	7475422,5	9258	719347,5	7478022,5
7024	708742,5	7476317,5	9230	720547,5	7473882,5
7162	718587,5	7471632,5	9235	720577,5	7474387,5
7053	710812,5	7476857,5	9227	721467,5	7473277,5
7043	709822,5	7476597,5	9221	719977,5	7472847,5
7082	713547,5	7474977,5	9226	720952,5	7472477,5

*UTM = Universal Transversa de Mercator

Elaborou-se um guia de campo para coletar as informações das áreas selecionadas. A intenção desse levantamento foi de averiguar todas as possíveis restrições da operação de baldeio realizada pelo *forwarder*. Para visitar todos os talhões selecionados, foram percorridos mais de 100 km de estradas primárias e secundárias da fazenda. Coletaram-se informações como: sentido de alinhamento de plantio, condições das estradas ao redor do talhão, altura do barranco em relação à estrada e relevo predominante no talhão.

Os sentidos de alinhamento de plantio foram ilustrados manualmente no guia de campo, bem como as condições das estradas ao redor do talhão (Figura 8).

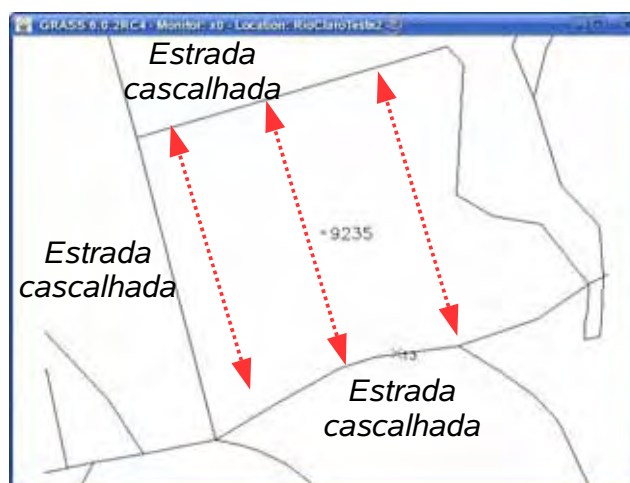


Figura 8 - Exemplo das anotações realizadas no guia de campo (sentido de alinhamento de plantio e condições das estradas)

4.2.2 Cálculo da distância média de extração (DME)

Para o cálculo da DME, desenvolveu-se uma seqüência de comandos no GRASS 6.0. Utilizaram-se diversos recursos *vector* e *raster* disponíveis nesta nova versão do GRASS.

Como a DME é diferente para cada talhão, pelo fato de cada talhão possuir tamanho e forma geométrica diferentes, o primeiro passo foi separar um único talhão do mapa completo da fazenda, e criar um novo mapa somente com o talhão selecionado. Utilizou-se o comando *v.extract* para realizar essa operação (Figura 9). O comando *v.extract* é uma ferramenta que seleciona objetos *vector* (pontos, linhas, centróides, bordaduras e áreas) de um mapa *vector* e cria um novo mapa contendo somente o objeto selecionado. Esse novo mapa em formato de objeto tipo área foi separado nas interseções das linhas, transformado-se em um formato de objeto tipo bordadura (Figura 10). Para isso, utilizou-se o comando *v.clean*, o qual possui diversas funções para limpar a topologia de um *vector*.

Entende-se que a DME tem que ser calculada para cada linha (estrada) que circunda o talhão, pois para cada estrada existe uma DME diferente. Dessa forma, o mapa com as bordaduras foi transformado em um mapa com linhas. Utilizou-se o

comando *v.type* para realizar essa mudança. Usa-se o comando *v.type* quando se quer trocar o tipo de elemento geométrico, por exemplo: de linhas para bordaduras ou de pontos para centróides.

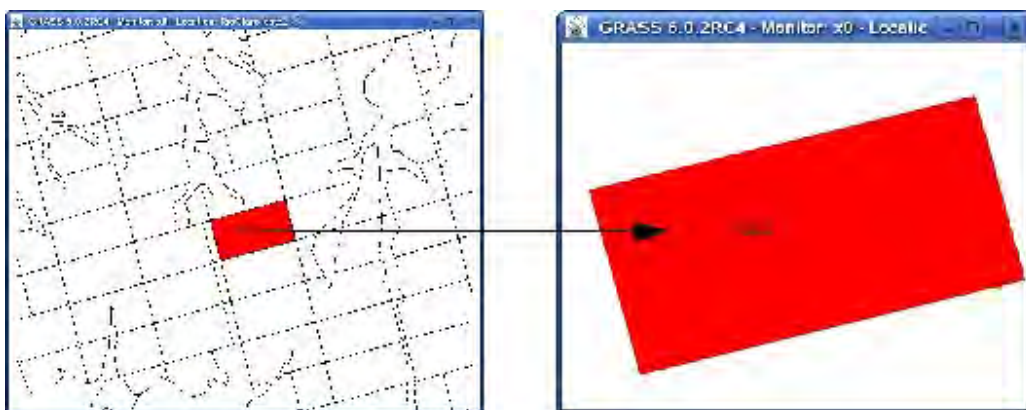


Figura 9 - Talhão número 7053, extraído do mapa completo da fazenda (objeto tipo área)



Figura 10 - Objeto *vector* tipo bordadura

Para cada linha desse novo mapa, inseriu-se um número identidade (categoria) através do comando *v.category*. Percebe-se na Figura 11-a que existem quatro linhas que formando mapa, cada uma contém um número identidade diferente. O comando *v.category* pode ser utilizado para inserir, apagar ou informar categorias de mapas *vector*. Essas categorias são importantes para transformar um mapa *vector* em um mapa *raster*. Não é possível converter um mapa *vector* em um mapa *raster*, sem que este tenha uma tabela de atributos ou valores de categorias inseridos em seus objetos.

Como já mencionado, o cálculo da DME deve ser realizado para cada estrada (linha) ao redor do talhão. Sendo assim, utilizou-se novamente o comando

v.extract para extrair cada segmento de linha (Figura 11-b). A partir desse ponto, foram desenvolvidas algumas linhas de programação utilizando as linguagens AWK e Bash, criando-se uma rotina de cálculo para cada linha extraída.

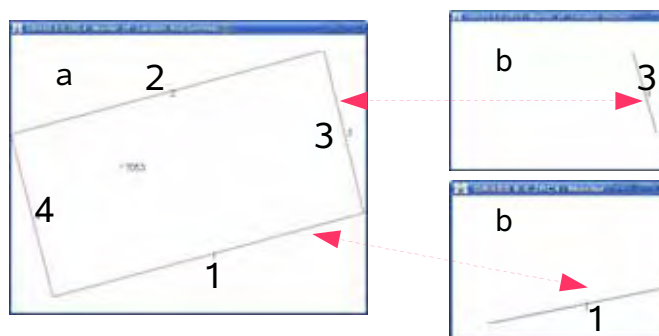


Figura 11 - Inserção de categorias em cada linha do mapa (a). Exemplos de linhas extraídas do mapa (b)

Na seqüência, utilizou-se o comando *v.to.rast* para transformar o mapa *vector* (uma linha) em um mapa *raster*. A função *v.to.rast* é empregada para converter uma camada de um mapa *vector* binário em uma camada de um mapa *raster*.

Preparada a estrada (linha) que se efetuaria o cálculo da DME, utilizou-se o comando *r.mapcalc* para inserir um reticulado de células sobre a área do talhão. Atribuiu-se um valor às células igual a 1 (um) (Figura 12). O comando *r.mapcalc* é um instrumento matemático disponível no GRASS. Com ele, foram criados diversos mapas *raster* a partir de expressões e funções aritméticas.

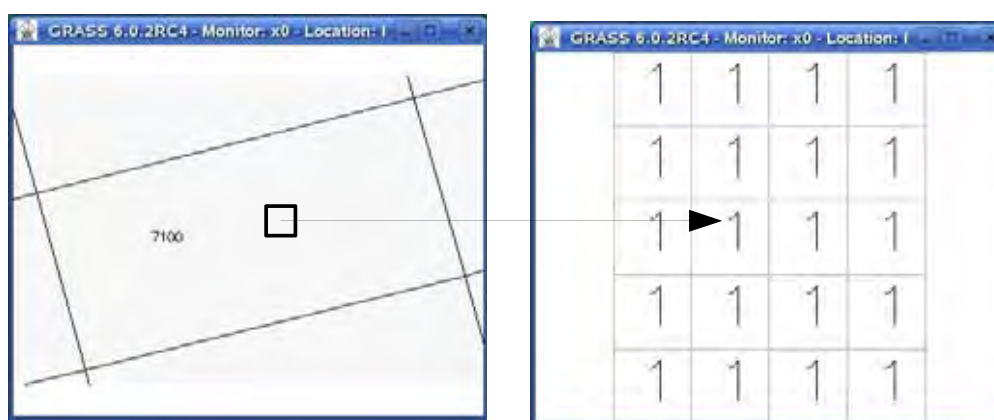


Figura 12 - Demonstração do reticulado de células inserido sobre o talhão selecionado

Com a linha selecionada (linha 1) transformada em um mapa *raster*, e com um outro mapa *raster* contendo um reticulado de células igual a 1, procedeu-se o cálculo da DME utilizando o comando *r.cost*. Este comando mostra as células acumuladas entre diferentes mapas *raster*. Como um dos mapas *raster* era uma linha, esse comando calculou as distâncias acumulativas a partir dessa linha em relação a área do talhão que possuía células internas igual a um (Figura 13). Ao invés de uma linha, um *raster*, no formato de ponto ou no formato de bordas de uma área específica, poderia ser utilizado como referência para o cálculo da DME.

Para se obter a estatística desse cálculo, utilizaram-se dois procedimentos: o primeiro foi criar uma “máscara” sobre a área selecionada, pois até então, como visto na Figura 12, o reticulado também englobava as áreas fora do talhão, e a intenção era somente a área interna. Sendo assim, o uso da “máscara” serviu para selecionar somente a área desejada; o segundo procedimento foi a utilização do comando *r.univar*, o qual forneceu variáveis estatísticas sobre o cálculo realizado, como as distâncias mínima, média e máxima, a partir da linha 1 (estrada que foi selecionada).

Observa-se na Figura 13 o resultado do cálculo realizado para uma estrada localizada na parte inferior do talhão. Um fato importante são as cores das células internas, neste caso, existe uma grade de cores que varia do amarelo ao azul escuro. Quanto mais próximo da linha selecionada, menor será o número interno da célula, conseqüentemente, menor será a distância em relação a esta linha. Percebe-se que a parte azul é a mais distante da linha selecionada, em torno de 500 metros de distância, enquanto que as células do quadro verde, localizadas no meio do talhão, possuem em torno de 223 metros de distância. O quadro amarelo mostra exatamente a aplicação do recurso da máscara, assim observa-se que as células que estão fora da área do talhão possuem valores nulos (N).

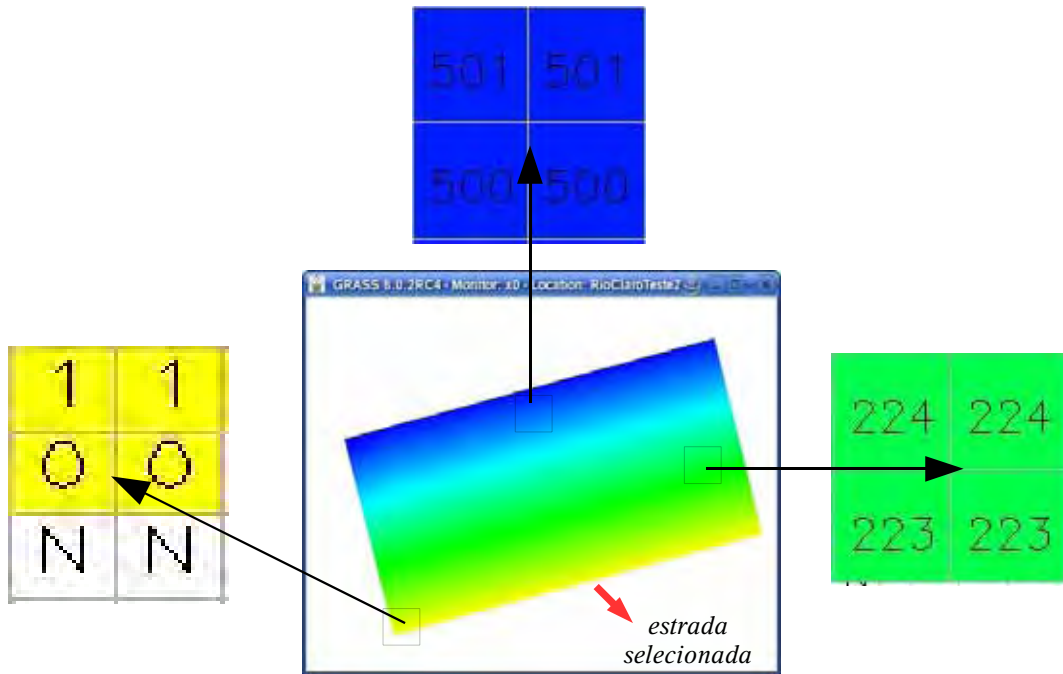


Figura 13 - Resultado do cálculo acumulativo das distâncias a partir de uma linha selecionada

Nesse exemplo, o *forwarder* iria baldear metade da madeira para a parte inferior do talhão e metade para a parte superior. Sendo assim, e sabendo dos valores calculados pelo comando *r.univar*, utilizou-se o comando *d.rast* para demarcar quais seriam os limites máximo e médio de extração calculados em relação à linha inferior (Figura 14).

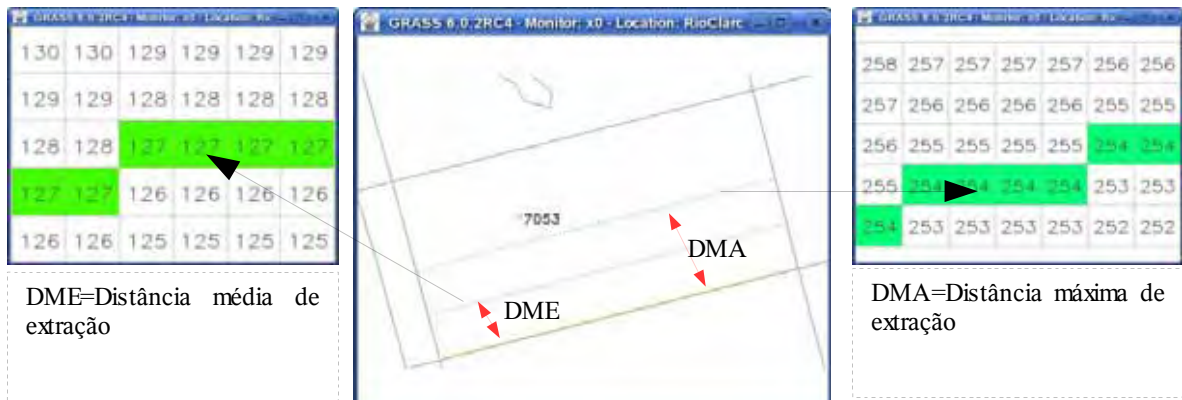


Figura 14 - Marcação da distância média e máxima de extração a partir da linha inferior

Percebe-se que esta rotina de cálculo não levou em consideração o sentido de alinhamento do plantio. Contudo, os resultados mostrados na Figura 14 não refletem a realidade da empresa. Sendo assim, esse procedimento de cálculo foi implementado como demonstrado no item a seguir.

4.2.3 Cálculo da distância média de extração com linhas teóricas de plantio

Uma das variáveis importantes no deslocamento do *forwarder* é o sentido de alinhamento de plantio. Se o espaçamento for quadrangular, por exemplo 3 x 3 metros, essa variável não é importante. Porém, se o espaçamento for retangular, por exemplo, 3 x 2 metros, entende-se que a máquina não deverá transitar sobre os tocos nas linhas de plantio por uma série de questões, tais como: econômica, maior desgaste dos pneus por exemplo; ambientais, danos ao solo e aos tocos remanescentes, caso seriam conduzidos para uma segunda rotação; e, ergonômicas, pelo fato dos fortes solavancos que seriam gerados ao operador da máquina.

Desta forma, desenvolveu-se uma metodologia para inserir linhas teóricas de plantio sobre o mapa da fazenda.

Simulação das linhas teóricas de plantio (linhas de contenção)

Como a intenção era traçar várias linhas paralelas que representassem as linhas de plantio, foi necessário iniciar o cálculo das linhas a partir de um determinado ponto. Para isso utilizou-se o comando *d.where* para localizar uma coordenada UTM (Universal Transversa de Mercator). O ponto escolhido localizava-se no canto inferior esquerdo do mapa geral da fazenda (Figura 7).

Os valores da coordenada UTM do ponto foram inseridos em planilha eletrônica do *Open Office*. Em seguida, definiram-se as seguintes premissas: as distâncias das linhas teriam que ser maiores ou iguais às do mapa da fazenda; a distância entre as linhas seria de 30 metros; e, os ângulos definidos para o sentido de alinhamento teriam como base o Norte geográfico.

Definiu-se o espaçamento entre as linhas como sendo de 30 metros, pois objetivou-se apenas direcionar o sentido de baldeio do *forwarder*. Esta variável é melhor explicada no item 4.2.3.

Construíram-se linhas com ângulos variando de 15 em 15 graus, a partir de 30 até 150 graus em relação ao Norte, criando-se, desta forma, 9 direções com ângulos diferentes (Figura 15).

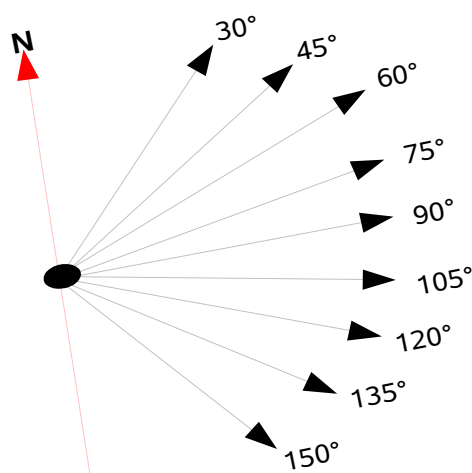


Figura 15 - Ângulos das linhas teóricas de plantio em relação ao N

Para criar uma reta, precisa-se, necessariamente, de no mínimo dois pontos. Sendo assim, com as premissas e os ângulos dos sentidos de alinhamentos definidos, utilizou-se funções trigonométricas (seno e cosseno) para se calcular as coordenadas UTM das extremidades das retas, ou seja, pontos.

Para preencher toda a extensão da fazenda com linhas de plantio teóricas, foram criadas inúmeras retas paralelas para cada ângulo definido, gerando-se 9 arquivos diferentes.

Cada arquivo, contendo diversas coordenadas UTM, foi transformado em um arquivo em formato *txt*, em seguida no GRASS, utilizou-se o comando *v.in.ascii* para transformar o arquivo *txt* em um mapa *vector* contendo objetos do tipo linha (Figura 16).

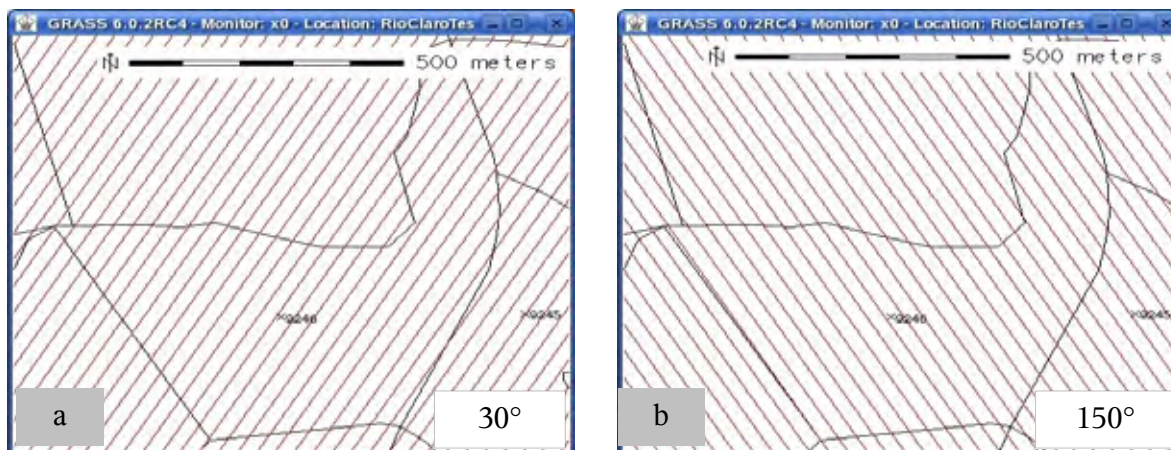


Figura 16 - Linhas teóricas de plantio, com ângulos de 30° (a) e 150° (b) inseridas sobre o mapa da fazenda

A Figura 16 contém uma parte do mapa da fazenda com as linhas teóricas de plantio inseridas, nota-se a diferença de ângulos entre o primeiro (a) e o segundo (b) mapa.

Utilizou-se os comandos *v.category* e *v.to.rast*, para converter os mapas *vector* em mapas *raster*.

Linhas de plantio em nível

Na coleta de informações no local, notou-se que a maioria dos talhões visitados possuía o alinhamento do plantio em nível. Portanto, para se realizar uma simulação do cálculo da DME mais próxima possível da situação real, foram criados mapas que representassem o alinhamento dessas linhas.

Primeiramente, utilizou-se o comando *r.slope.aspect* para gerar um mapa *raster* que representasse a declividade em graus do terreno. Para isso, foi utilizado um mapa *raster* que continha as elevações do terreno da fazenda, gerado a partir de cotas de altitude. Na Figura 17, observa-se, o mapa com as elevações (a) e o mapa transformado com as declividades em graus.

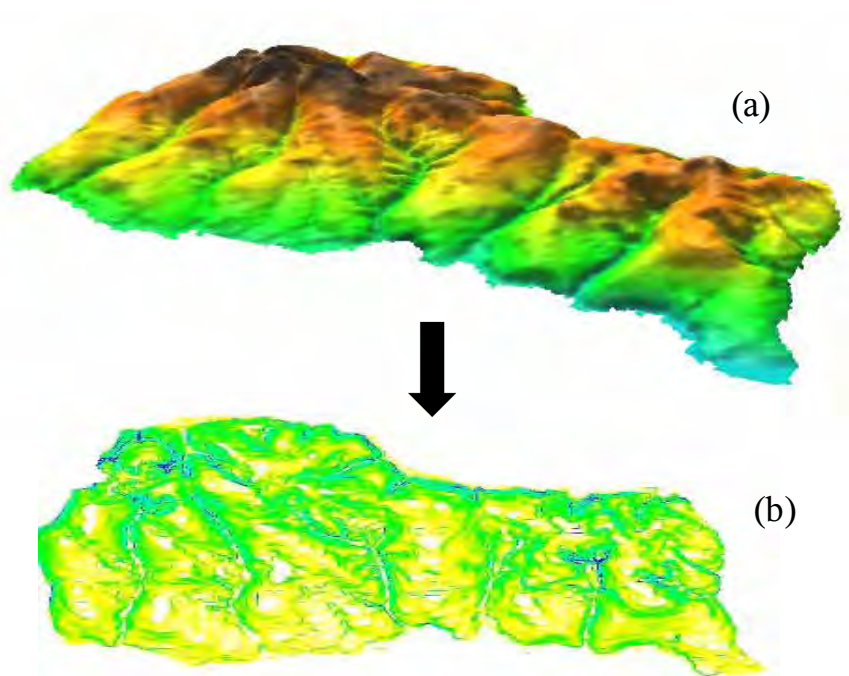


Figura 17 - Mapas com as elevações (a) e as declividades do terreno da fazenda (b)

Em seguida, determinou-se a declividade média do terreno utilizando o comando *r.univar*. Nesse caso, a declividade média foi de $3,23^\circ$. Então, calculou-se a tangente desse ângulo e multiplicou-se por 30, resultando em 1,68. Isso significa que, em uma área com uma distância horizontal de 30 metros e uma inclinação de $3,23^\circ$, a altura do triângulo formado em relação à linha horizontal é de 1,68 metro..

Na seqüência utilizou-se o comando *r.contour* para criar um mapa *vector*. Para isso, foi utilizado o mapa da elevação do terreno inserido o valor de 1,68 na variável *step*. Dessa forma, criou-se um mapa com curvas de níveis com equidistâncias verticais de 1,68 metro, ou seja, quanto maior a inclinação do terreno, maior será o número de curvas de níveis. Na Figura 18, percebe-se a diferença de números de curvas de nível em uma área com topografia relativamente plana (a) e uma área declivosa (b).

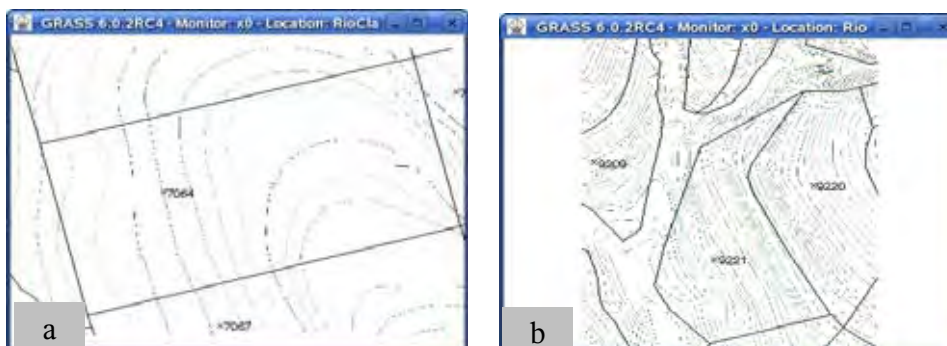


Figura 18 - Curvas de nível em terreno com topografia relativamente plana (a) e declivosa (b)

Por fim, utilizaram-se novamente os comandos *v.category* e *v.to.rast*, para converter os mapas *vector* em mapas *raster*.

Células de contenção

Como já descrito, criou-se mapas com linhas simulando o alinhamento do plantio. Com isso, objetivou-se impedir o deslocamento do *forwarder* sobre essas linhas. Porém, para que esse objetivo fosse atingido, foi necessário transformar as células das linhas, em células nulas. Dessa forma, criou-se uma barreira que impedia a somatória acumulativa das células entre as linhas de plantio, induzindo o comando *r.cost* a calcular somente as células que tivessem valor igual a 1. As células nulas foram chamadas de células de contenção.

Dando seqüência à metodologia descrita no item 4.2.2, para o cálculo da DME do talhão 7053, selecionou-se o mapa *raster*, contendo as linhas com ângulos de 30° graus em relação ao Norte (Figura 19-a). Em seguida, utilizou-se o comando *r.buffer* para aumentar a largura das células dessas linhas (Figura 19-b).

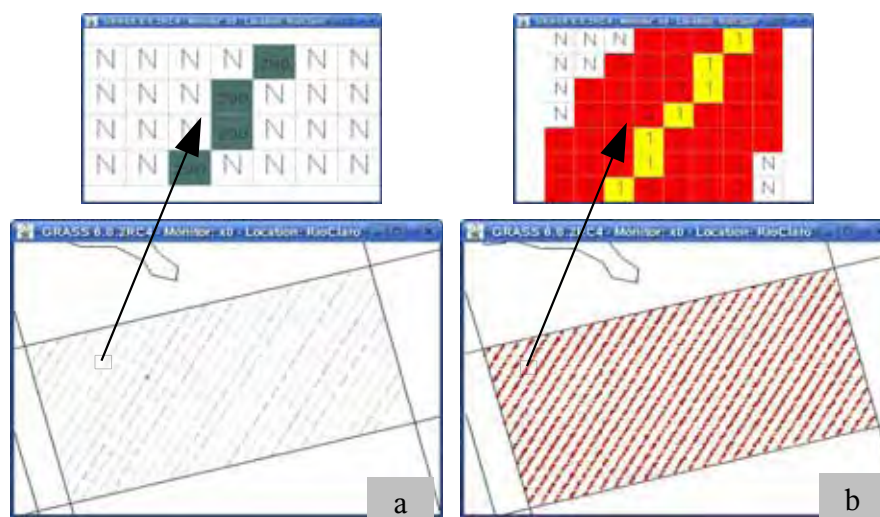


Figura 19 - Células das linhas teóricas de plantio (a) e aumento da largura das células (b)

Na Figura 19, nota-se que, as células das linhas do mapa (a) possuem apenas a largura de uma célula, enquanto que, as células das linhas do mapa (b) possuem uma largura em torno de 7 células. Dessa forma, percebe-se o efeito do comando *r.buffer*.

Em seguida, utilizou-se uma função do *r.mapcalc* para mudar os valores das células que continham valores internos em valores nulos, e, as células que eram nulas em células com valor igual a 1 (Figura 20). Com isso, criou-se uma barreira de contenção, onde as células de um lado da linha não tinham contato com as células do outro lado.

Definiu-se que o *forwarder* poderia passar de uma linha para outra, somente próximo da estrada, sendo assim, utilizou-se o comando *r.grow* para ampliar a largura das linhas pertencentes a bordadura do talhão. Na seqüência, utilizou-se o comando *r.patch* para sobrepor o mapa com as células de contenção sobre o mapa com as linhas de bordadura.

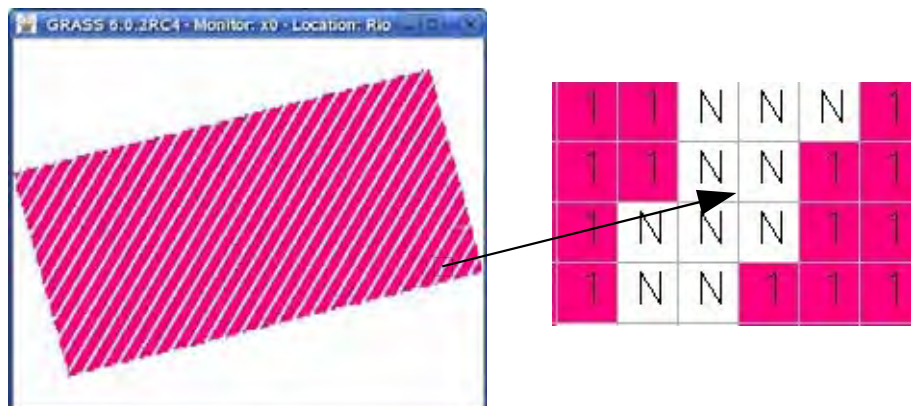


Figura 20 - Células de contenção

Com o mapa pronto, utilizou-se o comando *r.cost* para calcular as distâncias acumulativas a partir da linha inferior do mapa, como foi realizado no item 4.2.2. Esse mapa foi chamado de mapa base (Figura 21).

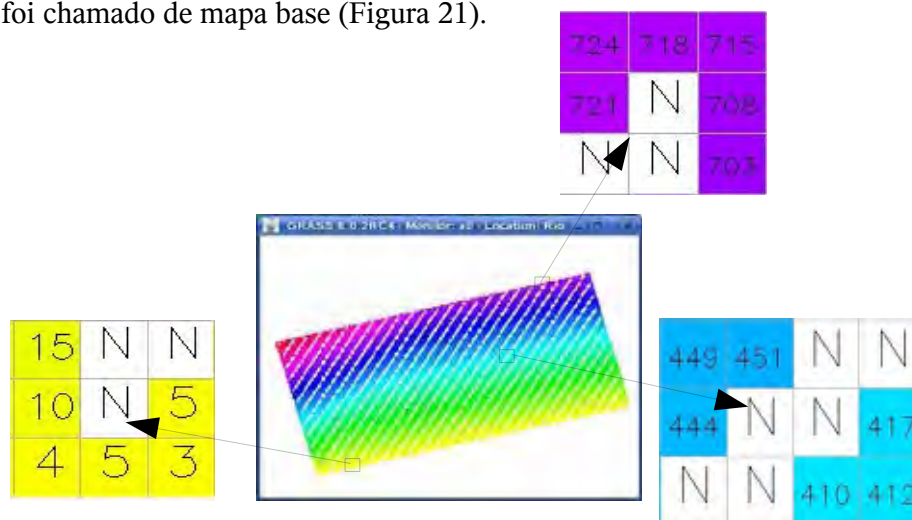


Figura 21 - Mapa com células acumulativas de distância (mapa base)

Na Figura 21, nota-se o funcionamento das células de contenção, percebe-se também, que nas bordaduras do talhão as células possuem contato, possibilitando o cálculo das distâncias acumulativas pelo comando *r.cost*. Assim, o *forwarder* está impedido teoricamente de transitar sobre as linhas de plantio.

Nesse exemplo, a DME foi de 188 metros e a distância máxima

de 376 metros. Se compararmos com os cálculos realizados para a mesma área, porém sem a inserção do sentido de alinhamento de plantio (item 4.2.2), a diferença foi de 61 metros na distância média e de 122 metros na distância máxima. Portanto, existe influência na DME, quando inserida a variável sentido de alinhamento de plantio.

A metodologia desenvolvida foi utilizada para o cálculo da DME para cada estrada (linha) que fazia divisa com os 16 talhões selecionados. Nesse cálculo, utilizaram-se os 10 mapas, construídos com os diversos sentidos de alinhamento de plantio. Os resultados foram inseridos e compilados em planilha eletrônica e no banco de dados do *Open Office* (item 4.2.5).

4.2.4 Otimização da distância média de extração

No decorrer do desenvolvimento da metodologia para se calcular a DME, percebeu-se que era possível não apenas estimá-la, mas também otimizá-la, utilizando recursos avançados disponíveis do GRASS. Dessa forma, utilizou-se o mesmo talhão (7053) dos itens anteriores para exemplificar essa metodologia.

O último procedimento adotado no item 4.2.3 foi o cálculo acumulativo das células de distância a partir da linha inferior do talhão (Figura 21). Como já mencionado, esse procedimento foi repetido para todas as estradas (linhas) que contornavam o talhão. Nesse caso, como o talhão é uma área regular e possui 4 lados, esse cálculo foi repetido 4 vezes, criando-se 4 mapas diferentes (mapas base). Cada um desses mapas diferiam um dos outros por possuírem células de distâncias diferentes. Então, inserindo-se um ponto fixo sobre uma célula no mesmo lugar nos quatro mapas, os valores da célula serão diferentes, sabendo que, quanto mais próximo da linha objeto de cálculo, menor será a distância. Concluiu-se, que sobrepondo os 4 mapas, ter-se-á em uma mesma célula 4 valores de distâncias. Sabendo disso, criou-se uma função no *r.mapcalc* para selecionar qual desses valores na célula possuía a menor distância em relação à linha de bordadura mais próxima, dessa forma, criou-se um novo mapa, chamado de mapa otimizado (Figura 22).

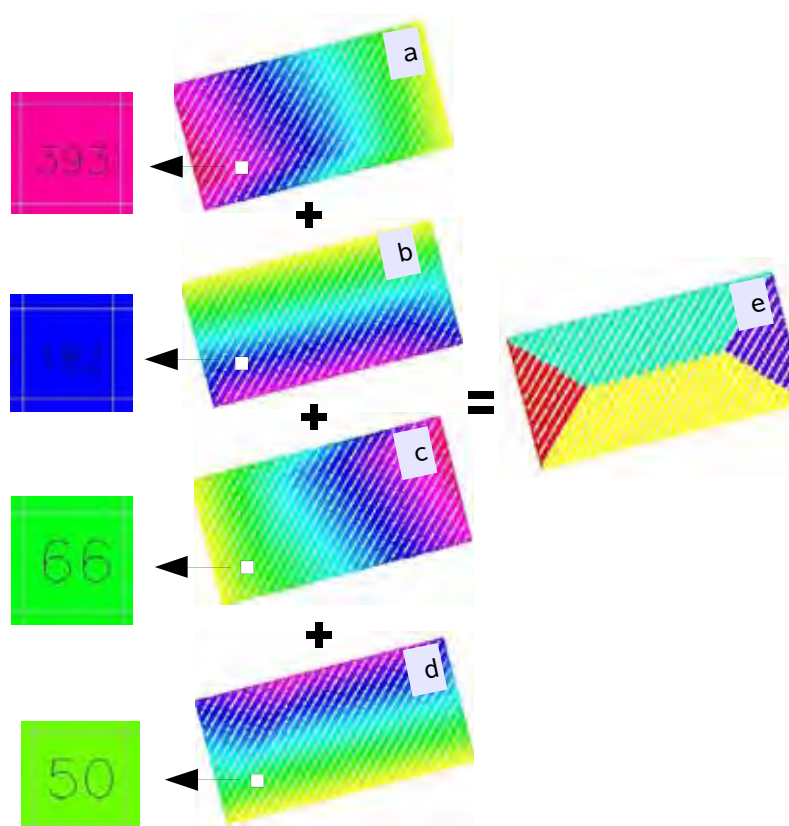


Figura 22 - Mapas do modelo base (a,b,c,d) e mapa otimizado (e)

Nota-se na Figura 22, que para um mesmo ponto, tem-se distâncias diferentes. Como o ponto está alocado mais próximo da linha inferior (mapa d), a célula possui um valor menor em relação às células dos outros mapas (a,b,c). Percebe-se também, que o mapa (a) é o que possui a maior distância, pois a linha objeto de cálculo está localizada longe do ponto alocado.

No mapa (e), nota-se a otimização realizada pela função desenvolvida. As 4 cores demarcam com exatidão o limite ótimo entre as células em relação às linhas. Por exemplo, as células em amarelo estão mais próximas da linha inferior do mapa, portanto, a madeira localizada nessa área deve ser extraída, teoricamente, para essa estrada.

Prosseguindo, para se calcular as novas distâncias médias de extração do mapa otimizado (e), utilizou-se o comando *v.to.vect*, para separar cada parte colorida do mapa, com isso, gerou-se 4 novos mapas, ou seja, o talhão foi

descompartmentalizado. Utiliza-se o comando *v.to.vect* para transformar um mapa *vector* em um mapa *raster*.

Na seqüência, adotaram-se os mesmos passos utilizados no item 4.2.2 para se estimar a DME para cada um dos quatro novos mapas (Figura 23).

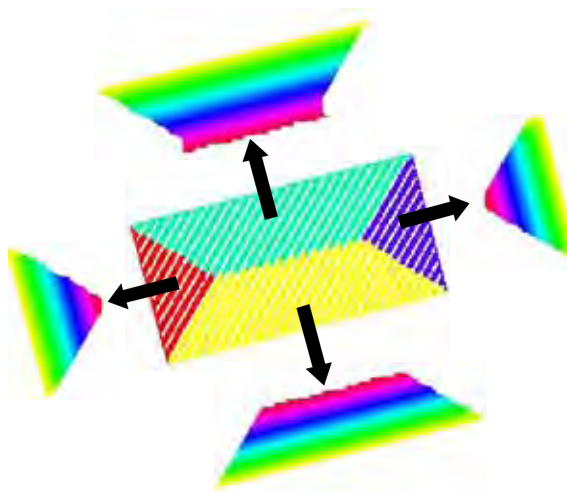


Figura 23 - Mapa otimizado separado

Percebe-se na Figura 23 os mapas sendo separados, nesse caso, o cálculo das células acumulativas de distância já foi realizado, tomando-se como base a linha que forma a estrada em cada um dos mapas separados.

Em seguida, utilizou-se o comando *v.to.db* para calcular o tamanho da área e o comprimento da estrada (linha) para cada mapa que foi separado. Esses dados foram inseridos no cálculo para se estimar a distância teórica percorrida pelo *forwarder*.

Os resultados da DME foram inseridos e compilados na planilha eletrônica e no banco de dados, ambos disponíveis no *Open Office* (item 4.2.5).

Para finalizar, uniu-se os quatro mapas com as respectivas células de distâncias calculadas, formando um último mapa com as exatas delimitações em formato *vector*, mostrando os limites otimizados para o *forwarder* operar, ou seja, o talhão foi compartimentalizado em relação a menor distância de extração (Figura 24).

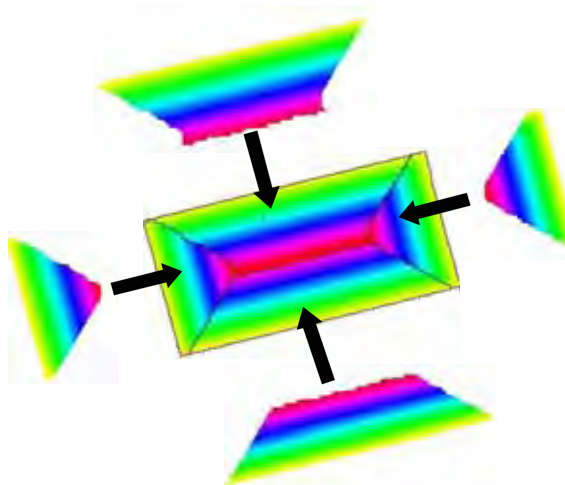


Figura 24 - Mapa otimizado com os limites demarcados em formato *vector*

O procedimento de cálculo desenvolvido para criar o mapa base foi chamado de modelo base, e para criar o mapa otimizado foi chamado de modelo otimizado.

4.2.5 Tratamento dos dados

Foram geradas, para cada uma das 16 áreas selecionadas, 10 mapas com diferentes ângulos de alinhamento de plantio, totalizando 160 mapas para cada modelo. Os resultados gerados por esses modelos foram inseridos em planilha eletrônica. Como as áreas foram divididas em um número “x” de lados para o cálculo da DME, os 10 mapas para cada área selecionada tinham que ter o mesmo número da DME. Realizou-se uma filtragem dos dados, eliminando os mapas que possuíam uma quantidade diferente de DME. Para os mapas do modelo otimizado também foram conferidas as somatórias das áreas dos compartimentos criados no mapa otimizado. Somatórias de uma mesma área selecionada que apresentaram valores diferentes foram eliminadas.

Os dados eliminados foram analisados, e os motivos dos eventuais erros foram encontrados e estão descritos no item (5.8.2).

Importaram-se os dados filtrados para o banco de dados do *Open Office*, realizando-se diversas comparações matemáticas entre os modelos desenvolvidos. O banco de dados é uma importante ferramenta para se trabalhar com grandes quantidades de dados, tornando-se inviável, nesse caso, trabalhar somente com planilhas eletrônicas.

4.2.6 Comparações entre os modelos base e otimizado e os talhões regulares e irregulares

Com o auxílio do banco de dados, a média das DME foi calculada para cada um dos mapas criados por cada modelo. Como cada talhão selecionado possuía um tamanho, obviamente, a DME seria diferente para cada área, impossibilitando a comparação entre elas. Dessa forma, criou-se um coeficiente, dividindo-se a DME pela raiz quadrada da área, eliminando com isso a influência do fator área na distância média.

$$\text{Coeficiente} = \frac{\text{DME}}{\sqrt{\text{area}}} \quad (1)$$

Os resultados foram agrupados e colocados em ordem crescente por talhão, geraram-se dois *rankings* de 1 a 10, um para o modelo otimizado e outro para o modelo base com o menor coeficiente da DME em função do ângulo de alinhamento do plantio.

Foram relacionados os resultados teóricos com os resultados obtidos no campo, identificando-se no *ranking*, qual era o posicionamento do ângulo de alinhamento de plantio adotado pela empresa (ângulo real). Como foram construídos ângulos teóricos de 15° em 15° graus a partir de 30° até 150° graus em relação ao Norte, em alguns casos, o ângulo real não coincidiu com nenhum ângulo teórico. Sendo assim, adotou-se o critério de aproximação, localizando-se qual era o ângulo teórico mais próximo do ângulo real.

Os resultados da 1ª, da 5ª e da 10ª posição do *ranking* foram agrupados, separando-se por talhões regulares e irregulares para cada modelo. O mesmo fez-se para o posicionamento do resultado obtido do ângulo real.

Em seguida, foram inseridos dados no programa estatístico R, criando-se gráficos do tipo *box plot*, para comparar os modelos base e otimizado, bem como as áreas regulares e irregulares.

Os gráficos *box plots* mostram grupos de dados (TUKEY, 1970). É um gráfico simples, que apresenta de forma clara a distribuição dos dados e suas principais características, possibilitando comparar diversos dados simultaneamente (CORREA; GONZÁLEZ, 2002). Cinco valores dos dados são convencionalmente utilizados: os extremos (valores máximo e mínimo), os quartos 25 % e 75 % e a mediana (MCGILL et al., 1978). O gráfico contém um retângulo, onde o eixo vertical tem a mesma escala do conjunto dos dados. A parte superior e inferior do retângulo coincidem com o primeiro e terceiro quartos dos dados. A caixa se divide com um linha horizontal representando a mediana. Os dados extremos (máximo e mínimo) são representados fora do retângulo por uma linha horizontal (Figura 25).

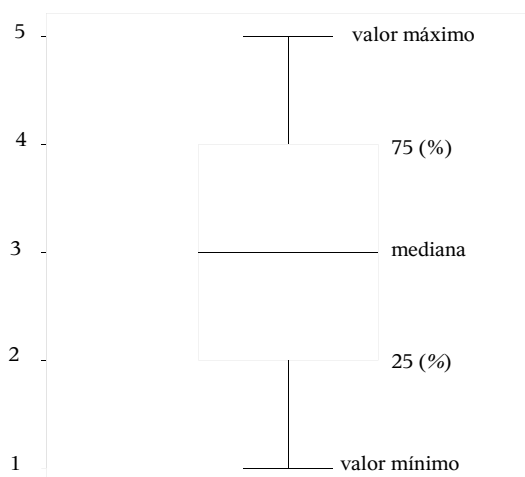


Figura 25 - Gráfico *box plot*

4.2.7 Número de amostras

Para verificar se o número de amostras foi suficiente, utilizou-se a metodologia proposta por Barnes (1977), sendo:

$$n \geq \frac{t^2 + CV^2}{E^2} \quad (2)$$

Onde:

n = número mínimo de amostras;

t = valor de t , para nível de probabilidade desejado e $(n-1)$ graus de liberdade;

CV = coeficiente de variação, em percentagem;

E = erro admissível, em percentagem.

Adotou-se uma significância de 95 %, limitando o erro a, no máximo, 5 %. Realizou-se esse cálculo para os coeficientes calculados no item anterior.

4.2.8 Cálculo do custo de deslocamento do *forwarder* utilizando o modelo otimizado

Desenvolveu-se uma metodologia para estimar o custo de deslocamento do *forwarder*. Utilizou-se os dados descritos no item “máquinas e equipamentos” (pg 33) para simular esses custos.

Sabendo-se o número médio de árvores para preencher uma carga do *forwarder* (125 árvores), multiplicou-se pela distância entre o espaçamento de árvores na linha (2 m), obtendo-se um comprimento de linha de 250 metros para preencher uma carga. Para estimar qual seria o comprimento do ramal para preencher uma carga, dividiu-se o comprimento da linha pelo número de linhas que formavam um ramal de trabalho do *forwarder* (8 linhas), resultando em 30,75 metros.

Em seguida, calculou-se, para cada compartimento (pequenos mapas) de cada mapa otimizado, as seguintes variáveis (Figura 26-a):

- número de linhas de plantio: dividiu-se o comprimento da estrada (linha) pelo

espaçamento de plantio entre linhas (3 m) (Figura 26-b);

- número de ramais: dividiu-se o número de linhas de plantio por 8 (Figura 26-b);
- distância de extração (DE): por se tratar de uma simulação, adotou-se que todos os compartimentos teriam uma forma geométrica regular, multiplicando-se a distância média de extração por 2 (Figura 26-b);
- número de viagens em um ramal: dividiu-se a distância de extração pelo comprimento da área para preencher um carga (Figura 26-c);
- distância total percorrida pelo *forwarder* em um ramal: utilizou-se duas fórmulas de progressão aritmética para calcular essa variável (Figura 26-d) :

$$a_n = a_1 + r (n - 1) \quad (3)$$

Sendo:

- a_n = termo geral
- a_1 = valor do primeiro termo (comprimento do ramal para formar uma carga = 30,75 metros)
- r = razão entre os termos (comprimento do ramal para formar uma carga= 30,75 metros)
- n = número de termos (número de viagens em um ramal)

$$S_n = ((a_1 + a_n)n) / 2 \quad (4)$$

Sendo:

- S_n = somatória dos termos da progressão aritmética (somatória da distância percorrida pelo *forwarder* em um ramal)

Multiplicou-se a somatória S_n por dois, em virtude do *forwarder* percorrer o caminho vazio e carregado.

- distância total percorrida pelo *forwarder* em um compartimento: multiplicou-se o

valor de S_n pelo número total de ramais do compartimento.

A distância total percorrida em um talhão foi obtida somando-se a distância total calculada para cada compartimento. Dividiu-se essa distância por 1.000 para obter a distância em km, e pela velocidade média (8,56 km/h), obtendo-se a quantidade de horas gastas no deslocamento do *forwarder* para cada talhão¹. Multiplicou-se esse valor pelo custo-hora do *forwarder* (R\$ 170,00) e dividiu-se pelo tamanho total da área (ha). Dessa forma, conseguiu-se estimar o custo do deslocamento do *forwarder* por hectare em talhões regulares e irregulares com diversos ângulos de alinhamento de plantio.

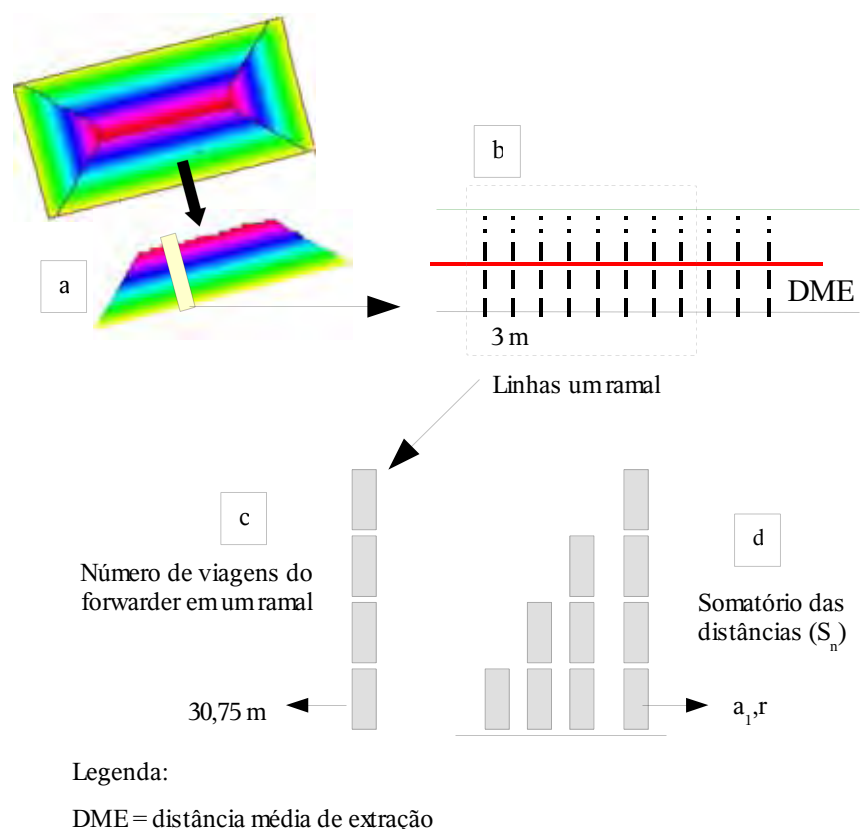


Figura 26 - Exemplificação da metodologia adotada para o cálculo do custo de deslocamento do *forwarder*

¹ Não foi considerado o tempo de formação de carga, pois a mesma independe da distância de extração.

Os dados foram inseridos no programa estatístico R, possibilitando a construção de gráficos tipo *box plot*.

Para visualizar a diferença do custo de deslocamento do *forwarder* em áreas regulares e irregulares também foram criados histogramas com classes de 30 em 30 R \$. Segundo Correa e González (2002), os gráficos em histogramas mostram a frequência das distribuições de uma variável.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características das áreas selecionadas

No levantamento de campo, 4 dos 16 talhões selecionados apresentaram alguma restrição em relação ao descarregamento da madeira na beira da estrada pelo *forwarder*, sendo eles:

- talhões 7067 e 7084: uma das estradas laterais do talhão fazia divisa com área de mata nativa;
- talhões 7053 e 7043: uma das estradas laterais do talhão apresentava uma divisa com corredor de fauna.

Como os quatro talhões pertenciam à área regular, decidiu-se não levar em consideração as restrições dos talhões regulares e irregulares. Os impactos das restrições acima citadas foram avaliados no item 5.8.3.

Com relação ao alinhamento de plantio, apenas um talhão irregular (9289) apresentou dois sentidos de alinhamento. Sendo assim, escolheu-se o que apresentava uma maior área no talhão. Nota-se na Tabela 3, que a empresa adota com maior frequência o plantio em nível, pois 9 dos 16 talhões possuíam um alinhamento de plantio em nível, sendo este mais comum nas áreas regulares do que nas irregulares. Nas demais áreas, o ângulo de plantio teórico mais próximo do alinhamento real foi o de 150° em relação ao Norte, sendo este, mais comum nas áreas irregulares.

Tabela 3 - Sentido de alinhamento de plantio em relação ao Norte

Talhões regulares		Talhões irregulares	
Número	Ângulo do alinhamento	Número	Ângulo do alinhamento
7024	150°	9221	150°
7030	nível	9226	nível
7043	nível	9227	nível
7053	nível	9230	150°
7067	nível	9235	150°
7082	nível	9258	150°
7084	nível	9268	150°
7162	nível	9289	150°

Percebe-se na Figura 27, que o tamanho das talhões regulares é maior que os irregulares. Nota-se também, que a amplitude do tamanho das áreas regulares em relação a mediana é menor que as áreas irregulares, o que era esperado pelo fato das áreas com esta característica apresentarem tamanhos com grande variação, em função de seus contornos irregulares. Pode-se afirmar que, 50 % dos talhões regulares possuem áreas entre 49 e 50 ha e que 50 % dos talhões irregulares possuem áreas entre 25 e 36 ha.

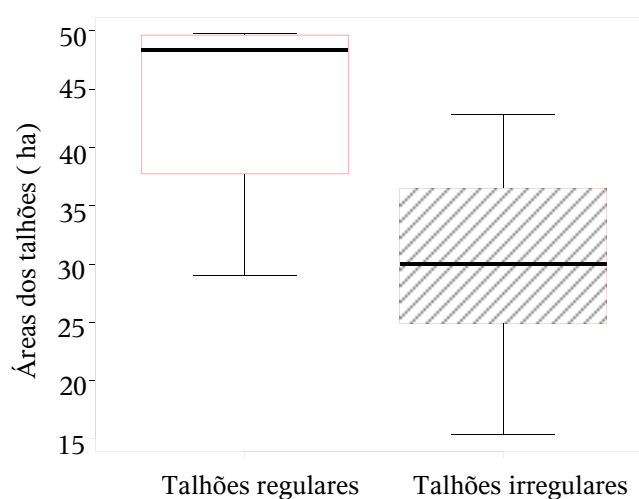


Figura 27 - Diferença de tamanho (ha) das áreas regulares e irregulares

5.2 Processamento dos dados

Para a construção de um mapa final, utilizando o modelo otimizado, foram criados 71 mapas em média, e para o modelo base, a média foi de 45 mapas (levando em consideração que o número mínimo de estradas ao redor do talhão era 4). Sendo assim, para gerar os 160 mapas finais, para cada modelo, foram criados um total de 18.560 mapas (Tabela 4).

Tabela 4 - Quantidade de mapas criados na pesquisa

Modelos	nº de mapas criados em uma rotina de cálculo para se obter um mapa final	nº de talhões	nº de mapas com ângulos de plantio	Total de mapas
Otimizado	71	16	10	11.360
Base	45	16	10	7.200
Total				18.560

Para o computador processar toda a seqüência de comandos desenvolvida para cada modelo, para os 16 talhões com 10 mapas de alinhamento de plantio, gastou-se em torno de 72 horas, resultando em 1.560 linhas de dados. Tornar-se-ia inviável, tecnicamente, realizar esses cálculos há 10 anos atrás, quando os computadores possuíam processadores mais lentos e uma capacidade de memória baixa. Em um futuro próximo, certamente, os computadores levarão alguns segundos para processar todos os cálculos realizados nesta pesquisa.

5.3 Comparação entre os modelos base e otimizado

Observa-se na Figura 28 a diferença entre os modelos base e otimizado através dos coeficientes (distância média de extração sobre a raiz quadrada da área) calculados para os talhões regulares, utilizando 10 ângulos de alinhamento de plantio. Nota-se

que em todas as classificações do *ranking*, o modelo otimizado apresenta coeficientes menores do que o modelo base. Percebe-se também, com exceção do alinhamento de plantio adotado pela empresa, que a amplitude dos dados no modelo otimizado é menor, ficando os mesmos próximos da mediana. No caso da 1ª e 10ª colocação do *ranking*, o maior valor do coeficiente do modelo otimizado, coincide com a linha horizontal que representa o 3º quarto dos dados, mostrando com isso a pequena amplitude dos valores calculados. Houve uma diferença aparente entre os modelos, observa-se que os maiores coeficientes do modelo otimizado possuem valores inferiores em relação aos menores coeficientes do modelo base. Com relação ao alinhamento de plantio adotado pela empresa, nota-se, em ambos os modelos que a mediana dos coeficientes localiza-se próxima da mediana da 5ª colocação do *ranking*, sendo que no modelo otimizado os dados apresentam uma amplitude maior.

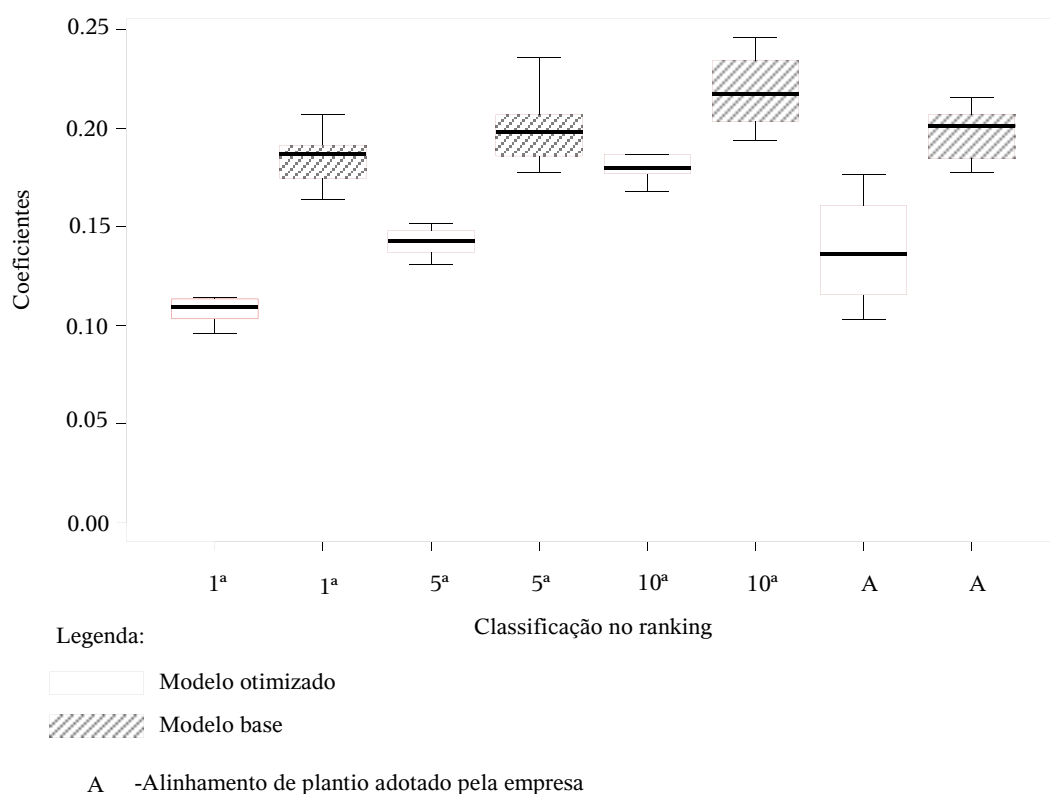


Figura 28 - Classificação dos coeficientes da DME calculados pelos modelos base e otimizado para talhões regulares

Da mesma forma que o item anterior, compararam-se os modelos em talhões irregulares. Percebe-se na Figura 29, que os coeficientes do modelo otimizado são inferiores aos do modelo base, possuindo também, uma menor amplitude na variação dos dados, com exceção dos coeficientes calculados para o alinhamento de plantio adotado pela empresa. Observa-se que a diferença entre os modelos na primeira posição do *ranking* é visível, o maior coeficiente do modelo otimizado foi de 0,09 e o menor coeficiente do modelo base foi de 0,13.

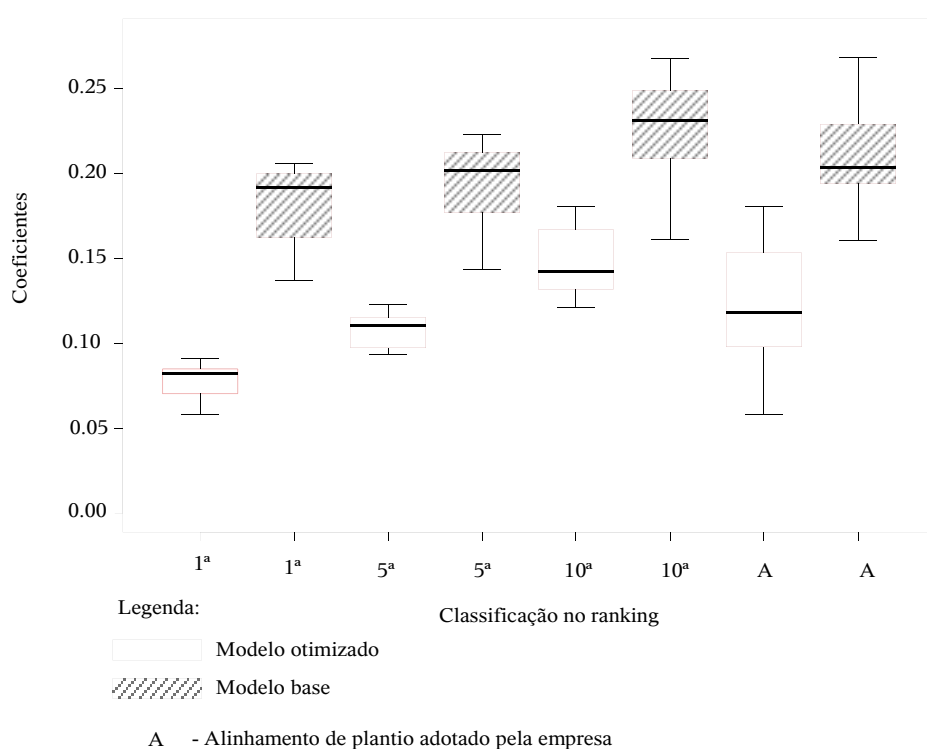


Figura 29 - Classificação dos coeficientes da DME calculado pelos modelos base e otimizado para talhões irregulares

Analisando-se a metodologia de cálculo desenvolvida, para se obter a distância média de extração entre os modelos, torna-se claro o porquê da visível diferença entre os coeficientes. No modelo base, quando a DME é calculada para cada estrada ao redor do talhão, o modelo leva em consideração a área total em cada cálculo, não

identificando os limites operacionais para a extração da madeira, criando dessa forma, distâncias médias sobrepostas não condizentes com uma situação real (Figura 30). O contrário ocorre com o modelo otimizado, que calcula a DME nas áreas compartmentalizadas geradas pelo sistema, com isso a DME fica menor, otimizando a operação de baldeio.

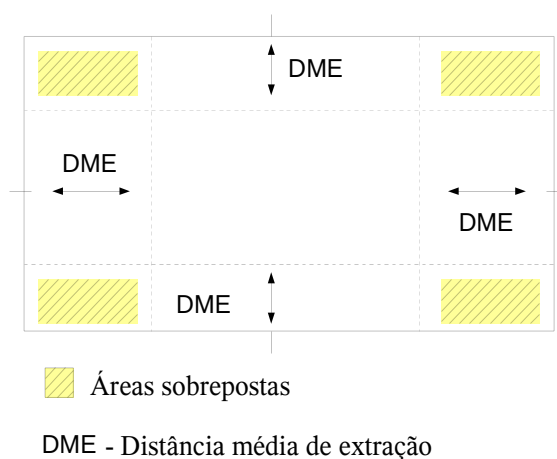


Figura 30 - Sobreposição da distância média de extração utilizando o modelo base

O modelo base poderia ser usado de forma restritiva, somente em talhões regulares em que a madeira fosse empilhada utilizando somente duas estradas em lados opostos, dessa forma, a distância média seria igual para ambas as estradas (Figura 31).

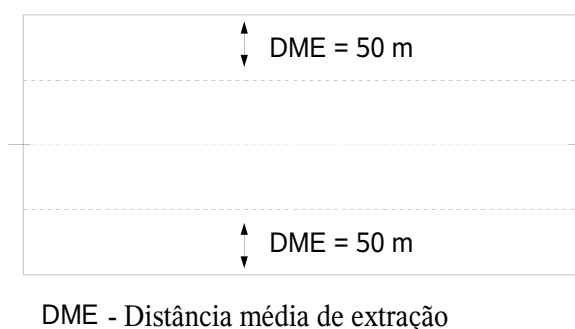


Figura 31 - DME calculada para dois lados do talhão regular

5.4 Comparação entre os talhões regulares e irregulares

Na Figura 32, observa-se a diferença entre os talhões regulares e irregulares através dos coeficientes calculados pelo modelo otimizado. Nota-se nos talhões regulares que a amplitude dos dados é menor, ficando os mesmos próximos da mediana. No caso da 10ª posição do *ranking*, o coeficiente máximo do talhão regular coincidiu com o 3ª quarto dos dados, mostrando a pequena variação entre os coeficientes. No entanto, apesar dos talhões irregulares possuírem uma maior amplitude de dados, percebe-se que em todas as posições do *ranking* os coeficientes são menores em relação as áreas regulares, implicando conseqüentemente, na menor DME. Observa-se também, que na primeira e quinta posição do *ranking*, os valores máximos dos coeficientes dos talhões irregulares são inferiores aos valores mínimos dos coeficientes dos talhões regulares.

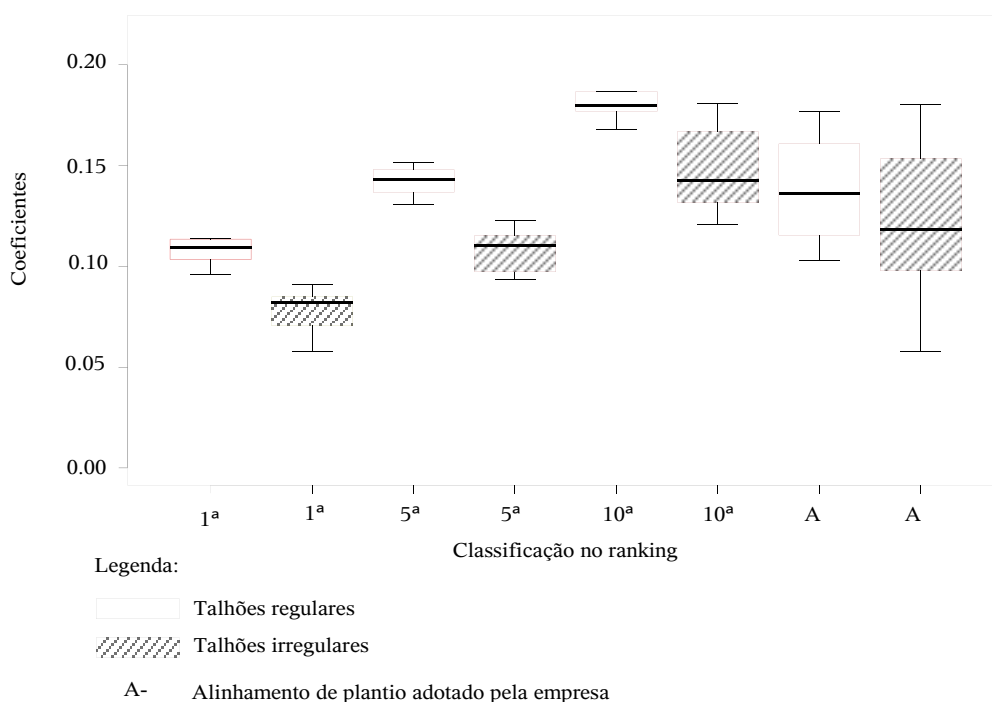


Figura 32 - Classificação dos coeficientes da DME calculados pelo modelo otimizado em talhões regulares e irregulares

Para visualizar de forma mais clara a diferença entre as áreas, calculou-se a porcentagem da diferença entre a média dos coeficientes para cada posição do *ranking*. Com esse cálculo foi possível afirmar que os talhões irregulares apresentaram um coeficiente em torno de 30 % menor que os talhões regulares (Figura 33-a) (31,5 % para a 1ª posição, 28,9% para a 5ª e 31,4% para a 10ª).

Para entender a diferença entre a DME nos talhões, relacionou-se a média dos coeficientes mínimos, a média das áreas dos talhões e a densidade das estradas entre as duas áreas da fazenda (Figura 33). Com isso, tornou-se visível que os talhões regulares possuem uma DME maior, por terem um tamanho médio de talhão 31 % maior que os talhões irregulares e uma densidade de estrada 16 % menor. Segundo Souza (2001), a distância média de extração é inversamente proporcional à densidade de estradas, dessa forma, quanto maior for a densidade de estradas, menor será a DME, fato esse, comprovado por esta pesquisa.

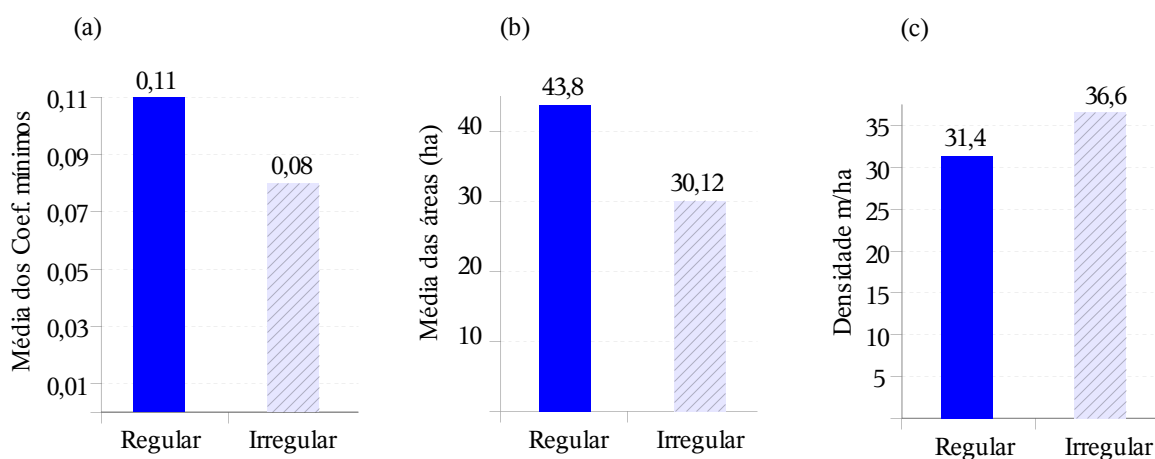


Figura 33 - Comparação entre as áreas regulares e irregulares: (a) média dos coeficientes mínimos, (b) média das áreas em ha e (c) densidade de estradas em $m\ ha^{-1}$.

Uma outra variável que pode influenciar na DME entre os talhões é a compartimentalização do talhão realizada pelo modelo otimizado. Essa divisão do talhão em pequenas sub-áreas pode formar polígonos com formatos distintos entre talhões regulares e irregulares; com isso, por exemplo, um talhão regular que possua uma área igual a de um talhão irregular, provavelmente, terá uma DME diferente.

Na Figura 34, demarcou-se a DME nos diversos compartimentos gerados pelo modelo em um talhão regular e em outro irregular. Ressalta-se que ambos possuem um alinhamento de plantio já otimizado pelo sistema. Percebe-se que o talhão irregular foi compartimentalizado em três partes. O polígono possui uma largura menor, uma altura maior, e um ângulo superior (canto formado pelo encontro das áreas vermelho e amarelo) pequeno. Visualiza-se que a área das cores do talhão irregular é menor que a das mesmas cores do talhão regular, ou seja, apesar de um mesmo tamanho de área, o talhão irregular nesse exemplo possui uma DME menor. Por outro lado, se o talhão regular possuísse uma base maior e uma altura menor, certamente a DME seria menor ou semelhante à do talhão irregular. Desse modo, a DME depende do formato e dimensão do polígono.

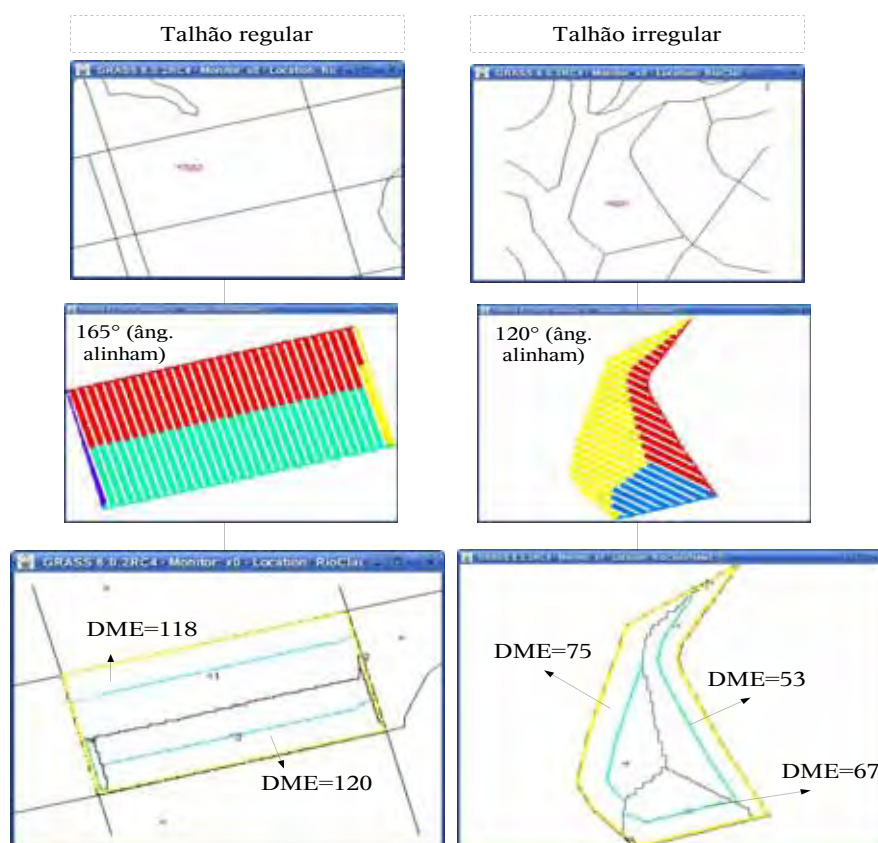


Figura 34 - Distância média de extração demarcada em áreas regulares e irregulares utilizando o modelo otimizado

5.4.1 Número de amostras

A Tabela 5 mostra que o número de amostras necessário para se obter no máximo um erro de 5 % e significância de 95 % entre os coeficientes da DME calculados pelo modelo otimizado para as áreas regulares e irregulares é relativamente baixo. Para os talhões regulares, o número máximo de amostras necessário foi de 2,45. Confirmando, dessa forma a pequena amplitude dos coeficientes já mostrados na Figura 32. Os talhões irregulares apresentaram um número maior de unidades amostrais de 7,58. Logo, o número de unidades amostrais da pesquisa (8 para cada tipo de área), foi suficiente estatisticamente para se obter a significância desejada.

Tabela 5 - Quantidade de amostras necessárias para obtenção dos coeficientes da DME

Áreas	Classificação dos coeficientes	Número de amostras necessárias (n)
Regular	1 ^a	1,5
	5 ^a	1,05
	10 ^a	2,45
Irregular	1 ^a	7,3
	5 ^a	3,94
	10 ^a	7,58

5.5 Simulação do custo do deslocamento do *forwarder*

Na Figura 35, são apresentados os custos de deslocamento do *forwarder* por hectare para os talhões regulares e irregulares amostrados. Notam-se, que os dados da 1^a posição do *ranking* possuem uma pequena amplitude e são mais uniformes, ao contrário dos dados da 10^a posição. Isso significa que existe uma aparente variação de custo entre os sentidos de alinhamento. Observa-se também, que os talhões irregulares apresentam um custo menor e uma variação dos dados maior, em relação aos talhões regulares.

Calculando essa diferença, em porcentagem, entre a média do custo entre as áreas para cada classificação no *ranking*, obteve-se que os talhões irregulares possuem um custo 22,8 % menor na 1ª posição, 29,3 % na 5ª e 24,5 % na 10ª, uma média geral de 25,5 %. Ressalta-se que essa diferença de custo está diretamente ligada à DME, ao tamanho dos talhões e, conseqüentemente, à densidade das estradas. Como já mencionado, os talhões irregulares são menores, e possuem uma maior densidade de estradas em relação aos talhões regulares.

Analisando o alinhamento de plantio definido pela empresa, percebe-se, em relação ao quesito custo de deslocamento do *forwarder*, que a empresa não definiu o alinhamento de plantio mais econômico. Nota-se que a mediana dos dados dos talhões regulares está próxima da mediana da 5ª posição do *ranking*, e a mediana dos talhões irregulares está acima da 5ª e abaixo da 10ª posição. Calculando o custo médio do deslocamento do *forwarder* por hectare, utilizando o sentido de alinhamento de plantio real, obteve-se nos talhões irregulares uma média de 140,99 R\$/ha e nos regulares de 154,98 R\$/ha.

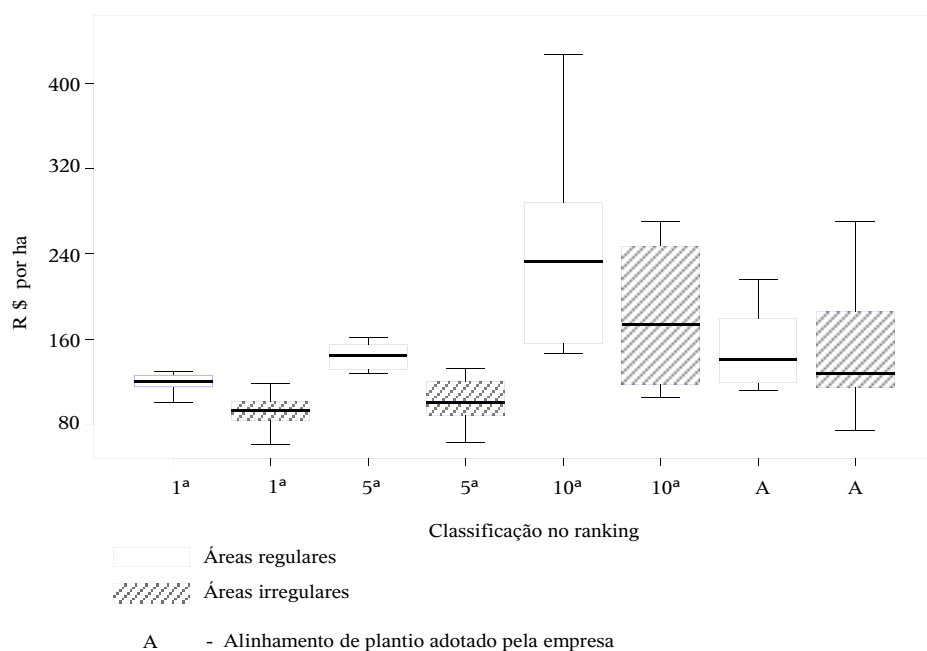


Figura 35 - Custo do deslocamento do *forwarder* em talhões regulares e irregulares

Segundo o estudo realizado por Bantel (2006) na mesma área de pesquisa, para o mesmo sistema de colheita, o *forwarder* investe em média 15 % do seu tempo em deslocamento (vazio e carregado), sabendo-se que o volume de madeira extraído no corte raso é de $270 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e a produtividade média do *forwarder* é de $51,0 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$, resulta-se em 5,29 horas para o *forwarder* baldear toda a madeira em um hectare. Multiplicando-se esse valor pelo custo por hora do *forwarder* de R\$ 170,00, tem-se um custo total por ha de R\$ 899,30. Extraído-se 15 % desse valor, resulta-se em um custo de deslocamento de R\$ 134,89. Portanto, os custos médios de deslocamento encontrados pela simulação desenvolvida, com base nas distâncias médias de extração calculadas pelo modelo otimizado, estão próximos do real.

Em um estudo realizado por Seixas et al. (2003), numa situação de colheita de madeira semelhante a desta pesquisa, ou seja, com a mesma espécie, com o mesmo espaçamento de plantio, com um volume médio de $0,21 \text{ m}^3/\text{árvore}$, com um mesmo sistema de colheita de madeira, e um *forwarder* com uma capacidade de carga semelhante, embora não mencionem a DME praticada, os autores citam que o *forwarder* teve um rendimento médio de $48,0 \text{ m}^3/\text{hora}$, ou seja, $3,0 \text{ m}^3$ a menos que o estudo realizado por Bantel (2006). Adotando-se esse rendimento, o tempo para o *forwarder* baldear a madeira do talhão seria maior, e, logicamente, o custo de deslocamento do *forwarder* por hectare aumentaria.

Uma outra forma de análise dos dados pode ser observada nas Figuras 36 e 37, através de histogramas divididos em classes de R\$ 30,00 em R\$ 30,00 para observar a diferença da frequência dos custos de deslocamento do *forwarder* nos talhões regulares e irregulares. Nos talhões regulares, nota-se que a maior concentração dos dados situa-se entre R\$ 120,00 e R\$ 150,00 por ha, e, em algumas situações o custo se aproxima dos R\$ 430,00 por ha (Figura 36).

Nos talhões irregulares, nota-se que a maior frequência de custo se encontra na classe de R\$ 90,00 a R\$ 120,00 por ha, e a maior, na classe de até R\$ 270,00 a R\$ 300,00 (Figura 37). Logo, nesse caso, os custos são de uma maneira geral, menores em relação aos dos talhões regulares.

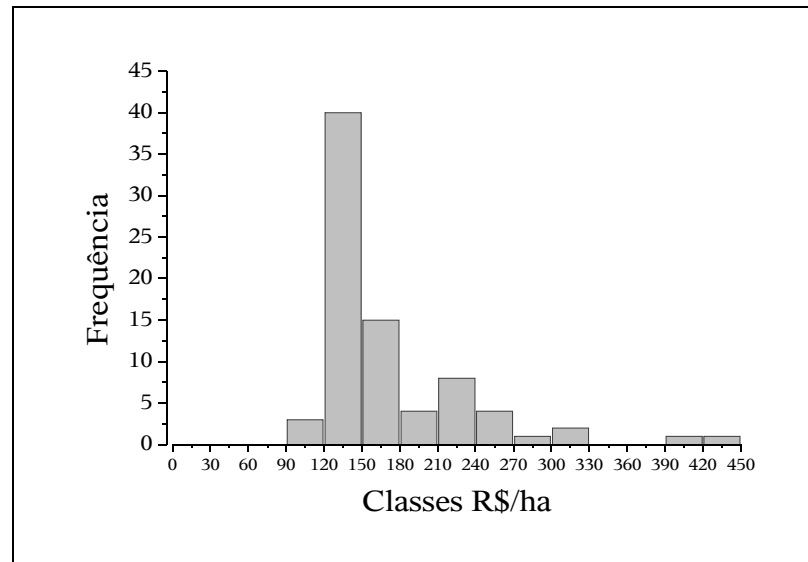


Figura 36 - Custo do deslocamento do *forwarder* em talhões regulares por classes (R\$/ha)

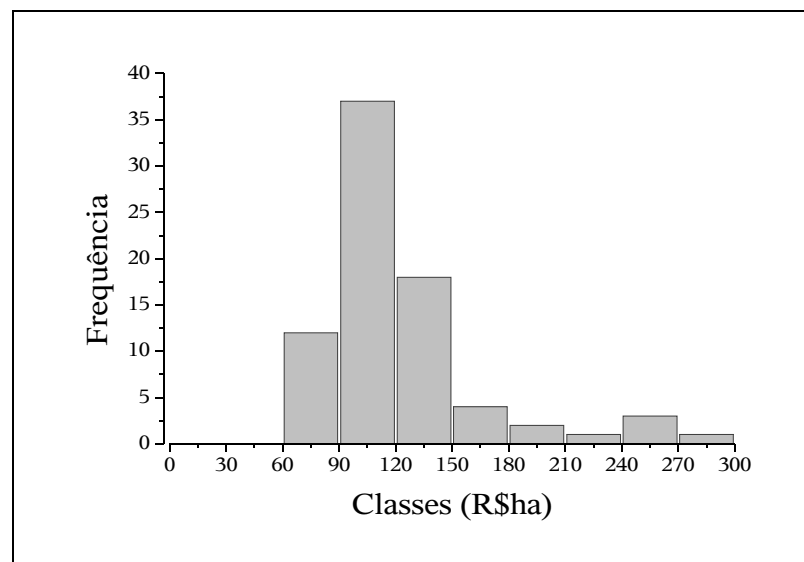


Figura 37- Custo do deslocamento do *forwarder* em talhões irregulares por classes (R\$/ha)

5.6 Classificação do alinhamento de plantio

Com os resultados gerados no cálculo do custo de deslocamento do *forwarder* no item anterior, criou-se a Tabela 6, a qual mostra quais foram os ângulos de alinhamento classificados na primeira e décima posição do *ranking*, além do ângulo de plantio adotado pela empresa. Percebe-se que o ângulo de plantio otimizado (1ª posição do *ranking*) mais freqüente nos talhões regulares é o de 150 graus em relação ao Norte, e o pior é o de 75 graus, sendo que, os demais situam-se próximos dos ângulos mais freqüentes. Nota-se com isso, que não há uma grande variabilidade entre eles. Explica-se esse fato em razão da uniformidade dos formatos dos polígonos, bem como da uniformidade do sentido geográfico, aonde estão situados os talhões. Já nos talhões irregulares, em virtude da diversidade dos formatos dos polígonos e dos diferentes sentidos geográficos da localização dos talhões, observa-se que, tanto o ângulo de alinhamento otimizado, como o pior ângulo, são inconstantes, ou seja, não há um padrão entre eles.

O talhão de número 7053 foi excluído desta tabela, pois o mapa de alinhamento de plantio em nível deste talhão apresentou um problema, o qual, está descrito no item 5.8.2.

Tabela 6 - Relação entre o melhor e o pior ângulo de alinhamento de plantio em função do custo de deslocamento do *forwarder*

Números dos talhões	Ângulo de alinhamento de plantio (graus)		
	Adotado pela empresa	Otimizado (1ª posição)	Pior (10ª posição)
7024	150	150	75
7030	nível	150	75
7043	nível	150	60
7067	nível	150	75
7082	nível	135	75
7084	nível	150	90
7162	nível	120	75
9221	150	120	150
9226	nível	120	nível
9227	nível	135	30
9230	150	75	150
9235	150	45	nível
9258	150	45	75
9268	150	90	30
9289	150	90	150

Para visualizar de forma mais clara a classificação dos ângulos de alinhamento de plantio adotados pela empresa em relação ao *ranking* dos custos de deslocamento do *forwarder*, criou-se a Figura 38. Nota-se que das 16 áreas amostrais, a empresa possui apenas um talhão com o sentido de alinhamento que propicia um menor custo de deslocamento do *forwarder* (talhão 7024). Com exceção dos talhões de números, 7024 7067, 7084 e 9258, classificados em 1^a, 2^a, 5^a e 4^a colocação, respectivamente; os demais situam-se acima da 5^a colocação do *ranking*. Dessa forma, enfatiza-se, que a empresa não adota o sentido de alinhamento de plantio mais viável economicamente em função da distância média de extração. Logicamente, para a definição do sentido de plantio, deve-se levar em consideração também outras variáveis, tais como: aspectos ambientais e custos de perda de solo por erosão por exemplo. Observa-se que a empresa adota com frequência o plantio em nível, principalmente nas áreas regulares, porém, esse sentido de alinhamento classifica-se entre os que possuem os maiores custos de deslocamento. Por outro lado, segundo estudo realizado por Antonangelo (2004), as áreas com plantio em nível, possuem, potencialmente, menores chances de ocorrência de erosão, comparado com áreas normais, ou seja, provavelmente possuem um custo de perda de solo menor.

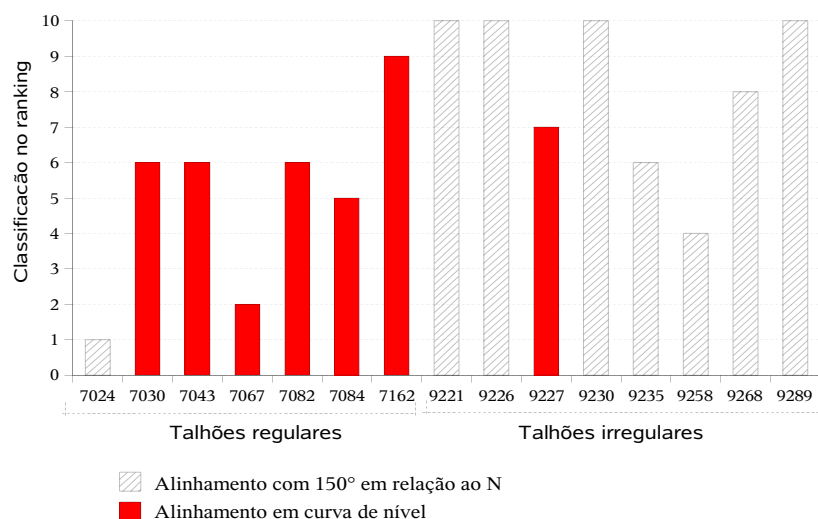


Figura 38 - Classificação no *ranking* do alinhamento de plantio adotado pela empresa em relação ao custo de deslocamento do *forwarder* (R\$/ha)

5.7 Análise dos mapas gerados pelo modelo otimizado

Com o intuito de exemplificar os mapas gerados pelo modelo otimizado, escolheram-se três talhões, sendo: um com formato regular, e os outros dois com formatos irregulares.

Na Figura 39, tem-se quatro mapas com diferentes ângulos de alinhamento de plantio criados para o talhão regular de número 7084, e na Tabela 7 observam-se os resultados gerados por esses mapas.

Nota-se que o mapa A da Figura 39, classificado na 10^a posição do *ranking* possui um custo de deslocamento do *forwarder* de R\$ 222,28 por ha e uma média da DME de 122,5 metros. É visível, nesse caso, que para o *forwarder* extrair a madeira dessa área, seria necessário percorrer uma longa distância, principalmente para o empilhamento da madeira ao longo das laterais direita e esquerda do talhão.

O mapa B da Figura 39 mostra o alinhamento de plantio em nível adotado pela empresa. Classificado na 5^a colocação do *ranking*, esse mapa possui um custo de deslocamento do *forwarder* de R\$ 150,95 por ha, ou seja, um custo 32,09 % a menos que o pior ângulo de alinhamento. O mapa otimizado pelo modelo, dentro das classes de ângulos definidas pela pesquisa é o mapa C. Este mapa apresenta um custo de deslocamento de R\$ 133,69 por ha, e uma média da DME de 78,75 metros, ou seja, comparado com o pior mapa, tem-se uma redução no custo do deslocamento do *forwarder* de 39,85%.

No mapa C da Figura 39, nota-se que as linhas de plantio estão quase paralelas às laterais esquerda e direita do talhão, portanto, provavelmente, as classes de ângulos criadas ainda não foram suficientes para otimizar a distância média de extração. Para testar essa hipótese, acrescentou-se mais uma classe de ângulo, obtendo-se linhas de plantio com um ângulo de 165° em relação ao Norte (mapa D). Observa-se agora, que o custo de deslocamento do *forwarder* foi de R\$ 130,11 por ha, ou seja, R\$ 3,58 por ha a menos que o melhor mapa do *ranking*.

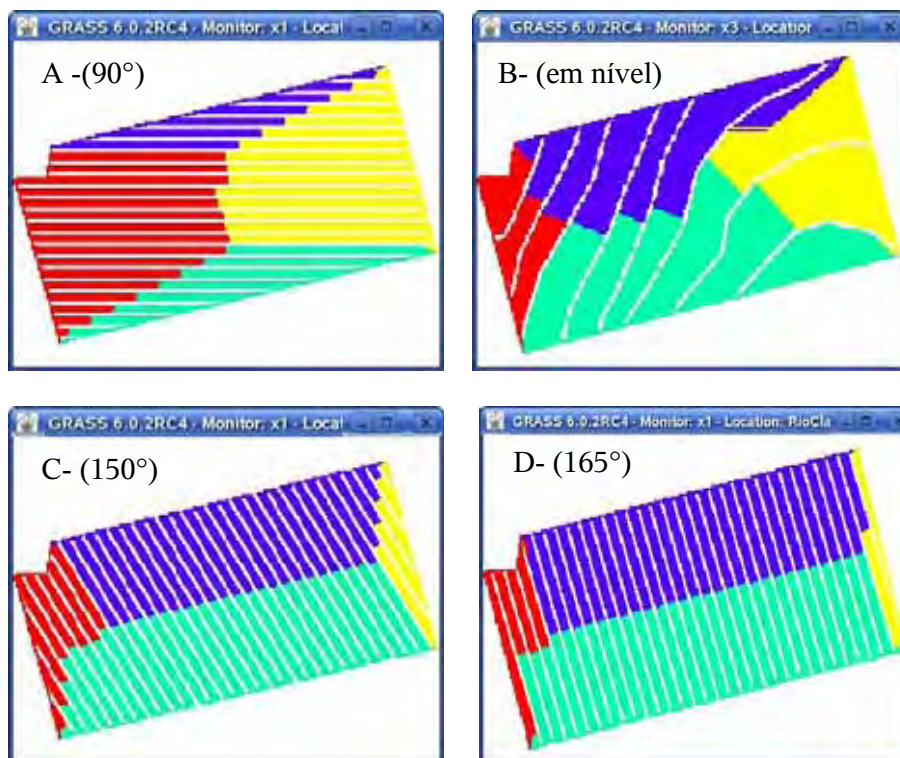


Figura 39 - Mapas otimizados com diversos ângulos de alinhamento de plantio (talhão 7084)

Tabela 7- Informações dos mapas da Figura 37

Mapa	Ângulo de plantio	Classificação ranking	Custo de deslocamento		DME (m)	
			R\$ por ha	dif. %	média (m)	dif. %
A	90°	10 ^a	222,28	-	122,50	-
B	em nível *	5 ^a	150,95	-32,09	101,75	-16,94
C	150°	1 ^a	133,69	-39,85	78,75	-35,71
D	165°	-	130,11	-41,47	56,80	-53,63

* alinhamento de plantio adotado pela empresa.

Apresenta-se na Figura 40 e na Tabela 8, os resultados gerados para o talhão irregular de número 9226. No mapa A, explica-se o funcionamento dos segmentos de linha que são extraídos para o cálculo do modelo, os quais, estão separados em vermelho. Nota-se, que os segmentos de linhas foram criados a partir do encontro com uma outra linha, nesse caso, o encontro das estradas de outros talhões. Com isso, no mapa otimizado criam-se diversas cores, as quais, representam os limites da distância otimizada para cada segmento de linha.

No mapa C da Figura 40 por exemplo, a madeira deverá ser extraída para o lado direito e esquerdo do talhão, sendo que o lado esquerdo possui três cores e o direito apenas uma. Comparando-se os custos e a DME entre os mapas, tem-se que o mapa B, classificado na 10^a posição do *ranking*, com alinhamento de plantio adotado pela empresa (em nível), possui um custo de deslocamento do *forwarder* de R\$ 108,91 por ha e uma DME de 55,00 metros, enquanto o mapa C, classificado em primeiro no *ranking*, possui um custo de R\$ 92,01 por ha, 15,52 % a menos que o mapa B, e uma média da DME de 44,67 metros.

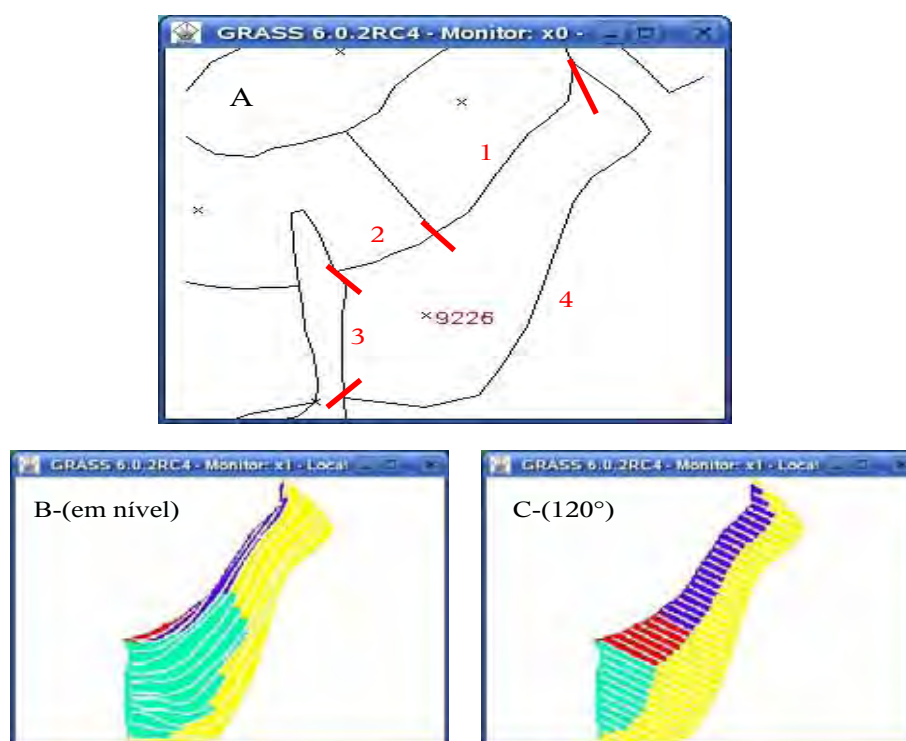


Figura 40 - Mapas otimizados com diversos ângulos de alinhamento de plantio (talhão 9226)

Tabela 8 - Informações dos mapas da Figura 40

Mapa	Ângulo de plantio	Classificação ranking	Custo de deslocamento		DME (m)	
			R\$ por ha	dif. %	média (m)	dif. %
B	em nível *	10 ^a	108,91	-	55,00	-
C	120°	1 ^a	92,01	-15,52	44,67	-18,79

* alinhamento de plantio adotado pela empresa

Na Figura 41 e Tabela 9, mostram-se os resultados criados para o talhão irregular número 9268. Nota-se que o pior ângulo de alinhamento de plantio para esse talhão foi o de 30° em relação ao norte (B). São visíveis as longas distâncias das linhas, principalmente nas áreas com cores amarelo, verde e roxo. Nesse mapa, o custo de deslocamento do *forwarder* foi de R\$ 185,72 por ha. O ângulo de alinhamento de plantio adotado pela empresa, classificado na 8ª posição do *ranking*, foi o de 150° em relação ao Norte, o qual está representado pelo mapa C. Este possui um custo de deslocamento de R\$ 125,08 por ha, ou seja, 32,65 % a menos que o mapa B. O mapa D, representa o melhor ângulo de alinhamento de plantio, em relação ao menor custo de deslocamento do *forwarder*. Apresenta um custo de R\$ 97,96 por ha, ou seja, 47,25 % a menos que o mapa B.

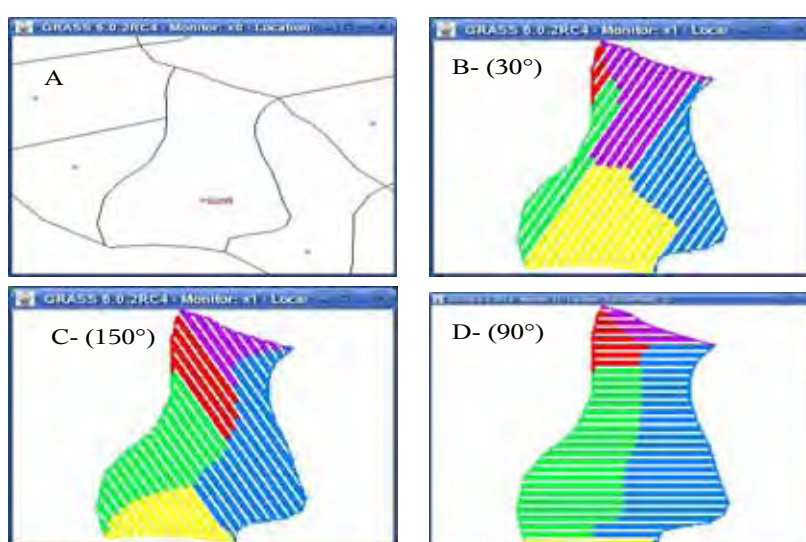


Figura 41- Mapas otimizados com diversos ângulos de alinhamento de plantio (talhão 9268)

Tabela 9 - Informações dos mapas da Figura 41

Mapa	Ângulo de plantio	Classificação ranking	Custo de deslocamento		DME (m)	
			R\$ por ha	dif. %	média (m)	dif. %
B	30°	10 ^a	185,72	-	69,71	-
C	150° *	8 ^a	125,08	-32,65	85,20	22,21
D	90°	1 ^a	97,96	-47,25	56,00	-19,67

* alinhamento de plantio adotado pela empresa

5.8 Considerações sobre o modelo otimizado

5.8.1 Distância entre as linhas teóricas de plantio

Para verificar se a distância de 30 metros entre as linhas teóricas de plantio (linhas de contenção), criadas para direcionar o sentido de baldeio do *forwarder*, poderia influenciar no cálculo da DME, escolheu-se um talhão de forma aleatória e criaram-se linhas de plantio com distâncias de 15 m, 60 m, 90 m e 120 m (Figura 42). Calculou-se a DME e o custo por ha do deslocamento do *forwarder* para essas linhas, e comparou-se com a distância utilizada pela pesquisa (30 m) (Tabela 10). O talhão escolhido foi o de número 7024, e o ângulo de alinhamento escolhido foi o de 30° em relação ao Norte.

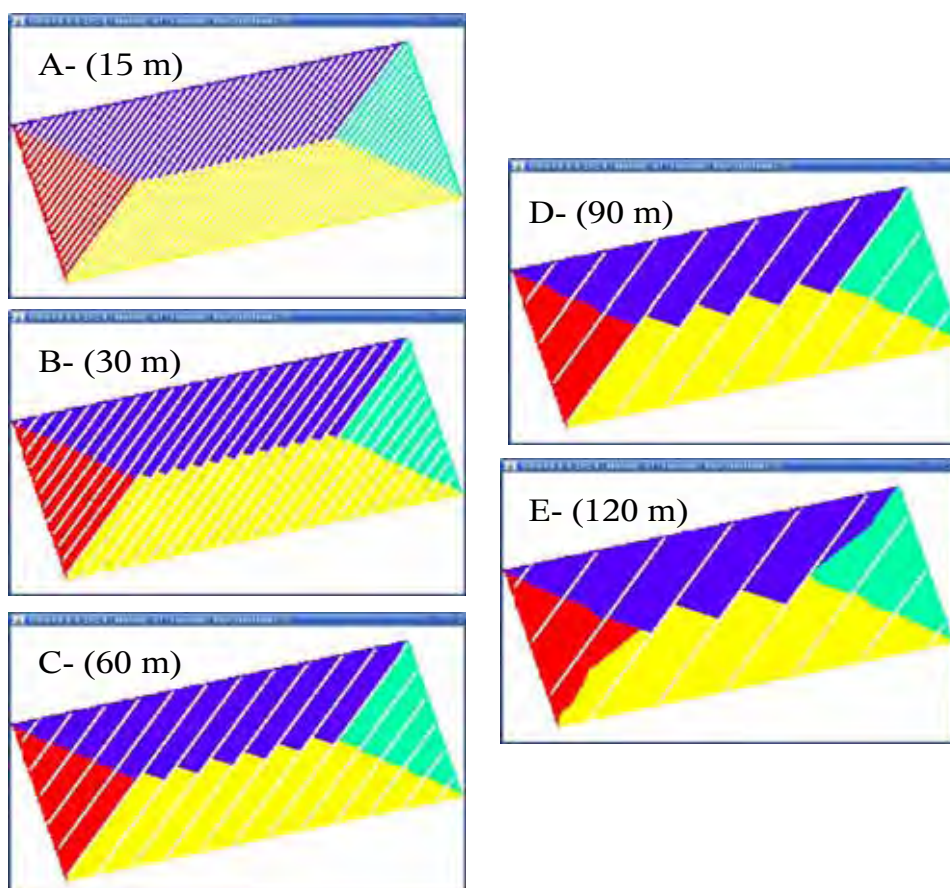


Figura 42 - Diferentes distâncias do alinhamento teórico de plantio

Verifica-se na Figura 42, que entre os mapas A, B e C com linhas de plantio teóricas cujas distâncias são de 15 m, 30 m e 60 m, respectivamente, existem poucas diferenças visíveis na delimitação das distâncias ótimas de deslocamento do *forwarder*. A maior diferença gráfica está no mapa E, cuja distância das linhas teóricas de plantio é de 120 metros. Percebe-se nesse mapa, que as 4 cores delimitadas formam polígonos mais irregulares.

Na Tabela 10, observa-se que a diferença entre o custo de deslocamento do *forwarder* entre as diferentes distâncias das linhas teóricas de plantio é relativamente baixa. Para as distâncias de 15 m, 60 m e 90 m, a diferença em porcentagem não ultrapassa 1 % em relação à distância de 30 metros adotada pela pesquisa. O mesmo ocorre para a média da DME, ou seja, a diferença entre as distâncias é quase nula, com exceção para as linhas de plantio com 120 m de distância, que apresentaram diferença no custo de deslocamento de 2,48% e na DME de 3,84 % maiores. Dessa forma, pode-se dizer que a amplitude entre as distâncias das linhas teóricas de plantio pode variar de 15 m a 90 metros, sem influenciar no cálculo da DME e no custo de deslocamento do *forwarder*.

Tabela 10 – DME e custos de deslocamento do *forwarder* para diversas distâncias entre as linhas teóricas de plantio (ângulo de plantio de 30°)

Distância entre as linhas teóricas de plantio (m)	Custo de deslocamento		DME	
	R\$ por ha	dif. %	média (m)	dif. %
30*	141,25	-	96,4	-
15	140,71	-0,38	96,6	0,21
60	141,52	0,19	96,4	0
90	141,94	0,49	96,5	0,1
120	144,75	2,48	100,1	3,84

* distância utilizada na pesquisa.

5.8.2 Problemas e limitações do modelo otimizado

Alguns problemas foram encontrados durante a geração dos mapas com o uso do modelo otimizado, os quais estão descritos nos itens a seguir.

Vazamento das células de contenção

Na fase de teste do modelo otimizado percebeu-se que a largura das células de contenção não foi suficiente para barrar o contato das células entre as linhas de plantio teóricas, fazendo com que o comando *r.cost* calculasse a distância acumulada entre as células de forma errônea (Figura 43).

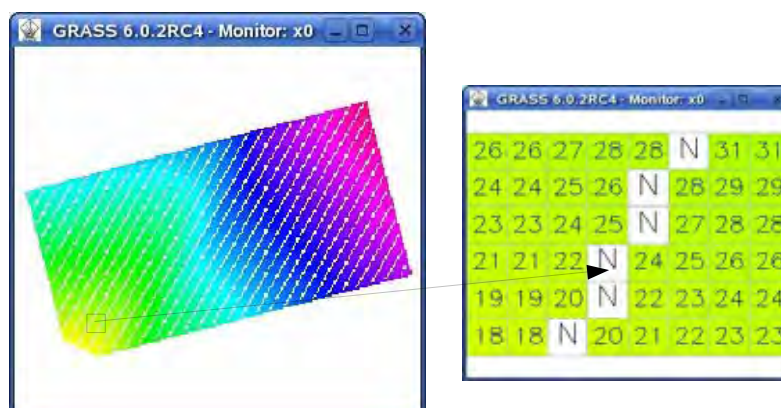


Figura 43 - Vazamento das células de contenção

Observa-se na Figura 43, que no contato entre as células vizinhas em relação à linha com valores nulos, não ocorreu o funcionamento da barreira de contenção. Para solucionar esse problema, aumentou-se a abrangência do comando *r.buffer*, criando-se linhas de contenção mais largas, evitando com isso, o contato das células vizinhas.

Áreas isoladas

Em alguns talhões, na fase de sobreposição dos mapas do

modelo base para formar o mapa otimizado, criaram-se áreas isoladas com tamanhos de uma ou duas células. Observaram-se essas pequenas áreas, somente após a análise detalhada do cálculo da DME, realizada para cada compartimento do mapa otimizado. Notou-se que em alguns talhões existiam áreas e DME nulas, ocasionando uma inconsistência nos resultados. As áreas isoladas ficaram visíveis quando uniram-se os compartimentos novamente, criando-se o mapa com os limites demarcados em formato *vector*. Com o auxílio do comando *d.zoom* visualizou-se tais áreas formadas.

Na Figura 44, nota-se as áreas isoladas criadas no talhão irregular de número 9230, com ângulo de alinhamento de plantio de 150° em relação ao Norte. Dentro do círculo vermelho percebe-se que existem dois pontos demarcados, os quais, denotam as áreas isoladas, visíveis no detalhe.

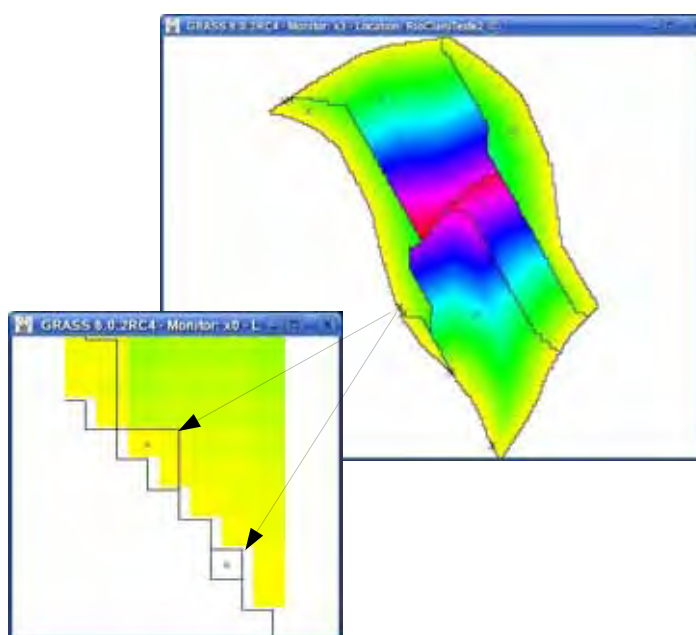


Figura 44 - Detalhe das áreas isoladas

Infelizmente, não encontrou-se uma solução no GRASS para reparar esse erro. Porém, através do banco de dados do *open office*, realizou-se uma filtragem dos dados gerados pelo modelo otimizado, eliminando-se todos os resultados que possuíam valores de área igual ou próximo de zero.

Alinhamento de plantio em nível

Os maiores problemas foram encontrados no alinhamento de plantio teórico em nível, os quais estão descritos nos itens a seguir:

Área com topografia acentuada

Em talhões com topografias acentuadas, percebeu-se que quando utilizado o comando *r.buffer*, para aumentar a largura das linhas de contenção (linhas teóricas de plantio), em alguns casos, essas linhas, aparentemente, uniam-se em virtude do pequeno espaçamento horizontal entre elas, criando-se áreas internas irregulares no talhão, impossibilitando, com isso, um cálculo preciso da DME (Figura 45).

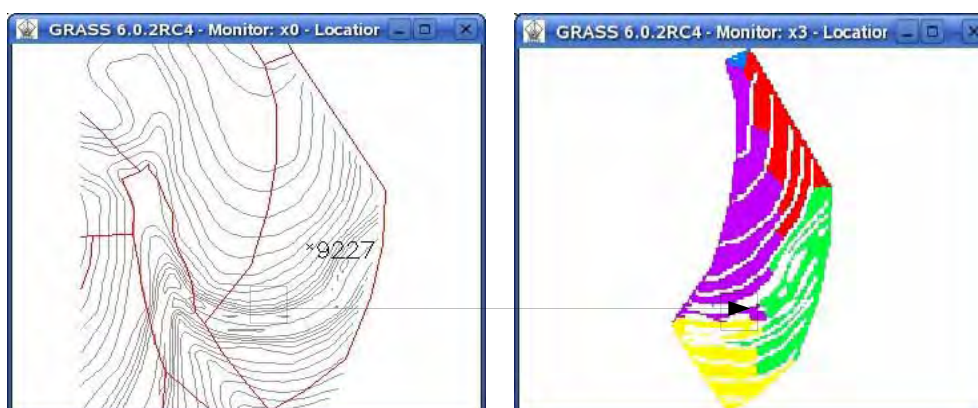


Figura 45 - Alinhamento de curvas de níveis em áreas com topografias acentuadas

Observa-se no talhão irregular de número 9227 (Figura 45), as linhas de plantio em nível. Nota-se que na parte central do talhão, a declividade é mais acentuada, criando-se áreas irregulares quando construído o mapa otimizado.

Nesse caso, resolveu-se o problema aumentando a distância entre as linhas, de modo que, ao invés de se utilizar uma distância de 30 m, no cálculo da altura do triângulo em relação a linha horizontal, utilizou-se 50 m.

Ilha com célula nula

Observou-se no talhão regular de número 7053, que as linhas de plantio em nível formaram uma ilha com valores nulos no mapa otimizado (Figura 46). Com isso, obteve-se uma inconsistência na somatória das áreas dos compartimentos, influenciando diretamente no cálculo da DME, e, conseqüentemente, no custo de deslocamento do *forwarder*. Dessa forma, o único mapa com alinhamento de plantio em nível, que foi eliminado, tratou-se do talhão 7053.

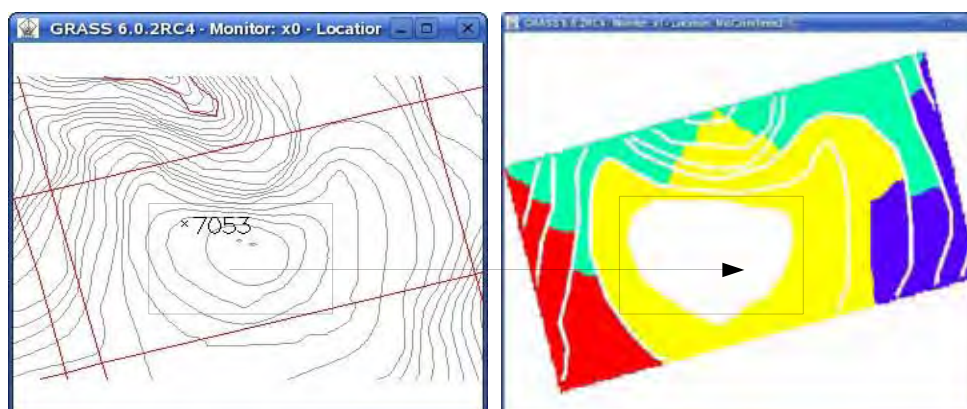


Figura 46 - Ilha formada com as curvas de níveis

5.8.3 Flexibilidade do modelo otimizado

Testou-se a flexibilidade do modelo otimizado em relação ao cálculo da DME, em talhões, que apresentaram restrições para o descarregamento da madeira na beira da estrada. Escolheu-se o talhão de número 7067, aonde uma das estradas do lado direito do talhão fazia divisa com uma área de preservação permanente, impossibilitando o depósito da madeira pelo *forwarder* (Figura 47 -A). Sabendo-se disso, eliminou-se, manualmente, todos os segmentos de linha dessa divisa (mapa B), criando-se um mapa somente com as estradas sem restrições, em seguida, executou-se a seqüência de comandos do modelo otimizado, gerando-se o mapa D.

Na Figura 47, observa-se a diferença entre o mapa criado

sem restrições (mapa C) e o mapa criado com restrições (mapa D). Nota-se que o mapa C, foi dividido em 7 segmentos de linha, formando 7 compartimentos, sendo: 3 maiores, em cores azuis e 4 menores, com cores variadas. Já, o mapa D foi dividido em 3 segmentos de linha, conseqüentemente, formando 3 compartimentos. Percebe-se nesse mapa, que não existem os 4 compartimentos menores criados no mapa C, ou seja, a madeira localizada próxima da área de preservação permanente deverá, teoricamente, ser extraída para as estradas do compartimento vermelho ou azul (mapa D).

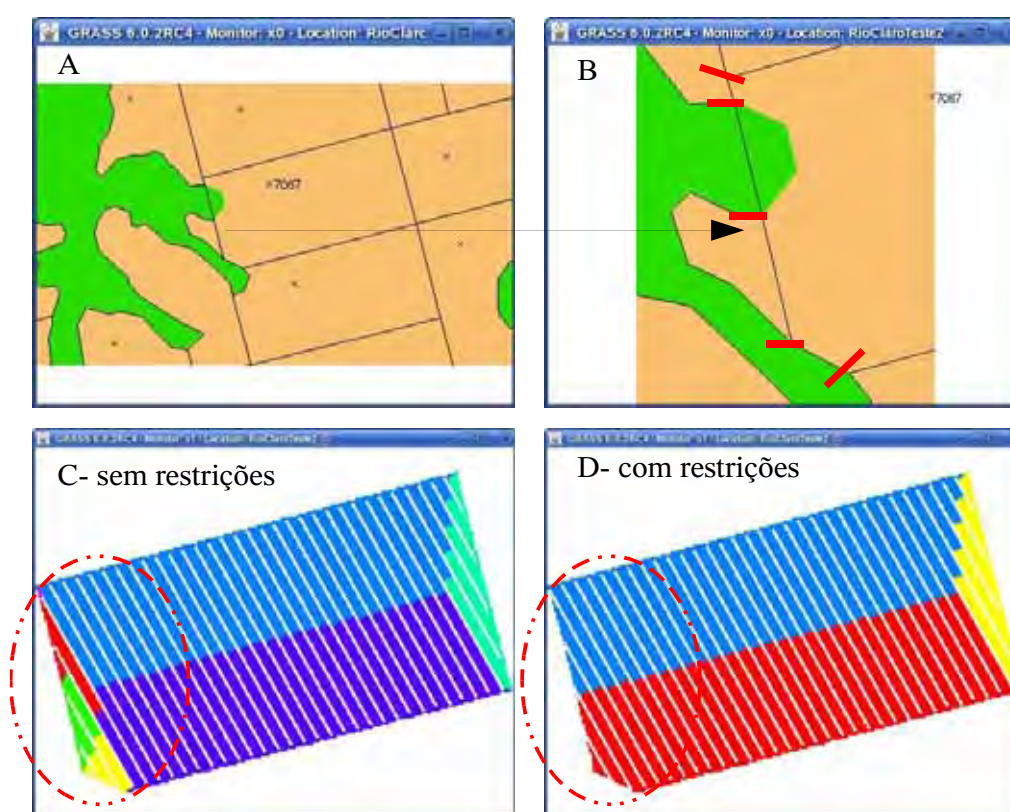


Figura 47 - Mapas otimizados com e sem restrições na formação de pátio de madeira

A Tabela 11 mostra os resultados dos mapas apresentados na Figura 47. Nota-se, que o custo de deslocamento do *forwarder* por hectare, sem levar em consideração nenhuma restrição das estradas, é menor, quando comparado com o mesmo talhão (7067) com restrição. Explica-se essa diferença, pois o *forwarder* precisaria se deslocar mais para baldear a madeira que estaria localizada próxima da área de preservação permanente.

Tabela 11 - Comparação do custo de deslocamento do *forwarder*, com e sem restrições, na formação do pátio de madeira

Ângulo teórico de plantio	Restrições no talhão	Custo de deslocamento do <i>forwarder</i> R\$/ha
150°	sem	129,47
150°	com *	133,33

*Estrada lateral com divisa com área de preservação permanente.

5.8.4 Potencialidade do modelo otimizado

Segundo Ribeiro (2002), os dados vetoriais são apropriados para mostrar com exatidão a localização, os limites e as formas de feições geográficas discretas. Sabendo-se disso, e, como já mencionado na metodologia, a delimitação otimizada do mapa *raster* (mapa otimizado) foi convertida em um mapa *vector*, mostrando com detalhes os limites ótimos de deslocamento do *forwarder* dentro do talhão.

Para exemplificar, observa-se na Figura 48, um talhão com formato irregular e com sentido das linhas de plantio com 30° em relação ao Norte. Nota-se os limites ótimos de deslocamento demarcados em formato *raster* (mapa B) e em formato *vector* (mapa C). Percebe-se que o mapa *vector* marca com exatidão os limites internos no talhão.

Os limites geográficos otimizados do mapa *vector* podem ser transformados em coordenadas UTM, as quais, podem ser inseridas em um aparelho receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global). Instalando-se um sistema com antena receptora de sinal de satélite no *forwarder*, seria possível, o operador da máquina se deslocar com precisão até os limites ótimos calculados pelo modelo otimizado. Com isso, se realizaria uma colheita de precisão.

Segundo Ribeiro (2002), a integração dos dados, obtida via Sistemas de Posicionamento Global Diferencial com o SIG permite a manipulação e as análises necessárias para a geração de mapas digitais, que serão utilizados para orientação dos equipamentos de Tecnologia de Taxas Variáveis no campo. Essa tecnologia oferece a possibilidade de aplicação de insumos, de maneira a maximizar o lucro, e minimizar a aplicação de insumos.

Seixas et al. (2003), realizaram um estudo instalando um aparelho GPS, modelo Trimble Pro XL, no *forwarder*, para determinar as rotas traçadas pelo mesmo. Segundo os autores, a aplicação do GPS para o acompanhamento do tráfego de máquinas de colheita de madeira mostrou-se promissora. Comentam também, que existem várias possibilidades de uso do GPS com relação à mecanização florestal e à colheita de madeira, como, por exemplo, o apoio ao operador de *harvester* com o uso de mapa digital e GPS, para movimentar-se dentro do talhão. Com isso o operador conseguiria visualizar os limites pré-definidos para o talhão, tais como: as divisas do talhão e as áreas de preservação permanente, por exemplo. Essa tecnologia poderia ser adaptada para o modelo otimizado desenvolvido.

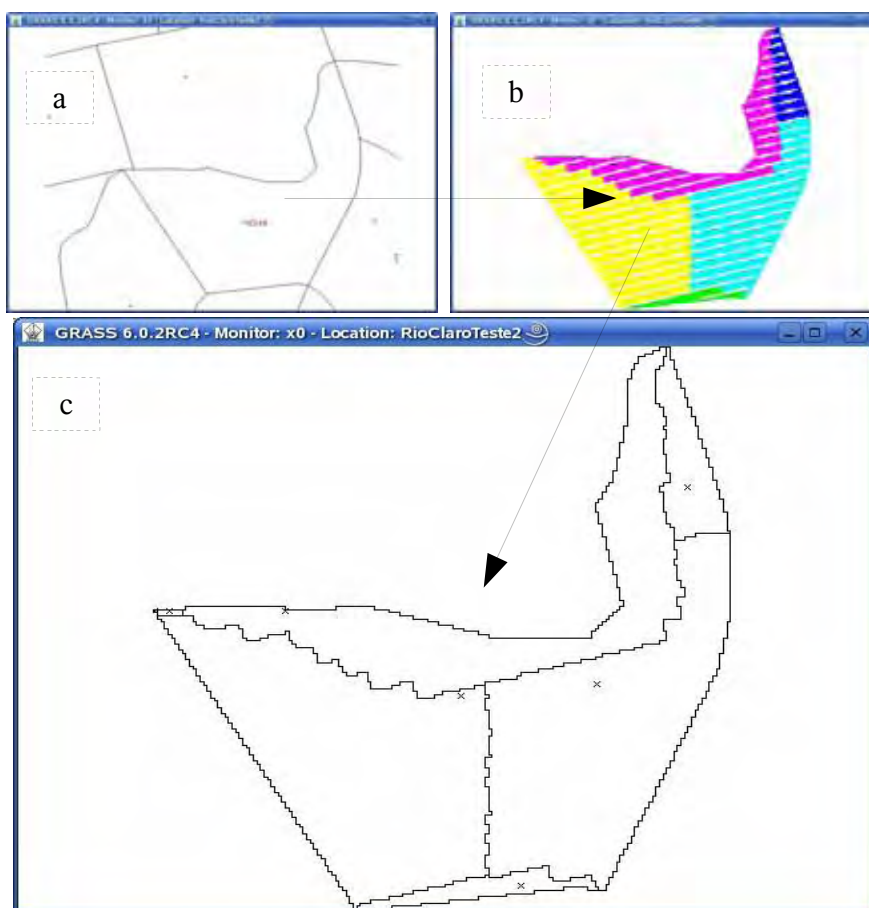


Figura 48 - Demonstração da delimitação ótima de deslocamento do *forwarder* em formato *raster* (b) e *vector* (c)

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nesse trabalho, pode-se concluir que:

- Foi possível utilizar o software livre GRASS 6.0, através de uma seqüência de comandos, para estimar a distância média de extração de madeira com o *forwarder*, tanto em talhões com formato regular como irregular;
- O modelo base desenvolvido mostrou-se ineficaz para o cálculo da DME em áreas que possuam mais de duas estradas sem restrições para o empilhamento da madeira;
- O modelo otimizado mostrou-se eficaz para o cálculo da DME. Assim, foi possível otimiza-lá, compartimentalizando os talhões;
- O modelo otimizado permitiu definir o sentido de alinhamento de plantio ótimo, em função da menor DME, não considerando, contudo, as implicações do relevo;
- O sentido do ângulo do alinhamento de plantio influenciou no cálculo da DME. A diferença entre o pior e o melhor sentido de alinhamento, tanto nos talhões regulares como nos irregulares, foi visível;
- A maioria dos ângulos de alinhamento de plantio adotados pela empresa não são os mais econômicos, quando relacionados com a DME;
- O sentido de alinhamento de plantio que apresentou os maiores custos de

deslocamento do *forwarder* foi o alinhamento em nível;

- Os talhões irregulares amostrados apresentaram menores custos de deslocamento do *forwarder* por ha em relação aos talhões regulares;
- Além do tamanho dos talhões e da densidade das estradas, o formato do polígono do talhão influenciou na DME;
- O número de classes de ângulos de linhas plantio definidos pela pesquisa (10) não foi suficiente para otimizar, com 100 % de eficácia, a DME. No caso das áreas regulares, seria necessário adicionar mais uma classe de ângulo;
- A distância de 30 m, adotada entre as linhas teóricas de plantio, foi suficiente para direcionar o sentido de tráfego do *forwarder*, não influenciando no custo de deslocamento por ha nem na DME calculadas pelo modelo otimizado;
- As principais limitações do modelo otimizado foram as linhas teóricas de plantio em nível, principalmente nas áreas que apresentaram uma topografia acentuada;
- A possibilidade de eliminação de segmentos de linha (estradas), que porventura sejam restritivas à formação do pátio de madeira, flexibiliza o uso do modelo otimizado para diversas situações convencionais nas áreas florestais, tais como: eliminação de estradas sem condições de transporte, com declive acentuado e em divisas com áreas de preservação permanente.

7 RECOMENDAÇÕES

A metodologia de cálculo desenvolvida nessa pesquisa fornece informações importantes, que podem auxiliar no microplanejamento florestal operacional para as empresas florestais. Porém, para validar essa metodologia de cálculo, e para mensurar o possível ganho do modelo teórico desenvolvido, sugere-se um estudo prático, com o intuito de comparar a colheita de madeira efetuada de forma tradicional, ou seja, não se conhecendo os limites ótimos de distância no talhão, com a colheita de precisão, a qual utiliza os mapas com os limites ótimos de distância. Para isso, recomenda-se, também, desenvolver uma metodologia para inserir as coordenadas UTM dos mapas com limites ótimos no GPS, instalando este no *forwarder*, para facilitar a sua movimentação pelo operador.

Seria interessante, criar classes de ângulos de direcionamento do plantio em escalas menores (10 em 10 graus), com o intuito de otimizar ainda mais o modelo desenvolvido.

Sugere-se um estudo de viabilidade econômica e ambiental, para mensurar a viabilidade de troca do ângulo de alinhamento de plantio adotado pela empresa para as próximas rotações.

Recomenda-se, também, que sejam efetuadas mais pesquisas no sentido de indicar os melhores alinhamentos de plantio, relacionado-os com o micro relevo e o tipo de solo dos talhões, integrando as práticas da silvicultura de precisão.

8 REFERÊNCIAS

ANAYA, H; CRISTHIANSEN, P. **Aprovechamiento Forestal: análisis de apeo y transporte**. San José: IICA, 1986. 246p.

ANTONANGELO, A. **Avaliação do sistema de informações geográficas GRASS para predição dos riscos de erosão em estradas de uso florestal**. Botucatu, 2004. 100 p
Doutorado (Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

ARAÚJO, L. O. C.; GRILO, L. M.; SOUZA, U. E. L.; MELHADO, S. O microplanejamento do serviço de concretagem: análise e aplicação das ferramentas da qualidade. Fortaleza, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DE QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO NO AMBIENTE 2., 2001, Fortaleza. **Anais...** p. 16

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na Agricultura**. Brasília, EMBRAPA-CPAC. 1998.

ASSUMPÇÃO, J.F.P. **Gerenciamento de empreendimentos da construção civil: modelo para planejamento estratégico da produção de edifícios**. São Paulo, 1996. 207 f. Doutorado (Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

BANTEL, C.A. **Análise de extração de madeira de eucalipto com forwarder em floresta de primeira e segunda rotação**. Botucatu, 2006. 126 f. Dissertação (mestrado) . Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

BARNES, R.M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. São Paulo: E. Blüncher, 1977. 635p.

BECKER, G. Precision forestry in central Europe- new perspective for a classical management concept. In: INTERNATIONAL PRECISION FORESTRY SYMPOSIUM, 1., 2001, Seattle. **Proceedings...** University of Washington, Seattle, 2001. p. 7 – 9.

BITENCOURT, M.C.; PIVELLO. V.R. SIG e sensoriamento remoto orbital auxiliando o zoneamento ecológico. **Investigaciones Geográficas Boletín**, v. 36, p. 35-43. 1998.

BOHRER, C. B. A. et al. Desenvolvimento de um Sistema de Informações Espaciais Ambientais e Sócio-Econômicas para a Amazônia Legal : SIG-AML. In: SEMINÁRIO DE ACOMPANHAMENTO NEMESIS 7., SEMINÁRIO DE ESTUDOS REGIONAIS E URBANOS 1., 2001, São Paulo, **Anais...** São Paulo: FEA/FGV/NEMESIS, 1991. p. 10-19.

CARDOSO, M.N.M.; CASTRO, V.G. Gestão da informação na logística da colheita da madeira e transporte florestal. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL 14., 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR/FUPEF, 2006. p. 55 – 65.

CORREA C.J.; GONZÁLEZ, N. **Gráficos estadísticos con R**. Univesidade Nacional del Medelin 2002. p. 294.

DIETZ, P. Planejamento da rede viária florestal. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 4., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba : FUPEF, 1983. p. 36-47.

DYCK, B Precision forestry- the path to profitability. In: INTERNATIONAL PRECISION FORESTRY SYMPOSIUM, 2., 2003, Seattle. **Proceedings...** University of Washington, Seattle, 2003. p. 3 – 8.

FARNUM, P. **Precision forestry – finding the context**. In: INTERNATIONAL PRECISION FORESTRY SYMPOSIUM, 1., 2003, Seattle. **Proceedings...** University of Washington, Seattle, 2001 p.3 – 5.

FERRAZ, N. C. T. **Vantagens estratégicas do *software* livre para o ambiente corporativo.** São Paulo, 2002. 110 f. Monografia (Máster Business Information Systems) – Centro de Ciências Exatas e Econômicas, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

GREULICH, F. G.; HANLEY, D.P.; MCNEEL, J.F.; BAUMGARTNER, D. **A primer for timber harvesting.** Washington State University, Washington, 1996. 33 p.

GUIMARÃES, H. S.; **A logística como fator decisivo das operações de colheita de madeira e transporte florestal.** In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 13., 2004, Curitiba. **Anais..**Curitiba: UFPR/FUPEF, 2004. p. 127 – 146.

GUNN, E.A. Some aspects of hierarchical production planning in forest management In: SYMPOSIUM ON SYSTEMS ANALYSES IN FOREST RESOURCES, 1991, Charleston, South Carolina. **Proceedings...** Asheville, NC:USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, 1991. p. 54 - 62.

HAKKILA, P.; MALINOVSKI, J.; SIRÉN, M. **Feasibility of logging mechanization in brazilian forest plantations: a comparasion between Brazil and Filand.** Helsinki:Finnish Forest Resarch Institute and Federal University of Paraná. Helsinki-Curitiba 1992. p. 68.

HUBBARD, W.; LATT, C.; LONG, A. **Forest terminology for multiple use management.** University of Florida, IFAS Extension, SS-FOR-11, 2000, p. 17.

KELLOGG, L.D.; BETTINGER, P. Thinning productivity and cost for mechanized cut-to-length system in the Northwest Pacific coast region of the USA. **Journal of Forest Engineering** v.5(2): p. 43 -52, 1994.

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa operacional – fundamentos e modelos.** Editora da FURB, Blumenau, 1999, 269 p.

MACHADO, C.C. **Exploração florestal.** 4. ed. Vicosa, MG: UFV, Impr. Univ.,1985. 60 p.

_____. O setor florestal brasileiro In: MACHADO, C.C (Ed). **Colheita florestal.** Vicosa, MG: UFV, Imprensa Univesitária, 2002, 468 p.

_____; LOPES, E.S. Planejamento In: MACHADO, C.C (Ed). **Colheita florestal**. Vicosá, MG: UFV, Imprensa Univesitária, 2002, 468 p.

MALINOVSKI, J. R. Considerações básicas no planejamento da colheita de madeira. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 3., 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba : FUPEF, 1981. p. 93-100.

_____; PERDONCINI, W. C. Estradas Florestais. **Publicação Técnica do Colégio de Irati – GTZ**, Irati, PR. 1990. 100 p.

_____; MALINOVSKI, R. A. **Evolução dos sistemas de colheita de Pinus na Região Sul do Brasil**. Curitiba, FUPEF, 1998. 138 p.

_____. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 12., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 2002. p. 3.

_____; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C.C (Ed). **Colheita florestal**. Vicosá, MG: UFV, Imprensa Univesitária, 2002, p. 145-167.

McCLOY, K.R. **Resource Management Information Systems: process and practice**. Taylor & Francis. London. 1995

MCGILL, R.; TUKEY, J. W.; LARSEN, W.A. Variations of box plots **The american statistican**, v.32, n.1 Feb.,1978. p. 12 -16.

MINETTI, L. J. **Análise de fatores operacionais ergonômicos da operação de corte florestal com motosserra**. Viçosa/MG, 1996. 211 f.. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa.

NETELER, M. E.; MITASOVA, H.; **Open Source GIS: a GRASS GIS Approach**. Massachussets: Kluwer Academic, 2002. 434 p.

NURMINEN, T.; KORPUNEN, H.; UUSITALO, J. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. **Silva Fennica** v.40 (2)- p 335 – 363, 2006.

OLIVEIRA, R. **A utilização do microplanejamento como ferramenta de gestão da produção.** São Paulo, 2006. 158 f. Monografia (Especialização em tecnologia e gestão da produção de edifícios. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PULKKI, R.E. Glossary of forest harvesting terminology. Disponível em: <flash.lakeheadu.ca/~repulkki/REP_terminology.pdf> Acesso em 15 de outubro de 2006.

RAMALHO FILHO, A.; OLIVEIRA, R.P.; PEREIRA L.C. Use of geographic information systems in (planning) sustainable land management in Brazil: potentialities and user needs. **ITC Journal**, p. 295-301. 03 abr. 1997.

REBOUÇAS, D. P. O. **Planejamento estratégico – conceitos, metodologia e práticas.** 18. ed. São Paulo:Atlas, 2002. 62 p.

RIBEIRO, R. S.; SOUZA J. L. de. O desenvolvimento de técnicas de exploração em áreas acidentadas. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 7., 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1992. p. 01-12.

RIBEIRO, C.A.A.S. **Floresta de precisão.** In: MACHADO, C.C (Org). **Colheita florestal.** Viçosa, MG: UFV, Imprensa Univesitária, 2002, 468 p.

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, Havai, **Proceedings...**1999. p. 1-10.

SAMPLE, V.A. **Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management.** Island Press. Washington. 1994. 130 p.

SANT'ANNA JUNIOR, M. Tendências atuais e perspectivas futuras dos sistemas de extração florestal. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL 7., 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1992. p. 137-160.

SANT'ANNA, C. de M. Corte Florestal In: MACHADO, C.C (Org). **Colheita florestal.** Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2002, 468 p.

SEIXAS, F. Extração In: MACHADO, C.C (Org). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Univesitária, 2002, 468 p.

_____, S.; KOURY, C. G. G.; RODRIGUES, A. F. Determinação da Área Impactada pelo Tráfego de *forwarder* com o Uso do GPS. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.63, p. 178-187, jun 2003.

SOFTEX, O impacto do *software* livre e de código aberto na indústria de *software* do **Brasil**. Softex, 2005, Disponível em: <<http://www.softex.br/media/pesquisa-sw1.pdf>>. Acesso em: 10 outubro 2006.

SOUZA, D.O de. **Avaliação dos diferentes níveis de mecanização na atividade de colheita de madeira**. Curitiba, 2001. 74 f. Relatório Técnico-Científico Final. Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná.

STAFF, K.A.G.; WIKSTEN, N.A. **Tree harvesting techniques**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1984. 371p.

STALLMAN, R.M. The GNU operating system and the *software* movement in open sources: Voices from the open source revolution – O'Reilly & Associates Ind., 1999.

STÖHR, G. W. D. Metodologia do custo-hora para máquinas florestais. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 3., 1981, Curitiba). **Anais...** Curitiba : FUPEF, 1981. p. 33-44.

TALBOT, B.; NORDFJELL, T. e SUADICANI, K. Assessing the utility of two integrated harvester-forwarder machine concepts through stand level simulation. **Internacional Journal of Forest Engineering** 14(2), p. 31- 43, 2003.

TANAKA, O. K. A utilização de animais em operações de extração florestal. In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, 1., 1987, Curitiba. **Anais...** Curitiba : UFPR/IUFRO, 1987. p. 118-132.

TAYLOR, S.E.; MCDONALD, T.P.; FULTON, J.P.; SHAW, J.N.; CORLEY, F.W.; BRODBECK, C.J. Precision forestry in the southeast U.S. In: INTERNATIONAL

PRECISION FORESTRY SYMPOSIUM, 3., 2006, South Africa **Proceedings...** 2006. p. 397-414.

TUFTS, R.A. Productivity and cost of the Ponsse 15 series, cut-to-length harvesting system in southern pine plantations. **Forest Products Journal** v.47(10): p. 39 – 46, 1993.

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis** (limited preliminary edition) Mass: Addison-Wesley, v.1, 1970, p.10.

WEINTRAUB, A.; GUITART, S.; KOHN, V. Strategic planning in forest industries. **European Journal Research**, v.24, p. 152 – 162, 1986.

WEINTRAUB, A.; JONES, G.; MAGENDZO, A.; MEACHAM, M.; KIRBY, M.A heuristic system to solve mixed integer forest planning models. **Operations Research**, v. 42, n. 6, p.1010-1024, nov/dez. 1994

WESTER, F.; ELIASSON, L. Productivity in final felling for a combined *harvest-forwarder*. **International Journal of Forest Engineering** v. 14(2): p 45 – 51, 2003.