

ELTON DA SILVA LEITE

**DESENVOLVIMENTO DE PLANOS DE COLHEITA FLORESTAL DE
PRECISÃO UTILIZANDO TECNOLOGIAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência Florestal, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

Leite, Elton da Silva, 1980-
L533d Desenvolvimento de planos de colheita florestal de
2010 precisão utilizando tecnologias de geoprocessamento /
Elton da Silva Leite. – Viçosa, MG, 2010.
xii, 120f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Luciano José Mnette.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa
Inclui bibliografia.

1. Florestas – Administração. 2. Sistemas de informação
geográfica. 3. Colheita. 4. Florestas – Conservação. 5.
Estradas – Planejamento – Custos. I. Universidade Federal
de Viçosa. II. Título.

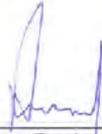
CDO adapt. CDD 634.9062

ELTON DA SILVA LEITE

**DESENVOLVIMENTO DE PLANOS DE COLHEITA FLORESTAL DE
PRECISÃO UTILIZANDO TECNOLOGIAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência Florestal, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 8 de fevereiro de 2010.



Prof. Amaury Paulo de Souza
(Coorientador)



Prof. Carlos Antonio A. S. Ribeiro
(Coorientador)



Prof. Nilton Cesar Fiedler



Prof. Márcio Lopes da Silva



Prof. Luciano José Minette
(Orientador)

Dedico este trabalho:

A Deus.

Aos meus pais, a quem devo o que sou.

À Nayara, exemplo de companheirismo e paciência.

Aos meus irmãos, fonte de apoio e amizade.

A UFV e aos professores, berço de incentivo, conselhos e sabedoria.

A todos que acreditaram na realidade deste momento.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, através do Departamento de Engenharia Florestal, pela realização do Curso.

Ao Professor Luciano José Minette, pelos valiosos ensinamentos, pelo interesse, pelas sugestões e pela amizade com que orientou este trabalho.

Aos Professores e conselheiros Amaury Paulo de Souza e Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro e aos também Professores Cleverson Santanna, Hélio Garcia Leite e Carlos Cardoso Machado, pelos conselhos, pelas discussões, pelos esclarecimentos e pela amizade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio no projeto de extensão.

À Celulose Nipo-Brasileira S.A. – CENIBRA, na pessoa dos senhores engenheiros Ilvânio Luiz Guedes, Ézio Tadeu Lopes e Edvaldes José do Amaral, dos operadores e de toda a equipe envolvida, pela oportunidade e apoio na realização deste trabalho.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, pelo incentivo, apoio e pela paciência.

A todos os meus amigos, pelos incentivos e pela convivência.

BIOGRAFIA

ELTON DA SILVA LEITE, filho de Osório Carreiro Leite e Anedina da Silva Leite, nasceu em Brasília, Distrito Federal, em 25 de julho de 1980, onde cursou o primeiro grau.

Concluiu o ensino médio no Colégio “Magister”, em Guarapari, Espírito Santo, em dezembro de 1999.

Em 2000, trabalhou no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Em 2007, graduou em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG.

Em 2008, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de mestrado, em Ciência Florestal da UFV, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2010.

SUMÁRIO

| | Página |
|--|--------|
| RESUMO..... | ix |
| ABSTRACT | xi |
| CAPÍTULO 1..... | 1 |
| CUSTOS DE ESTRADAS UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO NA COLHEITA FLORESTAL..... | 1 |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. O problema e sua importância..... | 1 |
| 1.2. Objetivos..... | 3 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. Sistema de geoprocessamento | 4 |
| 2.2. Descrição do software <i>ArcGis</i> | 6 |
| 2.3. Rede de estradas | 7 |
| 2.4. Planejamento da rede viária | 9 |
| 2.5. Custos de estradas..... | 10 |
| 2.6. Planejamento florestal | 11 |
| 2.6.1. Macroplanejamento | 13 |
| 2.6.2. Microplanejamento | 14 |
| 2.7. Unidades de conservação | 15 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 16 |

| | Página |
|---|--------|
| 3.1. Descrição dos dados | 16 |
| 3.2. Rede de Estradas..... | 18 |
| 3.2.1. Critérios de Classificação de Estradas Florestais..... | 18 |
| 3.2.2. Custo de conservação da estrada florestal..... | 20 |
| 3.3. Parâmetros e diretrizes da colheita florestal..... | 22 |
| 3.4. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) | 22 |
| 3.5. Eficiência do software ArcGis9.3 | 24 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 25 |
| 4.1. Modelo Digital de Elevação | 25 |
| 4.2. Modelos gerados no ArcToolbox | 25 |
| 4.3. Determinação e análise do custo de estradas..... | 27 |
| 4.4. Modelo digital de colheita e planejamento florestal (MDCPF) .. | 29 |
| 5. CONCLUSÕES | 33 |
| 6. RECOMENDAÇÕES | 35 |
| 7. REFERÊNCIAS | 36 |
| CAPÍTULO 2 | 40 |
| ANÁLISES TÉCNICA E ECONÔMICA DA COLHEITA FLORESTAL . | 40 |
| 1. INTRODUÇÃO | 40 |
| 1.1. O problema e sua importância..... | 40 |
| 1.2. Objetivos..... | 42 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 43 |
| 2.1. O setor florestal no Brasil | 43 |
| 2.2. Colheita florestal..... | 44 |
| 2.3. Máquinas florestais..... | 45 |
| 2.4. Corte florestal | 45 |
| 2.5. Extração florestal | 46 |
| 2.6. Módulo de colheita com <i>harvester</i> e <i>forwarder</i> | 46 |
| 2.7. Principais fatores influentes na mecanização..... | 47 |
| 2.7.1. Volume por árvore | 48 |
| 2.7.2. Espaçamento entre árvores..... | 48 |
| 2.7.3. Declividade | 49 |

| | Página |
|--|--------|
| 2.7.4. Distância média de extração | 49 |
| 2.8. Sistema de colheita | 49 |
| 2.9. Estudo de tempos e movimentos | 50 |
| 2.10. Custos de Colheita Florestal..... | 50 |
| 2.1.1. Análise de sensibilidade | 52 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 53 |
| 3.1. Descrição da área de estudo..... | 53 |
| 3.2. Caracterização do estudo..... | 55 |
| 3.2.1. Declividade | 55 |
| 3.2.2. Espaçamentos..... | 55 |
| 3.3. Determinação das parcelas | 55 |
| 3.4. Características do povoamento | 56 |
| 3.5. Descrição das máquinas analisadas | 58 |
| 3.5.1. <i>Harvester</i> | 58 |
| 3.5.2. <i>Forwarder</i> | 60 |
| 3.7. Estudo de tempos e movimentos | 65 |
| 3.7.1. Ciclo operacional do <i>harvester</i> | 65 |
| 3.7.2. Ciclo operacional <i>forwarder</i> | 68 |
| 3.8. Determinação da produtividade operacional | 70 |
| 3.9. Taxa de disponibilidade mecânica..... | 71 |
| 3.10. Eficiência operacional..... | 71 |
| 3.11. Análise econômica das máquinas estudadas..... | 71 |
| 3.11.1. Custos fixos (CF) | 72 |
| 3.11.2. Custos variáveis (CV) | 74 |
| 3.11.3. Custo de administração (CAD) | 77 |
| 3.11.4. Custo operacional total (CT)..... | 77 |
| 3.12. Custo de produção | 78 |
| 3.13. Delineamento estatístico | 78 |
| 3.13. Análise de sensibilidade | 79 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 80 |
| 4.1. <i>Harvester</i> | 80 |
| 4.1.1. Estudo de tempos e movimentos | 80 |

| | Página |
|--|--------|
| 4.1.2. Análise dos elementos do ciclo operacional | 85 |
| 4.1.3. Rendimentos operacionais | 87 |
| 4.1.4. Custo operacional e custo de produção | 87 |
| 4.1.5. Análise de sensibilidade | 91 |
| 4.2. <i>Forwarder</i> | 94 |
| 4.2.1. Dinâmica de tempo e movimento | 94 |
| 4.2.2. Análise dos elementos do ciclo operacional | 96 |
| 4.2.3. Rendimentos operacionais | 102 |
| 4.2.4. Custo operacional e custo de produção | 103 |
| 4.2.5. Análise de sensibilidade | 105 |
| 5. CONCLUSÕES | 108 |
| 6. RECOMENDAÇÕES | 110 |
| 7. REFERÊNCIAS | 111 |
| APÊNDICE – DADOS E CÁLCULO DE CUSTOS OPERACIONAIS .. | 115 |
| 1) Determinação do custo operacional do <i>harvester</i> | 115 |
| 2) Determinação do custo operacional do <i>forwarder</i> | 118 |

RESUMO

LEITE, Elton da Silva, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010. **Desenvolvimento de planos de colheita florestal de precisão utilizando tecnologias de geoprocessamento.** Orientador: Luciano José Minette. Coorientadores: Amaury Paulo de Souza e Carlos Antônio Alvares Soares Ribeiro.

No Brasil, muitas empresas florestais vêm encontrando dificuldades na elaboração de planos precisos para o manejo de suas florestas, o que é afetado principalmente pela etapa de colheita florestal. Isso acarreta grande dispêndio de recursos e aumenta o custo de produção de madeira. Esta dissertação objetivou validar, por meio de estudos operacionais e tecnológicos, melhorias precisas no manejo de áreas, atendendo, em conjunto, à colheita florestal e à conservação ambiental. O capítulo 1 objetivou o planejamento dos custos de estradas utilizando geoprocessamento na colheita florestal, de forma a criar modelos que introduzam melhorias no manejo do complexo florestal, maximizando retornos de maneira organizada e consistente pelo uso do software *ArcGis*. O plano da malha viária foi fundamentado no levantamento das geometrias horizontal e vertical. Para a elaboração do planejamento da colheita, foram identificadas as áreas de colheita – divididas em módulos – e as áreas de preservação permanente (APP), a partir de dados iniciais da área de

pesquisa. Os resultados revelaram a eficiência das ferramentas de geoprocessamento em determinar um sistema de classificação de estradas florestais, refletindo diretamente nos custos das estradas internas e principais, representado por US\$ 594 e US\$ 1.220. O modelo digital de colheita e planejamento florestal (MDCPF) vem acrescentar melhorias no processo de planos de colheita florestal, facilidades na organização dos módulos de colheita, identificação e monitoramento total das áreas plantadas e unidades de conservação (APP e RL). O capítulo 2 teve como objetivos analisar e quantificar a influência da declividade (baixada e encosta) e do espaçamento do plantio (3 m x 2,5 m, 3 m x 3,33 m e 3 m x 4,0 m) sobre a capacidade produtiva do *harvester* e *forwarder* no sistema de colheita mecanizado em povoamento de eucalipto em primeira rotação. A análise técnica foi fundamentada no estudo de tempos, movimentos e rendimentos operacionais. Foram identificados e analisados os elementos que compuseram o ciclo operacional, além de quantificar as produtividades e o custo das máquinas objeto deste estudo. Os resultados indicaram que o rendimento das máquinas (*harvester*, *forwarder*) tende a ser maior quando se aumenta o espaçamento e se reduz a declividade, até certo ponto, pois os dados exibem comportamento exponencial. A mudança de espaçamento, em média, pode gerar impacto no custo da ordem de 11% e 2% a maior, se a opção for pelo uso dos espaçamentos de 3 m x 2,5 m e 3 m x 3,33 m, em comparação com o espaçamento de 3 m x 4 m. Em relação à declividade, o detalhamento desse impacto negativo gerado pela encosta foi cerca de 11% em relação à baixada.

ABSTRACT

LEITE, Elton da Silva, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2010. **Development plans for precision timber harvesting using GIS technologies.** Adviser: Luciano José Minette. Co-Advisers: Amaury Paulo de Souza and Carlos Antônio Álvares Soares Ribeiro.

In Brazil, many forester companies are finding it difficult to develop precise plans for the management of their forests, which is affected mainly by the stage of forest harvesting. This entails a great expenditure of resources and increases the production cost of wood. This dissertation aims to validate, through operational studies and technology improvements in the management of specific areas, forest harvesting and environmental conservation jointly. Chapter 1 aimed at planning the costs of roads using GIS in forest harvesting in order to create models which introduce better management of the forest complex, maximizing returns in a consistent and organized manner using the ArcGIS software. The road network plan was based on surveys of the horizontal and vertical geometries. To help with the planning of the harvest, we identified the areas of collection - divided into modules - and the permanent preservation areas (PPA), from initial data of the research area. The results showed the effectiveness of GIS tools in determining the classification system of forest roads, directly reflecting the costs of internal and main roads, represented by US\$594 and US\$1,220. The

digital model of crop and forest planning (MDCPF) adds improvements in the process of timber harvesting plans, facilitating the organization of the modules collection, identification and monitoring of the total planted areas and conservation units (APP and RL). Chapter 2 aimed to examine and quantify the influence of slope (lowland and mountain) and of planting space (3m x 2.5m, 3m x 3.33m and 3m x 4.0m) on the productive capacity of the harvester and forwarder on the mechanized harvesting system on a stand of eucalyptus in the first rotation. The technical analysis was based on the study of time, movements, and operating income. The elements that composed the operating cycle were identified and analyzed, besides quantifying the productivity and cost of the machines that were the object of this study. The results indicated that the yield of the machines (harvester and forwarder) tend to be greater when increasing the spacing and reducing the slope to some extent, because the data showed an exponential pattern. The change in spacing, on average, could impact the cost of the order by 11% and 2% higher if the option is the use of a 3m x 2.5m and 3m x 3.33m spacing, compared to the 3m x 4m spacing. Regarding the slope, the depth of this negative impact generated by the slope was about 11% compared to the lowlands.

CAPÍTULO 1

CUSTOS DE ESTRADAS UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO NA COLHEITA FLORESTAL

1. INTRODUÇÃO

1.1. O problema e sua importância

A atividade florestal é um dos promissores segmentos da economia brasileira, considerando-se que a produção madeireira é a condição básica para o desenvolvimento de importantes indústrias nas áreas de siderurgia, papel e celulose, movelaria, construção civil e outros setores. Os custos na colheita representam, em alguns casos, mais de 50% do custo total da madeira posta na fábrica (SILVA *et al.*, 2008). Assim, o sucesso de qualquer empreendimento florestal passa, necessariamente, por um adequado planejamento da colheita florestal, objetivando otimizar a produção. Por isso, deve-se, antes de iniciar as atividades, elaborar um planejamento criterioso, por área, compilando-se todas as informações críticas para atendimento dos objetivos propostos.

Com as modernizações advindas de novos softwares de computação, já se podem criar ferramentas de planejamento e gerenciamento bem avançadas, a exemplo do planejamento das operações florestais utilizando

técnicas de geoprocessamento. Assim, com a aplicação do software *ArcGis* é possível a elaboração do planejamento das operações florestais, tendo como princípio a organização das áreas a serem colhidas, de forma a proporcionar conhecimentos prévios acerca dos talhões a intervir e, ainda, antevendo sua interação com as demais atividades florestais.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são dotados de funcionalidade específica para capturar, armazenar, organizar, consultar, analisar e manipular dados espaciais, permitindo o desenvolvimento e exploração de cenários complexos, em que a visualização das informações georreferenciadas tem papel decisivo. Esses conjuntos de aplicativos, equipamentos, dados, tecnologias e usuários são utilizados para automatizar tarefas feitas anteriormente de forma manual, facilitando a integração de informações de natureza e fontes diversas e a criação de banco de dados geocodificados (TEIXEIRAS *et al.*, 1995; ENGESPAÇO, 1990; FELGUEIRAS *et al.*, 1993). Em particular, a tecnologia dos sistemas de informações geográficas contribui notoriamente para a solução de problemas usuais no planejamento de colheita e de estradas florestais.

Por suas características, nas últimas décadas os SIGs têm-se desenvolvido intensamente e se difundido como poderosas ferramentas para a análise de fenômenos ao longo do tempo e do espaço (VALENZUELA *et al.*, 1988; GREEN, 1994). Uma abordagem do gerenciamento localizado das atividades silviculturais e da silvicultura de precisão, segundo Vettorazzi e Ferraz (2000), baseia-se na coleta e análise de dados geoespaciais, viabilizando intervenções situadas na floresta com exatidão e precisão cartográficas. As técnicas de geoprocessamento fornecem subsídios para a identificação e correlação das variáveis que afetam a produtividade florestal por meio da sobreposição, de cruzamentos e regressão, de mapas digitais do relevo, dos atributos do solo e da capacidade produtiva dos povoamentos. Nesse sentido, com a incorporação das ferramentas do *ArcGis* e das variáveis de colheita florestal, como topografia, módulos de colheita e fatores silviculturais, ambientais e físicos, pode-se delinear o Plano de Colheita de Precisão (PCP), atendendo aos fatores econômicos, operacionais, ergonômicos e ambientais.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste capítulo foi o planejamento dos custos de estradas utilizando geoprocessamento na colheita florestal, de forma a criar modelos que introduzam melhorias no manejo do complexo florestal, maximizando retornos de maneira organizada e consistente pelo uso do software ArcGis.

Os objetivos específicos foram:

- ✓ Elaborar planos de colheita;
- ✓ determinar o padrão da malha viária e sua conservação;
- ✓ estimar o custo de estradas usando ferramentas de geoprocessamento;
- ✓ fornecer subsídios técnicos ao planejamento estratégico, para compatibilização dos objetivos da empresa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sistema de geoprocessamento

O geoprocessamento engloba diversas tecnologias, como: sensoriamento remoto; processamento digital de imagens orbitais; sistemas de informações geográficas; cartografia digital; modelagem digital de terrenos; e alguns outros tópicos avançados. As tecnologias do geoprocessamento são ferramentas fundamentais para o suporte ao processo de tomada de decisão. De acordo com Ribeiro (2002) e Burrough (1986), 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.

Ademais, o SIG é um sistema de informação apropriado para trabalhar com dados referenciados através de coordenadas geográficas. Pode-se definir um SIG como:

- ✓ Uma base de dados específica para dados referenciados espacialmente;
- ✓ um conjunto de operações para trabalhar com os dados da base; e
- ✓ uma ferramenta para manipular e armazenar dados não espaciais.

O SIG integra uma sofisticada interface de visualização a uma base de dados e constitui poderosa ferramenta de análise e planejamento

espacial (FISCHBECK, 1994). Um SIG pode permitir a um planejador, além de visualizar e entender as soluções dos problemas, tomar decisões e, mesmo, alterá-las rapidamente, por exemplo substituindo uma solução gerada pelo sistema por uma que considere fatores adequados para aquele contexto, como fatores políticos e socioeconômicos.

As informações relacionadas com a superfície da terra originam-se de diferentes fontes, como imagens de satélite, cartas topográficas, cartas de solo e vegetação, hidrografia e dados de senso. Cada uma dessas fontes, acompanhadas de vários atributos, são armazenadas em um banco de dados, utilizado para gerenciar, de maneira estruturada, essa grande quantidade de informações. Os dados devem estar todos no mesmo referencial geográfico, para possibilitar a manipulação, a comparação e a análise (SANTOS *et al.*, 2004).

Segundo Bohrer *et al.* (2001) e Malinovski (2007), o SIG é um banco de dados ao 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.

De fato, segundo McCloy (1995), Assad e Sano (1998) e Malinovski (2007), o banco de dados espaciais de um SIG possibilita a integração e 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, presentes na maioria dos SIGs, incluem: medições (área, perímetro), busca, classificação, modelagem (modelo cartográfico, redes, *buffers*, corredores), distância (custo, proximidade), declividade, drenagem, interpolação/extrapolação e forma.

Segundo Ribeiro (2008), há dois modelos básicos de representação de dados que se destacam como formas de representar a realidade em um SIG:

- ✓ Modelo de dados vetoriais – mais apropriado para mostrar com exatidão a localização, limites e formas de feições geográficas discretas, como estações climatológicas, rios e divisões geopolíticas.
- ✓ Modelo de dados matricial – que se utiliza de malha regular de células quadradas para representar fenômenos que possuam variação contínua ao longo do espaço geográfico estudado, como altitude, temperatura e pressão atmosférica, teor de matéria orgânica e disponibilidade hídrica.

Por essas características, nas últimas décadas os SIGs têm-se desenvolvido intensamente e se difundido como poderosas ferramentas para a análise de funções complexas ao longo do tempo e do espaço (VALENZUELA *et al.*, 1988; GREEN, 1994), como abordado pelos mais diversos estudos do planejamento florestal.

O SIG permite modificações rápidas, como adição ou remoção de barreiras, bem como investigar as inter-relações complexas entre diversos planos de informação temáticos, tornando-se atraente para o geoplanejamento e gestão do território. É ferramenta dinâmica e interativa que pode ser sempre reajustada à medida que novos dados se tornam disponíveis e que haja necessidade de mudanças (XAVIER, 2004).

2.2. Descrição do software ArcGis

O *ArcGIS* é um software de última geração desenvolvido pelo Environmental Systems Research Institute (ESRI). Atualmente, suporta três níveis funcionais de licença – ArcView, ArcEditor e o ArcInfo – e pode ser configurado para atender às necessidades de determinado segmento de usuários e estendido usando-se o *ArcGIS Desktop Developers Kit*, que é um Integrated Development Environment (IDE) embutido. Esse software adota um novo modelo de dados orientado a objetos, denominado geobase, que armazena as feições espaciais (pontos, linhas, polígonos) como atributo da tabela de um banco de dados. O *ArcGIS Desktop* é um SIG integrado e consiste de cinco principais componentes, a saber: ArcMap, ArcCatalog, ArcGlobe, ArcScene e ArcToolbox.

Segundo a ESRI (2004), o *ArcGIS* inclui um desenvolvimento de geoprocessamento que permite a execução das tradicionais ferramentas de processamento de SIG e, especificamente, apresenta as seguintes qualidades:

- ✓ Facilidade de uso: oferece ferramentas de mapeamento, análise e gerenciamento de dados, utilizadas em todos os níveis da família ArcGIS e facilmente customizadas;
- ✓ extremamente funcional: incorpora poderosas ferramentas de edição, cartografia avançada, administração de dados aprimorada e análises espaciais sofisticadas;
- ✓ escalonável: desenvolvido em estruturas modernas de componentes orientados a objetos, permitindo que os softwares que compõem a família ArcGIS compartilhem os mesmos aplicativos, interfaces de usuário e conceitos de operação;
- ✓ habilitado para a Internet: o ArcGIS pode ser utilizado para a obtenção e disponibilização de dados geográficos pela Internet ou Intranet;
- ✓ facilidade de customização: construído sob padrões abertos de mercado, o ArcGIS é rico em funcionalidades, com extensa documentação e completamente customizável com as linguagens-padrão mais utilizadas pelos profissionais de informática.

2.3. Rede de estradas

As estradas florestais são um segmento importante na determinação das vias de acesso às florestas necessárias para a viabilidade de um empreendimento, apresentando papel importante para implantação, proteção e, principalmente, para a colheita e transporte de madeira (LOPES, 2002). Elas têm como principais características o baixo volume de tráfego, às vezes temporário, e o tráfego pesado e extrapesado, ocorrendo normalmente em um único sentido, por meio de veículos com capacidade de carga entre 30 e 40 toneladas e de veículos com carga acima de 40 toneladas, respectivamente.

De acordo com Souza (1960), pode-se entender como pavimento a construção de uma estrutura sobre o leito de terra da estrada, que varia na espessura e no tipo do material utilizado, com a finalidade de:

- ✓ Resistir e distribuir ao terreno os esforços verticais provenientes do tráfego;
- ✓ Suportar os esforços horizontais, tornando-se relativamente durável;
- ✓ melhorar as condições de rolamento, proporcionando segurança de tráfego em qualquer época do ano.

Na elaboração de um projeto de estrada pavimentada, segundo Johnston (1977), devem-se levar em consideração dois tipos de estudos, o Geométrico e o Geotécnico, definidos pelo referido autor como projeto geométrico e geotécnico.

De posse dos elementos geotécnicos referidos, procura-se fazer o dimensionamento do pavimento pela determinação das camadas da base e do revestimento, cuja espessura dependerá de fatores climáticos, de carga e equivalência de operações de tráfego (JOHNSTON, 1977).

Comastri e Carvalho (1981) relataram que as estradas podem ser classificadas de acordo com a sua importância, o modo de construção e o material empregado. Os parâmetros de qualidade para identificação das estradas quanto à classe são descritos em relação à geometria horizontal, geometria vertical, largura e tipo de revestimento da superfície da pista de rolamento, representando cerca de 98% dos custos de estradas.

A rede de estradas, quando necessária e economicamente viável, pode ser inclusive pavimentada, aumentando, assim, o padrão operacional do sistema, principalmente quando na operação de exploração da madeira, em que se supõe que o tráfego será intenso e pesado (MACHADO *et al.*, 2009).

Observou-se que, na maioria dos casos referentes às estradas, a palavra pavimento é logo confundida com asfalto ou coisa semelhante. Como se pode notar, pavimento significa a construção de uma estrutura sobre o leito de uma estrada com a aplicação de material em disponibilidade, podendo ser terroso e químico, que proporcione custo operacional menor do que se estivesse a referida estrada em sua forma primitiva. Portanto, pode-

se dizer que pavimentar uma estrada florestal é dar-lhe condições de tráfego exigido em qualquer época do ano, através de técnicas e aplicações compatíveis com a atividade florestal (RANGEL, 1980).

Pode-se dizer que a técnica de construção do pavimento envolve as seguintes fases: a terraplenagem, que tem como operação inicial a regularização do leito de terra, consistindo no acerto do terreno; a escarificação, que consiste na desagregação do material a ser trabalhado; a irrigação, que é realizada com água, sendo aplicada de modo a servir como lubrificante no acomodamento de partículas de solo; e a compactação, que tem como objetivo a execução de esforços verticais sobre o material, visando expulsar as partículas de ar e água do solo (RANGEL, 1980).

2.4. Planejamento da rede viária

Para o planejamento da rede é preciso considerar uma série de diretrizes principais, tanto de engenharia quanto ambientais e sociais. O FAO Model Code of Forest Harvesting seleciona apropriadamente essas diretrizes (DYKSTRA; HEINRICH, 1995), as quais estão representadas a seguir de forma resumida:

- ✓ Promover o acesso à floresta a custo reduzido, seguindo os aspectos de proteção à floresta juntamente com o benefício às comunidades locais;
- ✓ minimizar impactos de erosão, reduzindo o assoreamento de cursos hídricos;
- ✓ diagnosticar a concentração das estradas e pátios de estocagem;
- ✓ evitar áreas de traçado cultural;
- ✓ promover segurança das partes envolvidas que usarem as estradas; e
- ✓ reconhecimento geral da área, como: dados hidrológicos e geológicos; locação e tamanho da área; clima; custos de exploração; e experiência na área.

De posse dessas informações, pode-se partir para a planificação propriamente dita, seguindo como sugestão a metodologia:

- 1 – Calcular a distância ótima entre caminhos, densidade ótima e volume possível de corte ($m^3.ha^{-1}.ano^{-1}$); e
- 2 – Elaborar mapas topográficos de reconhecimento da área.
- 3 – Identificar na área:
 - ✓ áreas a serem exploradas;
 - ✓ pontos obrigatórios de passagem – evitar rotas com algum tipo de restrição;
 - ✓ as melhores rotas de exploração de área florestal; e
 - ✓ menores distâncias de extração de madeira.
- 4 – Identificar a melhor direção de escoamento da madeira;
- 5 – Verificar possíveis adaptações na rede existente; e
- 6 – Calcular os impactos gerados.

No quesito planejamento de densidade de estradas, deve-se considerar também que, quanto mais acidentadas forem as condições topográficas, maior será a densidade de estradas, alcançando densidades de 30 a 32 m/ha (FAO, 1974).

A necessidade de acomodamento à topografia e a estradas já existentes, da construção de curvas, cruzamentos de rios, conexões e outros faz com que os caminhos raramente sejam retos e perfeitamente paralelos entre si. Normalmente, isso resulta em um acréscimo em construção da ordem de 25 a 35% (ROWAN, 1976).

2.5. Custos de estradas

Os custos de estradas estão relacionados, principalmente, com o tipo de solo, custos de maquinários, volume de material de revestimento e construções em geral. Assim, é necessário basear-se nas informações locais de custo para ter uma estimativa, uma vez que esses valores, nessa fase de planejamento da rede, deverão ser aproximados, mas não ainda perfeitamente exatos (BRAZ, 97).

Deve-se lembrar de que existem variados padrões e estradas que requerem maior ou menor hora-máquina de equipamento e podem necessitar ou não de determinado tipo de equipamento. Esses dados podem

estar condicionados também à maior ou menor necessidade de movimentação de terra, construção de pontes, bueiros e obras de drenagem, aos efeitos da radiação solar, nivelamento, compactação e outros (CHAUVIN, 1976).

Para o cálculo de custo das estradas florestais, pode-se ter uma aproximação utilizando fórmulas, softwares e índices de produtividade para base, para tanto, na densidade ótima e nas características locais das estradas. Nesse contexto, é interessante ter a ideia do ponto ótimo entre o que deve ser construído de estradas e as distâncias de arraste, de acordo com as condições do terreno e estrutura da floresta (BRAZ, 1997).

2.6. Planejamento florestal

De acordo com Coutinho e Soares (2002), as empresas brasileiras estão seguindo uma tendência mundial de preocupação com a responsabilidade social. Assim, passam a contemplar mudanças organizacionais de implicações estratégicas profundas. Parte-se da premissa de que, para serem efetivas, tais mudanças devem estar alinhadas com a estratégia de negócios da empresa.

Segundo Machado e Lopes (2002), a atividade de colheita florestal no Brasil, nos últimos anos, tem evoluído intensificadamente dos pontos de vista técnico e operacional, em virtude da escassez de recursos financeiros, evidenciando-se a necessidade de planejar. Essa evolução contribuiu com uma gestão de profissionais treinados capazes de controlar a atividade, condição indispensável para uma adequada gestão dos recursos produtivos.

Segundo esses autores, as rotações dos povoamentos florestais, a extensão das áreas plantadas, a diversidade de fatores técnicos, econômicos e ambientais, a política econômica e a própria atividade florestal tornaram complexo o planejamento florestal. Por isso, devem ser consideradas as peculiaridades de cada empresa, seus ambientes interno e externo a serem desenvolvidos, para contribuir com a consecução dos objetivos da empresa. Isso envolve inúmeros e complexos fatores operacionais, econômicos, ambientais e ergonômicos. Desse modo, o

planejamento e execução corretos, objetivando otimizar a produção, já justificam os esforços nessas importantes áreas da Engenharia Florestal.

O planejamento é a elaboração, por etapas, com bases técnicas, de planos e programas com objetivos bem definidos. É a arte e 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 define o futuro desejado para a organização e delinea os possíveis caminhos para atingi-lo (MACHADO; LOPES, 2002).

As fases do planejamento funcional da colheita podem ser representadas em três níveis hierárquicos: planejamentos estratégico, gerencial ou tático e operacional, descritos por Andrade (1989), Malinovski (2007), Assunção (1996) e Rebouças (2002). Ou seja:

✓ Planejamento estratégico consiste no planejamento em longo prazo. Assim, com a criação de diretrizes para a orientação do futuro desejado e as ações mais eficazes para alcançá-lo é mais fácil avaliar as decisões de curto prazo, para adequá-las à orientação de longo prazo, aumentando o grau de confiança na tomada de decisão por parte do administrador, obtendo todas as informações necessárias para um manejo coerente na colheita florestal (ANDRADE, 1989). Podem ser citados exemplos como aquisição de terra e construção ou expansão de fábrica (WEINTRAUB *et al.*, 1986).

✓ Planejamento gerencial ou tático consiste na distribuição de cotas mensais, com a definição dos volumes e a localização dos talhões e da sequência da colheita, verificação da situação das estradas e definição de maquinários e equipamentos – com seus custos e rendimentos – e das distâncias médias de transporte, podendo esse planejamento ser dividido em macroplanejamento e microplanejamento (MACHADO; LOPES, 2008).

✓ Planejamento operacional é o nível hierárquico mais baixo. Segue a linha do desenvolvimento de mecanismos de aferição, coordenação e controle, que propiciem condições ao sistema atual, para alcançar objetivos do plano estratégico, dentro das limitações estabelecidas no plano gerencial (SANTOS, 2000). As decisões são operacionais quando envolvem

os executores nas frentes de operação, como destinar máquinas, equipes e trabalho e veículos de transporte (GUNN, 1991). É essencial a posse do conhecimento e controle adequados dos fatores, permitindo o estabelecimento de estratégias e práticas operacionais para execução das operações dentro de critérios estabelecidos (MACHADO; LOPES, 2002).

Nesse contexto, o planejamento engloba todas as áreas e é a função mais importante para as empresas florestais. Assim, no planejamento é possível colocar todos os sistemas e métodos possíveis juntos, identificando e resolvendo problemas mesmo antes de aparecerem, obedecendo a todas as restrições e ordenando os recursos de forma a minimizar recursos. No Brasil, a pesquisa operacional e o sistema de informações geográficas são as duas ferramentas que mais têm auxiliado no planejamento da colheita florestal (MACHADO, 1994).

Áreas acidentadas e condições topográficas desfavoráveis exigem nível de planejamento ainda mais detalhado, bem como o desenvolvimento de máquinas e equipamentos específicos para a colheita de suas florestas, visando minimizar os custos, diminuir a necessidade de mão de obra não qualificada e aumentar a produtividade, para assegurar o abastecimento da indústria (LEITE; LIMA, 2002).

2.6.1. Macroplanejamento

O macroplanejamento é aquele que engloba um complexo de talhões, como fazendas, regiões ou hortos, estabelecendo a necessidade de dimensionamento de recursos na área – como máquinas, operadores, rotas de transporte, topografia, recomposição e conservação de estradas – estabelecimento de programas de manutenção e apoio logístico, treinamento e reciclagens, sempre usufruindo programas de planejamento (ANDRADE, 1989).

Segundo Guimarães (2004) e Malinovski (2007), os objetivos do macroplanejamento florestal envolvem:

- ✓ 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; e
- ✓ planejamento para atendimento dos requisitos legais e ambientais.

2.6.2. Microplanejamento

Já o microplanejamento visa ao planejamento em nível de talhão, em que se estabelecem todas as informações operacionais, como o módulo adotado, melhores rotas de extração e informações dos locais de formação das pilhas de madeira, localização de acidentes naturais do terreno, delimitação das áreas de colheita dos módulos, identificação dos eitos de corte, volume de madeira, área do talhão, data prevista para o início da colheita etc. (ANDRADE, 1989). Guimarães (2004) considera o microplanejamento como descrição fiel da estrutura física do talhão, incluindo rede viária, áreas de preservação permanente (APP) e reserva legal, sítios de valor histórico, testes experimentais e demais aspectos de relevância para o planejamento e operacionalização de todas as operações florestais subsequentes à colheita e ao transporte de madeira.

Segundo Machado e Lopes (2008), normalmente o microplanejamento é realizado 30 dias antes do início da colheita, quando são confeccionados mapas especiais, visando:

- ✓ Definir a marcação e identificação dos eitos de corte;
- ✓ estabelecer a melhor forma de retirada de madeira do interior do talhão;
- ✓ estabelecer rota de extração;
- ✓ determinar a direção, sentido e distância média de extração;
- ✓ identificar a localização de acidentes naturais do terreno;
- ✓ identificar pontos restritivos à operação de colheita; e
- ✓ determinar áreas proibidas de corte.

2.7. Unidades de conservação

Muller (2002) enumera como principais funções das áreas de preservação permanente (APP) a proteção das margens dos corpos d'água, evitando que sejam carregadas pelas águas das chuvas; a proteção dos mananciais; a proteção dos rios e reservatórios contra a massa de detritos que causa impactos negativos sobre a vida aquática e, sobretudo, ao consumo humano, tanto para a geração de energia como para a irrigação e a garantia de recarga dos lençóis freáticos pela chuva.

Reserva legal (RL) é a área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural que não seja a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas. Ela varia de acordo com o bioma e o tamanho da propriedade. Para propriedades como a deste estudo, a legislação determina que 20% da propriedade seja alocada como Reserva Legal (Lei 4.771).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição dos dados

A área de estudo encontra-se localizada na região de Sabinópolis, na regional de Guanhães da Celulose Nipo-Brasileira S.A. – CENIBRA, tendo como referência geográfica as coordenadas UTM 725.000 mW e 7.932.600 m S, zona 23S, datum SAD-69. O projeto apresenta povoamentos florestais comerciais de eucalipto.

Neste estudo, utilizaram-se os custos médios de infraestrutura da área no condicionamento de estradas, dados da área de uso do solo e as informações de restrições das máquinas estudadas no capítulo 2, para aplicação do planejamento de colheita florestal utilizando ferramentas computacionais de geoprocessamento.

Foram utilizados dados de uso do solo para a descrição de algumas características da área, como as curvas de nível, pontos cotados, hidrografia e rede viária. Esses dados são georreferenciados pelo sistema de coordenadas UTM, zona 23 sul, datum SAD 1969, com resolução geométrica compatível com o padrão brasileiro de exatidão cartográfica, obtidos na empresa.

As informações utilizadas para a geração do modelo digital de elevação (MDE) e planejamento da área definida para esta pesquisa foram os arquivos em formato vetorial das curvas de nível. Pode-se observar a localização de tais informações vetoriais no mapa apresentado na Figura 1.1.

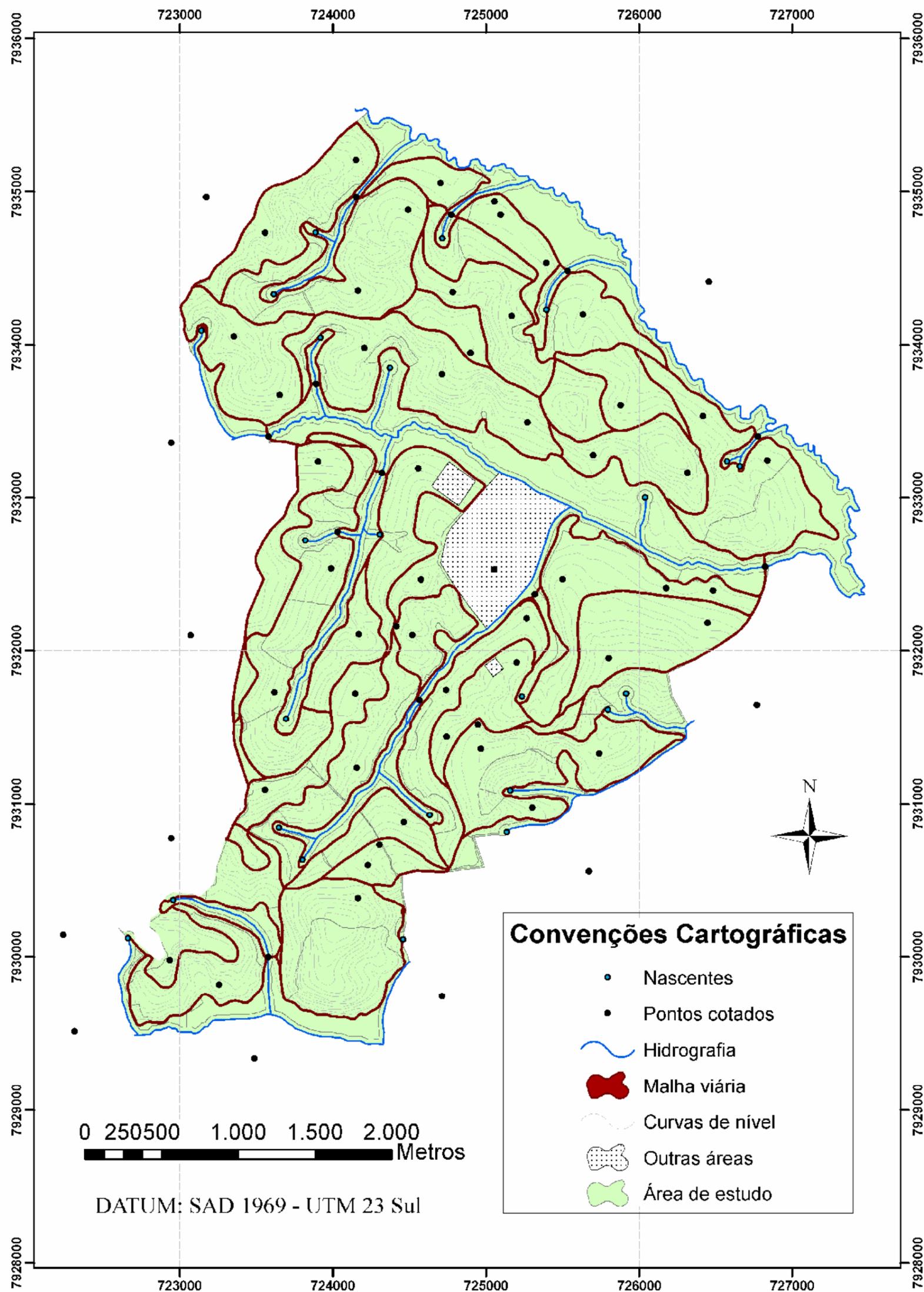


Figura 1.1 – Representação espacial de localização e informações da área de estudo.

3.2. Rede de Estradas

Neste estudo foram estimados apenas os custos de manutenção para pista de dupla circulação, ou seja, pista de rolamento com duas faixas e largura superior ou igual a 7 m, o que permite que dois veículos possam cruzar ou ultrapassar, sem haver redução drástica da velocidade de operação.

3.2.1. Critérios de Classificação de Estradas Florestais

Os critérios adotados para classificação das estradas florestais foram a combinação de alguns parâmetros de qualidade que influenciam o desempenho dos veículos de transporte e os custos de construção, que foram subdivididos quanto ao tipo de estrada.

Foram combinados os seguintes parâmetros de qualidade para identificação das estradas quanto à classe: a) geometria horizontal, b) geometria vertical e c) quantidade de revestimento na superfície.

a) Geometria horizontal

O índice de geometria horizontal (GH) é um fator calculado pela razão do raio médio de curvas de concordância horizontal de um segmento variável de estrada e do número de curvas por quilômetro, através da equação 1.1.

$$GH = \frac{R}{NC} \quad (1.1)$$

em que:

R = raio médio da(s) curva(s) de um segmento variável de estrada (m); e

NC = número de curvas por quilômetro.

Para classificar as estradas quanto ao índice de GH, utilizou-se a classificação subjetiva de Sessions e Sessions (1992) e Lopes *et al.* (2002), especificamente, demonstrada no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 – Classes de geometria horizontal (GH)

| Classificação | GH |
|---------------|-----------|
| Excelente | ≥ 48 |
| Boa | 25 – 47 |
| Média | 10 – 24 |
| Ruim | < 10 |

Fonte: Lopes, E. S. *et al*, 2002.

b) Geometria vertical ou greide

Os critérios de classificação quanto à porcentagem do relevo foram convencionados em quatro tipos, evidenciados no Quadro 1.2.

Quadro 1.2 – Classe de geometria vertical (GV)

| Classificação Subjetiva | % de Inclinação do Leito (greide) | Código |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------|
| Relevo plano | $< 5 \%$ | 5 |
| Relevo ondulado | 5 – 9 % | 9 |
| Relevo montanhoso | 9,1 – 12 % | 12 |
| Relevo altamente montanhoso | $> 12\%$ | 15 |

Fonte: Celulose Nipo-Brasileira S. A. – CENIBRA

c) Quantidade de revestimento na superfície

Foram consideradas duas classes quanto à quantidade de revestimento primário, que foi dividido em estradas internas e principais dos talhões. As estradas principais apresentaram camada de revestimento maior, onde essa classe determina maior desempenho no transporte dos veículos.

3.2.2. Custo de conservação da estrada florestal

O custo de construção foi estimado para cada tipo de estrada, por meio do somatório dos custos das atividades envolvidas na construção: levantamento topográfico; limpeza e terraplanagem; drenagem; e pavimentação (revestimento primário). As informações foram obtidas nas empresas prestadoras de serviços, demonstrando os custos dos equipamentos e material utilizado no processo, expressamente representado no Quadro 1.3.

Quadro 1.3 – Preços médios dos itens usados na conservação das estradas

| EQUIPAMENTO | R\$ | US\$ |
|---|------------|-------------|
| Escavadeira (h) | 152,89 | 81,11 |
| Trator esteira (h) | 154,61 | 82,02 |
| Rolo compactador (h) | 83,50 | 44,30 |
| Retroescavadeira (h) | 63,15 | 33,50 |
| Motoniveladora c/ ripper (h) | 138,96 | 73,71 |
| Trator com grade (h) | 64,76 | 34,36 |
| Caminhão pipa 15.000 L (h) | 65,22 | 34,60 |
| Carreta prancha (h) | 14,13 | 7,50 |
| Caminhão Munck (h) | 51,35 | 24,24 |
| Compactador manual (h) | 4,00 | 2,12 |
| Escória (t) | 2,30 | 1,22 |
| Transporte de escória (txkm) | 0,26 | 0,14 |
| Transporte de solo (m ³ xkm) | 0,43 | 0,23 |
| Transporte de perfis (km) | 25,00 | 13,26 |
| Hidrossemeadura (m ²) | 1,75 | 0,93 |
| Mão de obra – Ajudante (h) | 9,63 | 5,11 |
| Ferragem (kg) | 3,70 | 1,96 |
| Concreto usinado (m ³) | 350,00 | 185,68 |

Fonte: Celulose Nipo-Brasileira S. A. – CENIBRA.

Nesse contexto, alguns itens que compõem a planilha de custos obtidos em reais (R\$) foram convertidos em dólares. Na taxa de câmbio, R\$1,00 é igual a US\$1,885, para cotação comercial, segundo o Bradesco (2009).

a) Levantamento da geometria vertical

A partir dos dados obtidos pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS) topográfico da malha viária, foi elaborado o modelo digital de elevação (MDE) das estradas. Em seguida, realizou-se a estratificação destas com base nas classes de geometria vertical. Esse procedimento foi executado no ArcGis, com a criação de um modelo no ArcToolbox, o que facilitou a operação e aplicação.

b) Limpeza e terraplanagem

Os custos de limpeza e terraplanagem referem-se às atividades de corte de árvores, destoca, remoção de resíduos, remoção de matéria orgânica, execução de corte e aterro e compactação.

c) Drenagem

Os custos de drenagem referem-se à construção de bueiros e sarjetas e à colocação de manilhas.

d) Pavimentação

Estes custos referem-se à pavimentação com revestimento primário (cascalho) obtido nas proximidades de jazida, com espessura variando de 5 – 10 cm.

3.3. Parâmetros e diretrizes da colheita florestal

Para este estudo foram determinados dois módulos de colheita florestal, um composto de Motosserra e Guincho TMO ou tombamento manual (Módulo 1) e o outro de Harvester e Forwarder (módulo 2).

No módulo 1, a etapa completa de corte (derrubada + processamento) é realizada de forma semimecanizada, com o uso de motosserra e de machado, com bitola de 2,6 m. A etapa seguinte é a extração realizada pelo guincho TMO, no qual é feito um amarrado de toras por um cabo de aço, ocorrendo o arraste até a margem superior do talhão utilizando um trator agrícola acoplado a um guincho na tomada de potência (TDP) e, posteriormente, realizando o empilhamento da madeira manualmente. O segundo sistema de extração é compreendido pelo tombamento manual dos toretes até o local de formação das pilhas, que posteriormente é também processada manualmente. Esse sistema foi usado para as declividades entre 26 e 45°.

No módulo 2, detalhado no capítulo 2, tem-se a etapa completa de derrubada, sendo o processamento realizado pelo *harvester* John Deere 1470. Esse implemento apresenta um cabeçote que corta, processa e destopa árvores em tamanhos preestabelecidos. No teste, utilizou o comprimento de 4,40 m, formando um conjunto de toras, sendo as pilhas de madeira processadas e a galhada disposta nas entrelinhas. A extração é realizada pelo *forwarder* John Deere 1710, que se desloca extraíndo a madeira do interior do talhão, dispoendo as toras em pilhas à margem do talhão e anexando os dados de custo e distância do capítulo 2. Esse sistema foi usado para as declividades de até 26°.

3.4. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL)

O Código Florestal de 1965 (Lei 4771) determina, segundo as regulamentações do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, as áreas protegidas nos termos dos arts. 2º e 3º dessa lei, “coberta ou não por vegetação nativa”, com a função ambiental de preservar os recursos

hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Considera-se que o bioma Mata Atlântica é patrimônio nacional, nos termos do § 4º do art. 225 da Constituição, e que o uso de seus recursos naturais deve ser feito de forma a preservar o meio ambiente.

Considerando a função ambiental das Áreas de Preservação Permanente, em 1985 o CONAMA regulamentou o Código Florestal (artigo 1º.), estabelecendo espaços territoriais protegidos. Ao longo de cursos hídricos, a preservação deverá ser representada como demonstrado na Figura 3. Como a área em estudo não apresentava rios maiores que 10 m de largura, a lei determina que as matas ciliares tenham pelo menos 30 m de distância perpendicular aos cursos d'água e 50 m de raio em relação às nascentes ou olho d'água (Quadro 1.4).

Quadro 1.4 – Representação das áreas de preservação ao longo de cursos hídricos, CONAMA nº 303

| Largura do Curso Hídrico (em metros) | Distância de Proteção (em metros) |
|---|--------------------------------------|
| < 10 | 30 |
| 10 a 50 | 50 |
| 50 a 200 | 100 |
| 200 a 600 | 200 |
| > 600 | 500 |

Na determinação da maioria das áreas destinadas à Reserva Legal, neste estudo adotou-se como prioridade as áreas já compostas por mata nativa, com dificuldade para se colher madeira e destinação de formação dos corredores ecológicos, com o propósito de incentivar a biodiversidade. A soma dessas áreas deverá apresentar pelo menos 20% da área total, a menos que, quando a área de APP for maior que 30% da área em estudo,

se possa definir a área de RL como o complemento para que a soma de APP e RL seja superior ou igual a 50% da área total.

3.5. Eficiência do software ArcGis9.3

O programa ArcGis 9.3 possibilitou avaliar a melhor organização da malha viária, obedecendo-se todas as restrições ambientais e dos módulos. Neste estudo, esse programa foi também aplicado para gerar um banco de dados para armazenar todos os dados do terreno (topografia, estradas e hidrografia, entre outros), de forma a monitorar cada talhão, com vistas à elaboração de mapas complexos e precisos. Foram utilizadas algumas ferramentas importantes na geração de modelos no módulo ArcToolbox do ArcGis capazes de realizar uma série de operações de uma só vez, o que economiza tempo. Assim, foi gerado um modelo para determinar a subdivisão da área de estudo, denominado Modelo Digital de Colheita e Planejamento Florestal (MDCPF), no qual são delimitadas as áreas de colheita florestal, APP, RL, estradas e outros, bem como outro modelo para estimar os custos de estradas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Modelo Digital de Elevação

Para que se proceda ao planejamento de colheita florestal e ambiental, é necessário o conhecimento detalhado da topografia. Assim, foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE) para a área de aplicação dos métodos de planejamento. Na Figura 1.2 é mostrado o MDE da área de estudo.

O MDE dispõe de um banco de dados matricial relacionado, o que permite uma série de análises e a geração de diversos componentes de suma importância na delimitação das áreas com suas destinações para as estradas, colheita florestal e preservação ambiental.

4.2. Modelos gerados no ArcToolbox

Após a análise do MDE, as classes da Geometria Vertical (GV) e o Modelo Digital de Colheita e Planejamento Florestal (MDCPF) foram gerados por uma série de operações lógicas passíveis de serem executadas no programa ArcGis. A GV e o MDCPF apresentaram-se como modelos consistentes que atenderam à proposta de mostrar um planejamento capaz de reduzir custos das operações de colheita florestal de maneira mais organizada e respeitando às normas definidas pela legislação vigente e de propor soluções para a organização das áreas.

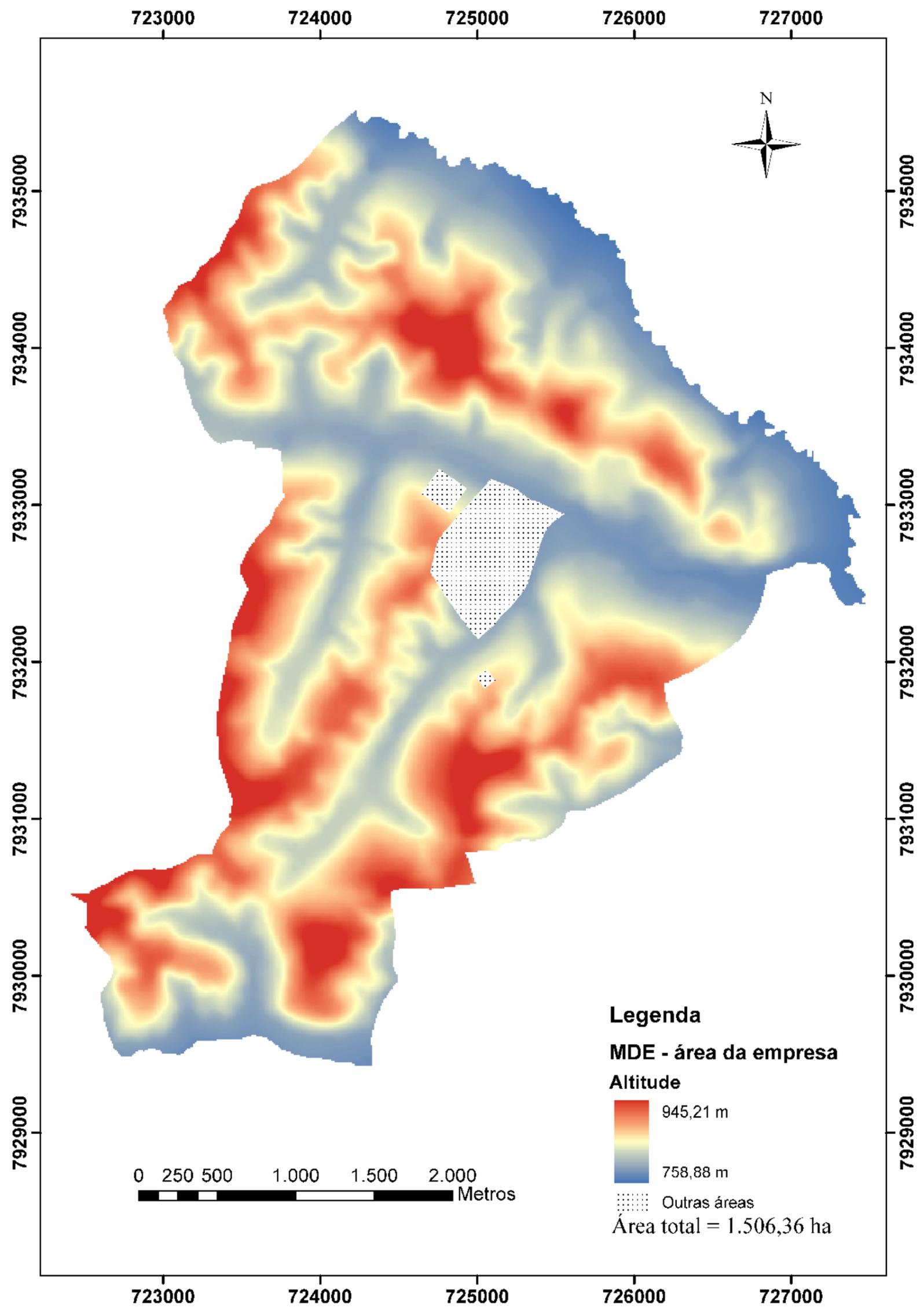


Figura 1.2 – Modelo Digital de Elevação da área de estudo.

Os modelos gerados para obtenção da GV e o MDCPF foram transformados em componentes do ArcToolbox, o que possibilita utilizá-los para possíveis análises em novas áreas de estudo, sendo necessária apenas a redefinição dos parâmetros de entrada em ambos os modelos. Esses parâmetros elaborados no ArcToolbox implicam redução do tempo de processamento de dados e do risco de ocorrência de erros, além de oferecer tecnologia de automação dos comandos do ArcGis.

4.3. Determinação e análise do custo de estradas

Para a determinação do custo da malha viária, são expressos, principalmente pelas três variáveis, a geometria horizontal, a geometria vertical e o revestimento na superfície. Assim foi gerado o MDE da estrada para determinar com precisão o mapa com as classes de Geometria Vertical (GV), através da aplicação do modelo gerado no ArcToolbox. Na Figura 1.3 está evidenciado o mapa com a porcentagem das inclinações do subleito. Em sequência, no Quadro 1.5 pode-se estimar o somatório das distâncias pertencentes à mesma classificação subjetiva da GV. Representa-se o mapa da Figura 1.4 ampliado, para visualizações específicas.

Apresentam-se, no Quadro 1.6, os custos finais para a manutenção das estradas analisadas. Nota-se que pequenas reduções no custo da malha viária podem gerar aumentos bastante significativos, pois o Brasil apresenta extensas distâncias compostas de estradas florestais.

No Quadro 1.5, evidencia-se que o somatório dos trechos de relevo plano representou 88,6%, sequenciado pelo relevo ondulado, representado por 9,1%, relevo montanhoso, com 1,7% e 0,6% para o relevo altamente montanhoso, respectivamente, do total da malha viária.

Nesse quadro, evidencia-se que o custo da estrada principal foi superior ao da estrada interna em aproximadamente em 100%, devido ao fato de o tráfego intenso necessitar de melhores estradas, favorecendo maior velocidade de transporte.

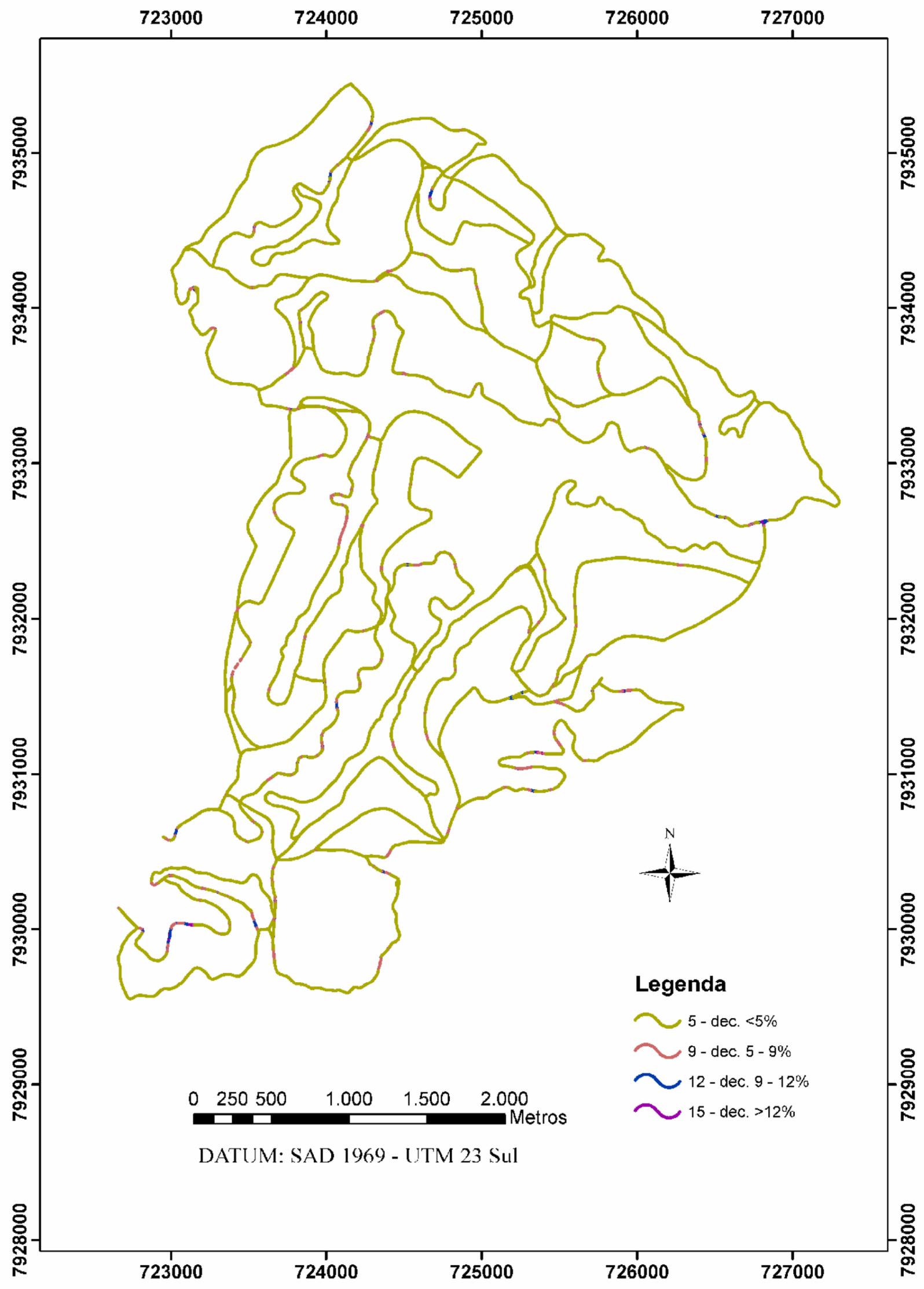


Figura 1.3 – Dinâmica da porcentagem do leito das estradas.

Quadro 1.5 – Resumo dos comprimentos, em metros, das classes do greide das estradas

| Classificação | % de Inclinação do Leito (greide) | Distância (m) |
|-----------------------------|-----------------------------------|---------------|
| Relevo plano | < 5 % | 78.556,50 |
| Relevo ondulado | 5 – 9 % | 8.081,73 |
| Relevo montanhoso | 9,1 – 12 % | 1.549,39 |
| Relevo altamente montanhoso | > 12 % | 492,59 |

Quadro 1.6 – Custos de manutenção das estradas analisadas

| Itens de Custo | Custo (R\$/km) | | Custo (US\$/km) | |
|---|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Estrada Interna | Estrada Principal | Estrada Interna | Estrada Principal |
| Motoniveladora (h) | 624,00 | 240,00 | 331,03 | 127,32 |
| Retroescavadeira (h) | 169,00 | 282,00 | 89,66 | 149,60 |
| Escória (t) | - | 23,00 | - | 12,20 |
| Caminhão Pipa (h) | 58,00 | 23,00 | 30,77 | 12,20 |
| Mão de obra – Ajudante (h) | 69,00 | 122,00 | 36,60 | 64,72 |
| Transporte de cascalho (m ³ /km) | 51,00 | 51,00 | 27,06 | 27,06 |
| Transporte de escória (m ³ /km) | - | 92,00 | - | 48,81 |
| Concreto 25 Mpa (m ³) – mês | 150,00 | 1.500,00 | 79,58 | 795,76 |
| TOTAL | 1.120,00 | 2.300,00 | 594,16 | 1.220,16 |

4.4. Modelo digital de colheita e planejamento florestal (MDCPF)

Na Figura 1.4 é mostrado o planejamento da área de estudo representativo do MDCPF, no qual é possível visualizar a distribuição espacial da destinação do uso das áreas conforme os critérios metodológicos mencionados anteriormente. O zoneamento proposto no mapa condiz com as condições operacionais dos módulos e atende às questões ambientais. Representa-se o mapa ampliado, para visualizações específicas.

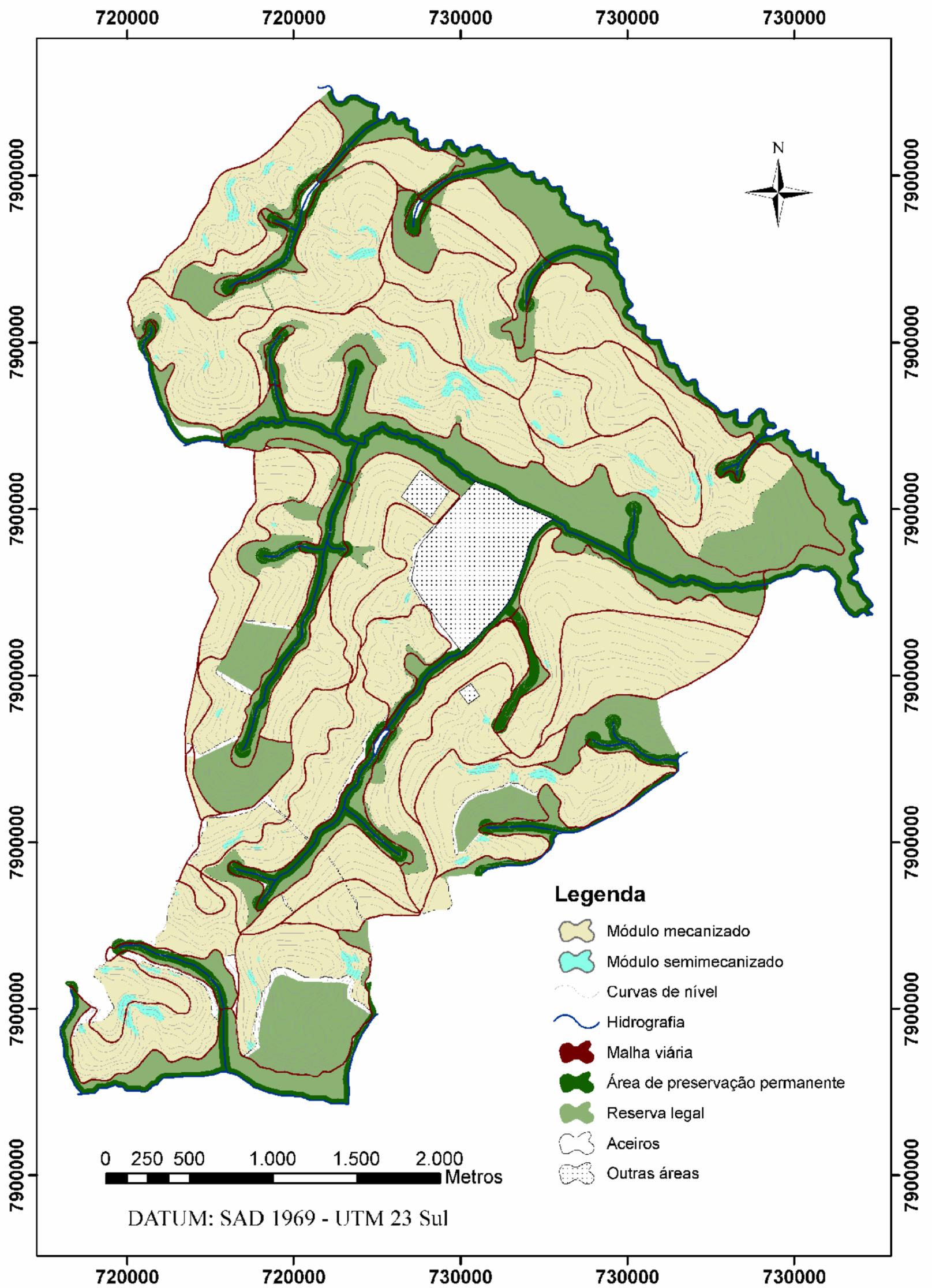


Figura 1.4 – Elaboração do mapa do MDCPF (Modelo Digital de Colheita e Planejamento Florestal).

A área de estudo contém total 1.506,73 ha, sendo pelo MDCPF desse total definidos 469,09 ha correspondentes a unidades de conservação, com 144,02 ha de Área de Preservação Permanente e 325,04 ha de Reserva Legal. Já a área de colheita florestal totalizou 930,99 ha, e destes 863,93 ha foram destinados à exploração florestal, utilizando os módulos *harvester* e *forwarder* (mecanizado), e os outros 67,04 ha foram empregados na exploração florestal, utilizando o módulo Motosserra e Guincho TMO ou tombamento manual (semimecanizado).

No Quadro 1.7, observam-se a quantificação das áreas e suas percentagens, conforme o zoneamento do planejamento de uso da área de estudo, em relação ao total da área de aplicação da metodologia.

Quadro 1.7 – Quantificação das áreas conforme o zoneamento de planejamento de uso

| Destinação da Área | Área (ha) | Percentual |
|------------------------|-----------|------------|
| Reserva legal | 324,74 | 21,55 |
| Preservação permanente | 144,62 | 9,60 |
| Módulo mecanizado | 863,63 | 57,32 |
| Módulo semimecanizado | 67,04 | 4,45 |
| Outros* | 106,7 | 7,08 |
| Total | 1.506,73 | 100 |

* Referente a áreas de estradas, aceiros, encruzilhadas.

A região estudada neste capítulo apresentou topografia moderadamente acidentada e, quando submetida a desenvolvimento de planos efetivos de colheita florestal condicionado ao estudo do capítulo 2, observou-se que o sistema mecanizado acabava estendendo suas áreas de atuação, contribuindo positivamente para os impactos econômicos e ergonômicos. Dessa forma, na tomada de decisão de substituir áreas de sistemas semimecanizados para mecanizados deve-se levar em consideração, também, a redução de passivos trabalhistas, a redução do

potencial de acidentes e a manutenção de certificações, como FSC e CERFLOR.

O método semimecanizado apresenta características de elevação nos custos de colheita consideravelmente, além de utilizar equipamentos de alta periculosidade, considerada atividade perigosa, uma atividade pesada que sobrecarrega a coluna lombar, podendo ocasionar lombalgias no trabalhador, e a motosserra é operada em sua rotação máxima, estando sujeita a resvalos que podem atingir o operador (SANT'ANNA, 1992). Segundo Machado e Souza (1980), anualmente acontecem muitos acidentes na exploração florestal, grande parte deles referente às operações com motosserras.

5. CONCLUSÕES

As principais conclusões deste estudo foram:

- O modelo digital de colheita e planejamento florestal (MDCPF) apresentado neste trabalho vem acrescentar melhorias no processo de planos de colheita florestal, facilidades na organização dos módulos de colheita, identificação e monitoramento total das áreas plantadas e unidades de conservação (APP e RL).
- A elaboração de um sistema de classificação de estradas florestais usando ferramentas de geoprocessamento é eficiente para determinação da variável geometria vertical ou greide das estradas, possibilitando visualizar e prever o desempenho no transporte e manutenção de estradas.
- O geoprocessamento permite a introdução de novas ferramentas determinantes para os custos de estradas e capazes de garantir rapidez, precisão e baixo custo até então inoperantes na atividade florestal.
- Na área de realização do estudo, as estradas principais apresentaram custo de construção mais elevado, fato esse devido ao seu melhor padrão de qualidade, exigido pelo elevado volume de tráfego de veículos de transporte florestal.

- A metodologia, implementada com os recursos do ArcGis, teve a função de atender, gerenciar e processar o banco de dados, com precisão, estruturados em Planos de Informação (PI). O software também apresenta possibilidades de anexar ferramentas complexas no ArcToolbox, as quais são capazes de processar uma série de comandos de forma automática, proporcionando ganho de tempo e precisão nos resultados, o que torna as empresas mais eficientes e competitivas.

6. RECOMENDAÇÕES

Em regiões bastante acidentadas, procurar enfocar estudos operacionais para anexar informações no software, evidenciando aumentar as áreas de mecanização.

Aperfeiçoar os estudos com o ArcGis para determinar também a geometria horizontal das estradas, reduzindo custos e otimizando o setor.

7. REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional**: métodos e modelos para a análise de decisão. Rio de Janeiro: Livros técnicos e Científicos, 1989. 377 p.

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**. 1996. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BRADESCO. **Taxa de câmbio**. Disponível em: <<https://www.agorainvest.com.br>>. Acesso em: 02 set. 2009.

BRAZ, E. M. **Otimização da rede de estradas secundárias em projetos de manejo sustentável de floresta tropical**. Rio Branco: Embrapa-CPAF/AC, 1997. 36 p. (Embrapa-CPAF/AC – Circular Técnica, 15).

BOHRER, C. B. A. *et al.* Desenvolvimento de um Sistema de Informações Espaciais Ambientais e Socioeconômicas 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, 2001. p. 10-19.

CHAUVIN, H. Opening up the tropical moist forest and harvesting the timber. **Revista Unasylva**, v. 28, p. 112-113, 1976.

Código Florestal Federal. **Lei nº. 4.771/65 e Resolução CONAMA nº 302/02 e nº 303/02**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 02 fev. 2009.

COMASTRI, J. A.; CARVALHO, C. A. **Estradas (traçado geométrico)**. Viçosa, MG: UFV, 1981. 71 p. (Apostila, 112).

COUTINHO, R. B. G.; SOARES, T. D. L. A. M. Gestão estratégica com responsabilidade social: arcabouço analítico para auxiliar sua implementação nas empresas no Brasil. **R. Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 75-96, 2002.

DYKSTRA, D. P.; HEINRICH, R. **FAO model code of forest harvesting practice**. Roma: FAO, 1995. 117 p.

ENGESPAÇO. **SITIM 150 – Sistema Geográfico de Informações**: manual de referência do usuário, Versão 2.1 R01. São José dos Campos, SP, 1990. 268 p.

ESRI – Environmental System Research Institute. **Understanding Map Projections**. New York: ESRI, 2004. 121 p.

FAO. **Logging and log transport in tropical high forest**: a manual on production and costs. Roma, 1974. 90 p. (FAO – Forest Series, 5; FAO. Forestry Development Paper, 18).

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMERA, G. Sistema de Informações Geográficas do IMPE. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Eds.). **Sistema de Informações Geográficas**: aplicações na agricultura. Planaltina, GO: EMBRAPA-CPAC, 1993. p. 41-59.

FISCHBECK, P. GIS: More than a Map. **OR/MS Today**, p. 42-45, Aug. 1994.

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...** Ashville: NC/USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, 1991. p. 54-62.

GREEN, K. The potential and limitations of remote sensing and GIS in providing ecological information. In: SAMPLE, V. A. (Ed.). **Remote sensing and GIS in ecosystem management**. Washington: Island, 1994. p. 327-336.

JOHNSTON, D. R.; GRAYSON, A. J.; BRADLEY, R. I. Exploração e abertura de estradas. In: JOHNSTON, D. R. **Planejamento florestal**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1977. p. 541-79.

LEITE, A. M. P.; LIMA, J. S. S. Mecanização. In: **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. p. 185-230.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. Classificação e custos de estradas em florestas plantadas na região sudeste do Brasil. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n. 3, p. 329-338, 2002.

MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. **Segurança no trabalho com motosserras**. Viçosa, MG: UFV, 1980. 10 p. (Boletim de Extensão, 21).

MACHADO, C. C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária da UFV, 1994. 138 p.

MACHADO, C. C. *et al.* **Transporte rodoviário florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 217 p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Planejamento. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. p. 169-213.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Planejamento. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 185-230.

MALINOVSKI, R. A. **Otimização da distância de extração de madeira com Forwarder**. 2007. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2007.

McCLOY, K. R. **Resource management information systems: process and practice**. London: Taylor & Francis, 1995.

MULLER, C. C. Gestão de matas ciliares. In: LOPES, I. V. *et al.* (Org.). **Gestão ambiental no Brasil: experiência e sucesso**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002. 377 p.

RANGEL, A. C. R. **Pavimentação de estradas florestais**. Paulo State: Guatapará Florestal S/A, 1980. 8 p. (Circular técnica, n. 122).

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

RIBEIRO, A. A. S. Floresta de precisão. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. 501 p.

ROWAN, A. A. **Forest rad planning**. Inglaterra: Forestry Commission, 1976. 30 p.

SANT'ANNA, C. M. **Fatores humanos relacionados com a produtividade do operador de motosserra no corte florestal**. 1992. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1992.

SANTOS, C. R.; CASTANHO, R.; ROSA, R.; ROSENDO, J. O geoprocessamento e o sensoriamento remoto aplicados na análise ambiental da microbacia hidrográfica do Arroio Capivara -MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS: "Setenta anos da AGB: as transformações do espaço e a geografia no século XXI". **Anais...** Goiânia, Brasil: AGB (eixo 2), 2004.

SESSIONS, J.; SESSIONS, J. B. **Scheduling and network analysis program: user's guide**. Seattle: University of Washington, 1992. 610 p.

SILVA, M. L.; MIRANDA, G. M.; CORDEIRO, S. A. Custos. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. 501 p.

SOUZA, R. de *et al.* Projeto de pavimento e materiais de confecção do pavimento. In: SOUZA, R. de *et al.* **Manual de pavimentação**. São Paulo: DER, 1960. v.1, p. 3-123.

TEIXEIRAS, A.; MATIAS, L.; NOAL, R.; MORETTI, E. Qual a melhor definição de SIG. **R. Fator GIS**, v. 3, n.11, p. 20-24, 1995.

VALENZUELA, C. R.; ILWIS, Overview. In: MEIJERINK, A. M. J.; VALENZUELA, C. R.; STEWART, A. **ILWIS: the integrated land watershed management information system**. Amsterdam: ITC, 1988. p. 4-14.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M. de *et al.* (Eds.). **Agricultura de precisão**. Viçosa, MG: Os Autores, 2000. p. 65-75.

XAVIER, J. da Silva; Z Aidan, Ricardo Tavares. **Geoprocessamento e análise ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 368 p.

WEINTRAUB, A.; JONES, G.; MAGENDZO, A.; MEACHAM, M.; KIRBY, M. A heuristic system to solve mixed interger Forest planning models. **Operations Research**, v. 42, n. 6, p. 1010-1024, vol./dec. 1994.

CAPÍTULO 2

ANÁLISES TÉCNICA E ECONÔMICA DA COLHEITA FLORESTAL

1. INTRODUÇÃO

1.1. O problema e sua importância

No Brasil, as florestas plantadas para o uso industrial ocupam 6,127 milhões de hectares, ainda que esses plantios correspondam apenas a 1% do total florestal nacional. Desse total, 4,259 milhões de hectares são plantios de eucalipto e 1,868 milhão de hectares de pinus, um crescimento de 9,8% e 1,5% em 2008, em comparação com 2007 (ABRAF, 2009). O eucalipto encontra-se em crescente expansão florestal favorecida, principalmente, pela maior produtividade mundial, pelo baixo custo operacional e pela crescente demanda de madeira.

A exploração comercial de florestas plantadas é uma atividade de grande importância social e econômica para o país e tem como objetivo básico a produção de madeira. Segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Planejamento Tributário, o valor de tributos arrecadados no setor de florestas plantadas no Brasil em 2008 foi de R\$ 8,82 bilhões, o que representa crescimento de 4,4%, se comparado ao ano de 2007.

A combinação do aumento da demanda de madeira com a disponibilidade de financiamentos, a qualidade das florestas, a necessidade de maiores rendimentos, o avanço tecnológico e o estabelecimento de políticas mais favoráveis à importação de máquinas culminaram na migração dos módulos de colheita manual e semimecanizado para o sistema mecanizado, em virtude dos fatores produtivos, econômicos, sociais, ergonômicos e ambientais. Nesse contexto, máquinas como o *harvester* e o *forwarder* desempenharam papel estratégico na modernização da colheita florestal brasileira, contribuindo significativamente para a maximização dos retornos financeiros dessa atividade.

Um dos principais aspectos a considerar no estabelecimento de povoamentos florestais são a adequação da densidade do plantio e o arranjo espacial das árvores, de modo a satisfazer as necessidades do produtor florestal e do mercado. A quantidade de árvores por área e sua distribuição podem modificar as condições ambientais dos povoamentos florestais e a partição dos fatores de produção, como luz, água, nutrientes e mão de obra, afetando a produtividade, as características da madeira e os custos de produção (PASSOS *et al.*, 2006).

A escolha do espaçamento de plantio tem como objetivo inicial proporcionar a cada árvore o espaço suficiente para obter o crescimento máximo com melhor qualidade e menor custo. Do ponto de vista da colheita florestal, setor de maior impacto no custo final da madeira, o aumento da densidade do plantio, a partir de certo ponto, implica diretamente redução do volume individual das árvores, ocasionando, também, redução no rendimento da colheita.

Diante do exposto, este capítulo vem contribuir para melhorias no arranjo espacial das árvores na colheita com *harvester* e *forwarder*, através de avaliações técnica e econômica do corte mecanizado em florestas de eucalipto.

A produtividade operacional das máquinas florestais pode variar de acordo com vários fatores, como: espaçamento entre árvores, volume por árvore, comprimento da tora, taxa de crescimento da floresta, uso da madeira, declividade do terreno, clima, tipo de máquinas e equipamentos e recursos disponíveis. Antes de iniciar as operações, deve-se elaborar um

planejamento criterioso com base nas análises técnica, econômica e de conhecimentos acumulados durante anos.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste capítulo foi analisar técnica e economicamente a influência da declividade (baixada e encosta) e do espaçamento do plantio (3 m x 2,5 m; 3 m x 3,33 m; 3 m x 4,0 m) na colheita de eucalipto com *harvester* e *forwarder*, conduzidos na região de Belo Oriente, MG, de forma a melhorar o manejo operacional da colheita.

Têm-se como objetivos específicos:

- ✓ Analisar a declividade e espaçamento no desempenho das máquinas;
- ✓ determinar os ciclos operacionais do *harvester* e do *forwarder*;
- ✓ quantificar a produtividade da colheita florestal;
- ✓ determinar os custos operacionais e de produção de cada máquina; e
- ✓ analisar os impactos em cada espaçamento na colheita com o *harvester* e *forwarder*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O setor florestal no Brasil

No Brasil, o crescimento das empresas do setor florestal teve como ponto de partida as condições edafoclimáticas e a disponibilidade de grandes extensões de terras férteis favoráveis à cultura do eucalipto, em que a idade de corte para a produção de celulose chega a ser de 5 a 7 anos. O cultivo de eucalipto em escala econômica deu-se a partir de 1904, com o trabalho do agrônomo silvicultor Edmundo Navarro de Andrade, para atender à demanda da Companhia Paulista de Estradas de Ferro (PAINEL FLORESTAL, 2009). Mais precisamente a partir de 1965, com a Lei dos Incentivos Fiscais ao Reflorestamento, que durou até 1988, sua área de plantio no Brasil aumentou de 500 mil para 3 milhões de hectares (REVISTA DA MADEIRA, 2009).

Nesse contexto, as empresas florestais brasileiras vieram suprir as demandas dos mercados interno e internacional de celulose, papel, chapas, aglomerados, compensados, postes e madeira serrada, ocupando um dos primeiros lugares no mundo em reflorestamento do gênero *Eucalyptus* (MINETTE, 1988)

Em 2009, o setor florestal apresentou indicadores, na maior parte do ano, negativos, como reflexo principal da crise financeira mundial, iniciada em 2008. A crise expôs o setor a reduções das vendas internas e externas

de celulose, aço e do consumo de painéis de madeira reconstituída e de móveis. Isso provocou adiamentos e até mesmo a suspensão de vários investimentos, desde viveiros de mudas e grandes aquisições de novas áreas destinadas a florestas até grandes empreendimentos em novas plantas industriais em vários estados do país, com os naturais desdobramentos na readequação de quadros de pessoal próprio e terceirizado das empresas (ABRAF, 2009).

Especificamente no setor de celulose e papel, segundo o Viveiro Agroflor (2009), no primeiro semestre de 2009 os preços da celulose e do papel A4 tiveram, no mercado interno, quedas de 3,77% e 0,09% ao mês, enquanto os preços do papel offset em bobina, alta média de 0,62% ao mês. No segundo semestre, os preços da celulose aumentaram 5,39% ao mês devido ao reaquecimento da demanda, e os preços de papel A4 e offset em bobina reduziram-se, em média, 0,30% e 1,25% ao mês, respectivamente.

Mesmo com a crise, as empresas do setor florestal brasileiro alcançaram a sustentabilidade, respeitando os aspectos sociais e ambientais e ocupando espaços em nível internacional. Segundo ABRAF (2009), o PIB Florestal respondeu aproximadamente por 5% do PIB nacional em 2008, gerando 4,7 milhões de empregos, incluindo os diretos (636,2 mil), indiretos (1,6 milhão) e aqueles resultantes do efeito-renda (2,5 milhões). A arrecadação tributária nesse segmento foi de R\$ 8,82 bilhões, representando o quinto maior saldo industrial do país. As expectativas para 2010 são de que a economia mundial irá manter-se em recuperação e trará um ano mais promissor para o setor.

2.2. Colheita florestal

Segundo Tanaka (1986 citado por BIRRO *et al.*, 2002), a colheita florestal pode ser definida como um conjunto de operações realizadas no maciço florestal, que visa preparar, extrair e transportar a madeira até o local de extração, utilizando técnicas e padrões estabelecidos com a finalidade de transformá-la em produto final. Integram as operações de colheita do povoamento florestal: o corte florestal, a extração florestal, o carregamento, o transporte principal e o descarregamento.

Segundo Machado *et al.* (2008), o cenário da colheita florestal é formado de grandes, médias e pequenas empresas. O grau de mecanização da colheita florestal no Brasil só não é maior devido à dificuldade de colher florestas em terrenos montanhosos.

2.3. Máquinas florestais

As máquinas florestais usadas nas etapas de colheita mecanizada são de grande porte e pesadas, com motores de elevada potência e maior velocidade de deslocamento, o que permite grande mobilidade e proporciona aumento na sua capacidade operacional, uma vez que essas máquinas realizam maior quantidade de trabalho em menos tempo, segundo Lima e Leite (2008).

Ainda segundo esses autores, os tratores florestais têm características e recursos próprios que os deixam muito à frente dos tratores agrícolas, constituindo uma categoria especial, cujas aplicações são comumente o corte, a extração e o carregamento/descarregamento da madeira.

2.4. Corte florestal

Pulkki (2006) conceituou 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, segundo Sant'Anna (2008) as principais linhas de equipamentos utilizados nessa operação são:

- ✓ Manual, quando o corte é realizado apenas com o uso de ferramentas com lâmina cortante, como machado;
- ✓ semimecanizado – motosserras;
- ✓ mecanizado – tratores derrubadores e empilhadores e colhedoras com cabeçotes processadores.

2.5. Extração florestal

De acordo com Seixas (2002), extração é a movimentação da madeira desde o local de corte até a estrada, carreador ou pátio intermediário. Segundo esses autores e Pulkki (2006), existem vários sinônimos para essa operação, dependendo da forma como é realizada ou do tipo de máquina ou equipamento empregado:

- ✓ Arraste – quando a carga está em contato total ou parcial com o terreno. As principais máquinas são: tratores agrícolas adaptados, *skidders*, guinchos, guindastes e extração manual ou animal.
- ✓ Baldeio – quando a carga é extraída sobre uma plataforma, como um trailer ou um trator autocarregável. As principais máquinas são: *forwarders* e tratores autocarregáveis.
- ✓ Suspenso – quando a madeira é extraída suspensa por meio de teleféricos, balões ou helicópteros.

2.6. Módulo de colheita com *harvester* e *forwarder*

Na última década, a abertura do mercado para importações possibilitou que muitas empresas florestais iniciassem a mecanização da colheita de forma mais intensiva. Em sequência, a colheita passou a ser obtida de algumas horas para poucos minutos por metro cúbico (LIMA; LEITE, 2008). O *harvester*, em conjunto com o *forwarder*, determina um subsistema de colheita florestal altamente produtivo, dependendo principalmente das condições topográficas.

O *harvester* é um trator automotriz que tem a finalidade de executar, simultaneamente, as operações de corte de derrubada, derrubada, desgalhamento, descascamento e empilhamento da madeira em feixes dentro da floresta. É composto por uma máquina-base de pneus ou esteira, uma lança hidráulica e um cabeçote processador (SANTOS, 1991).

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).

O *forwarder* é uma máquina automotriz projetada para utilização na extração da madeira já cortada, de dentro da floresta para a periferia dos talhões, de modo a evitar o tráfego dos veículos de transporte dentro da floresta (SANTOS, 1991 *apud* FERNANDES; SOUZA, 2003). É composto por uma máquina-base de pneu, um compartimento de carga, uma lança hidráulica e uma grua.

A movimentação das máquinas e o acionamento de dispositivos são realizados com a ajuda de um joystick (MALINOVSKI, 2007).

Embora as máquinas florestais sejam produtivas, elas estão sujeitas a fatores ambientais que podem até restringir seu uso, como: densidade de plantio do talhão; densidade de estradas florestais; topografia; tipo de solo; volume por árvore; e distância de transporte (LIMA; LEITE, 2008).

2.7. Principais fatores influentes na mecanização

No Brasil, os sistemas manuais e semimecanizados de colheita foram amplamente utilizados por falta de alternativas, empregando-se grande quantidade de mão de obra, o que torna a operação onerosa e muito perigosa. Com o aumento da demanda por produtos florestais, necessidade de maior rendimento das operações, escassez da mão de obra, aumento dos custos sociais e abertura do mercado às importações de máquinas de alta tecnologia, houve intensificação da mecanização do setor florestal. Tais fatores levaram à mecanização a tornar-se peça importante na busca do aumento da produtividade e do controle mais efetivo dos custos (MENDONÇA FILHO, 1987).

A produtividade de máquinas na colheita florestal pode variar de acordo com vários fatores: topografia do terreno, declividade, sistema de colheita, solo, clima, comprimento da madeira, incremento da floresta, qualidade da madeira, tipo florestal, uso final da madeira, máquinas e equipamentos e recursos disponíveis, entre outros. Entretanto, a sua seleção deve ser baseada em uma criteriosa análise técnica e econômica (MACHADO, 1985).

Segundo Santos (1995), a mecanização na colheita possibilitou o aumento da produtividade das máquinas, conforto e segurança para o

operador, diminuição da participação do homem nos esforços físicos e regulação do fornecimento em quantidades cada vez maiores. Desde então, esse processo tem-se mostrado irreversível no Brasil.

2.7.1. Volume por árvore

O volume por árvore está diretamente relacionado com o DAP (diâmetro à altura do peito) e com a altura das árvores, principalmente. Assim, o DAP é um dos fatores que influenciam fortemente a produtividade de equipamentos de colheita florestal (ELIASSON, 1999; GINGRAS, 1992).

O volume por árvore é a variável que mais explica as variações nas produtividades obtidas pelos *harvesters* (SANTOS; MACHADO, 1995; HOLTZSCHER; LANFORD, 1997; SILVA, 1991; SILVA *et al.*, 2008).

Segundo Bramucci e Seixas (2002), a menor produtividade do sistema com descascamento de madeira, operando em árvores de menor porte, pode ser atribuída ao elevado tempo gasto, que é praticamente o mesmo em árvores de maior ou menor porte, especialmente no que se refere ao diâmetro.

2.7.2. Espaçamento entre árvores

Bramucci e Seixas (2002) e Burla (2008) citaram que o aumento na densidade da floresta implica diretamente redução no volume individual das árvores e maior volume por hectare, que por sua vez resulta em queda de produtividade do *harvester*.

A seleção do espaçamento inicial afeta a ocupação do sítio, o tamanho médio da tora e a qualidade da madeira, fatores-chave do componente da economia da plantação (PINKARD; NIELSEN, 2001). Assim, deve-se realizar um planejamento coerente em função do uso final da madeira.

2.7.3. Declividade

Segundo Seixas (2008), a inclinação do terreno determina o equipamento a ser utilizado, influenciando diretamente o rendimento da máquina escolhida.

Estudos sobre a influência do volume da árvore e da inclinação do terreno sobre a produtividade de *harvester* de esteiras, segundo Stampfer e Loschek (1999), e *harvester* de pneus, segundo Burla (2008), permitiram concluir que a produtividade diminui com o aumento da inclinação do terreno. Segundo Minette (1988), o aumento da declividade do terreno na operação com *forwarder* implica diminuição da produtividade.

2.7.4. Distância média de extração

De acordo com Seixas (2008), a distância de extração de madeira está condicionada à rede viária. Por sua vez, o custo de extração cresce com o aumento da distância a ser percorrida até a estrada.

Entre as máquinas mais utilizadas na exploração florestal estão os *forwarders*, que são tratores florestais cuja função é realizar a extração de madeira. A forma de extração é o transporte primário (autocarregamento). O sistema rodante pode ser de pneus ou de esteiras (MINETTE *et al.*, 2004). Segundo Santos (1995) e Minette *et al.* (2004), no *forwarder* a produtividade cresce à medida que o volume por árvores aumenta e a distância de extração diminui e decresce na situação inversa.

2.8. Sistema de colheita

De acordo com Fiedler (1995), a mecanização depende diretamente do uso final da madeira e dos recursos disponíveis, para definir as máquinas e equipamentos. Assim, os principais sistemas de colheita de madeira, segundo Malinovski *et al.* (2008), são:

- ✓ Sistema cut-to-length, ou sistema de toras curtas (até 6 metros) – a árvore é processada no local de derrubada, sendo extraída para a margem da estrada ou para o pátio temporário em forma de toras com menos de seis metros de comprimento;

- ✓ sistema three-length, ou sistema de toras longas – a árvore é derrubada, destopada e desgalhada, no interior do talhão, sendo extraída com o comprimento maior que seis metros;
- ✓ sistema full-tree, ou sistema de árvores inteiras – a árvore é derrubada e removida para um local preestabelecido, onde é realizado o processamento completo;
- ✓ sistema whole-tree, ou sistema de árvores completas – a árvore é arrancada e extraída para a margem da estrada ou pátio intermediário, onde é, então, processada; e
- ✓ sistema chipping, ou sistema de cavaqueamento – a árvore é derrubada e processada no próprio local, sendo transportada na forma de cavacos.

2.9. Estudo de tempos e movimentos

A análise técnica consistiu de um estudo de tempos e movimentos, com os objetivos de identificar e analisar os elementos do ciclo operacional de cada máquina estudada, bem como suas interrupções (MOREIRA, 2000).

O estudo de tempo é uma das técnicas utilizadas no planejamento e otimização das atividades de colheita, podendo atuar na redução dos tempos gastos desnecessariamente (ANDRADE, 1998).

Assim, o objetivo básico deste estudo de tempo e movimentos foi determinar o tempo necessário para a realização de uma atividade definida, estabelecida por método racional e executada em cadência normal por uma pessoa qualificada e habituada a determinada técnica (BARNES, 1968).

Estimando o tempo consumido pelos elementos do ciclo operacional, é possível organizar o trabalho e deduzir a produtividade e o custo (ANDRADE, 1998).

2.10. Custos de Colheita Florestal

Os custos são representados pela soma de todos os valores consumidos no processo produtivo (SPEIDEL, 1966). Segundo Lima e Leite (2008), esses custos podem ser explícitos, implícitos ou indiretos, fixos,

variáveis, totais, médios e marginais. Apresenta-se, na Figura 2.1, o comportamento dos custos fixos, variáveis e totais de máquinas florestais.

No setor florestal, a colheita de madeira é a etapa mais importante do ponto de vista econômico, podendo ser descrita por três fases básicas: corte e processamento, extração e transporte (SANTOS, 2000). Mais de 50% dos custos da madeira posta na fábrica são referentes à colheita e transporte florestal (LIMA; LEITE, 2002).

Como a redução dos custos da colheita é vital para qualquer empresa, uma análise detalhada e por partes dos custos nos diferentes métodos de colheita, em cada atividade, tem papel importante no entendimento desses custos, além de facilitar os estudos com o objetivo de reduzi-los (REZENDE *et al.*, 1997).

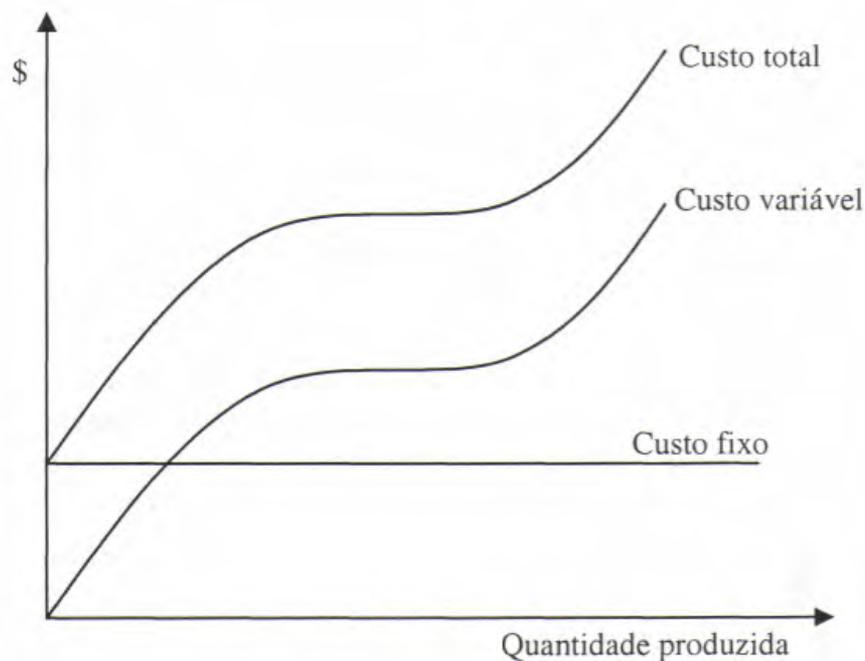


Figura 2.1 – Comportamento do custo fixo, custo variável e custo total de máquinas florestais.

Fonte: LIMA, 2008.

Para Wadouski (1998), a mecanização da colheita de madeira, embora não seja a única forma de racionalização e controle da evolução dos custos, pode proporcionar reduções econômicas consideráveis em prazos relativamente curtos, tendo lugar de elevada importância nos esforços para o aumento da produtividade e humanização do trabalho florestal.

A distância de extração é também variável importante no custo de produção. Deve-se levar em consideração que o espaçamento e a distância ótima de estradas florestais são requisitos básicos para a otimização das estradas em relação ao volume e custos de extração, a fim de minimizar os custos finais da madeira (MINETTE, 1988).

2.1.1. Análise de sensibilidade

A Análise de Sensibilidade é uma etapa muito importante na tomada de decisão. De modo geral, é utilizada para: (1) tomar melhores decisões, (2) decidir quais dados estimados devem ser refinados antes de se tomar decisão e (3) concentrar-se nos elementos críticos durante a implementação (ESCHENBACH, 1992).

O gráfico da Figura 2.1 permite analisar as seguintes situações: (a) limites de cada variável independente, (b) a influência no resultado final para cada mudança unitária da variável independente e (c) a existência de relação (linear ou não) entre a variável independente e a variável dependente (resultado final). Contudo, esse gráfico não possibilita a análise de muitas variáveis independentes, limitando-se a no máximo cinco ou seis delas (SILVA, 2004).

Esse mesmo autor conclui, ainda, que o Diagrama *Spiderplot* são extremamente úteis para a análise do impacto das incertezas. A análise de sensibilidade, nesse caso, pode melhorar o processo de tomada de decisão ao focar a atenção nas variáveis de alto impacto e, principalmente, naquelas variáveis que são possíveis de gerenciar.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

A pesquisa foi realizada no Vale do Rio Doce, na região de Belo Oriente, da Celulose Nipo-Brasileira S. A. – CENIBRA (Figura 2.2), tendo como referência as coordenadas UTM 766.716m W e 7.857.186m S, zona 23, datum SAD-69. O projeto foi conduzido em povoamentos florestais comerciais de eucalipto, com relevo de baixada e encosta. Conforme a classificação de KÖEPPEN, o clima característico da região é o Aw, temperado chuvoso-mesotérmico, com precipitação média anual de 1.163 mm, temperatura média anual de 25,2 °C, média das temperaturas máximas de 31,5 °C, médias das temperaturas mínimas de 19,1 °C e umidade relativa média de 65,2% (CARNEIRO *et al.*, 2003).

O reflorestamento da empresa na região onde se realizou o estudo era constituído de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*, de alta produtividade em regime de primeira rotação. A madeira produzida nos povoamentos florestais foi destinada à produção de celulose.

O solo foi classificado como Cambissolo Latossólico na região de baixada (bloco 1) e Neossolo Flúvico na encosta (bloco 2). Utilizou-se uma área de 8,43 hectares, detalhada no item 3.4.

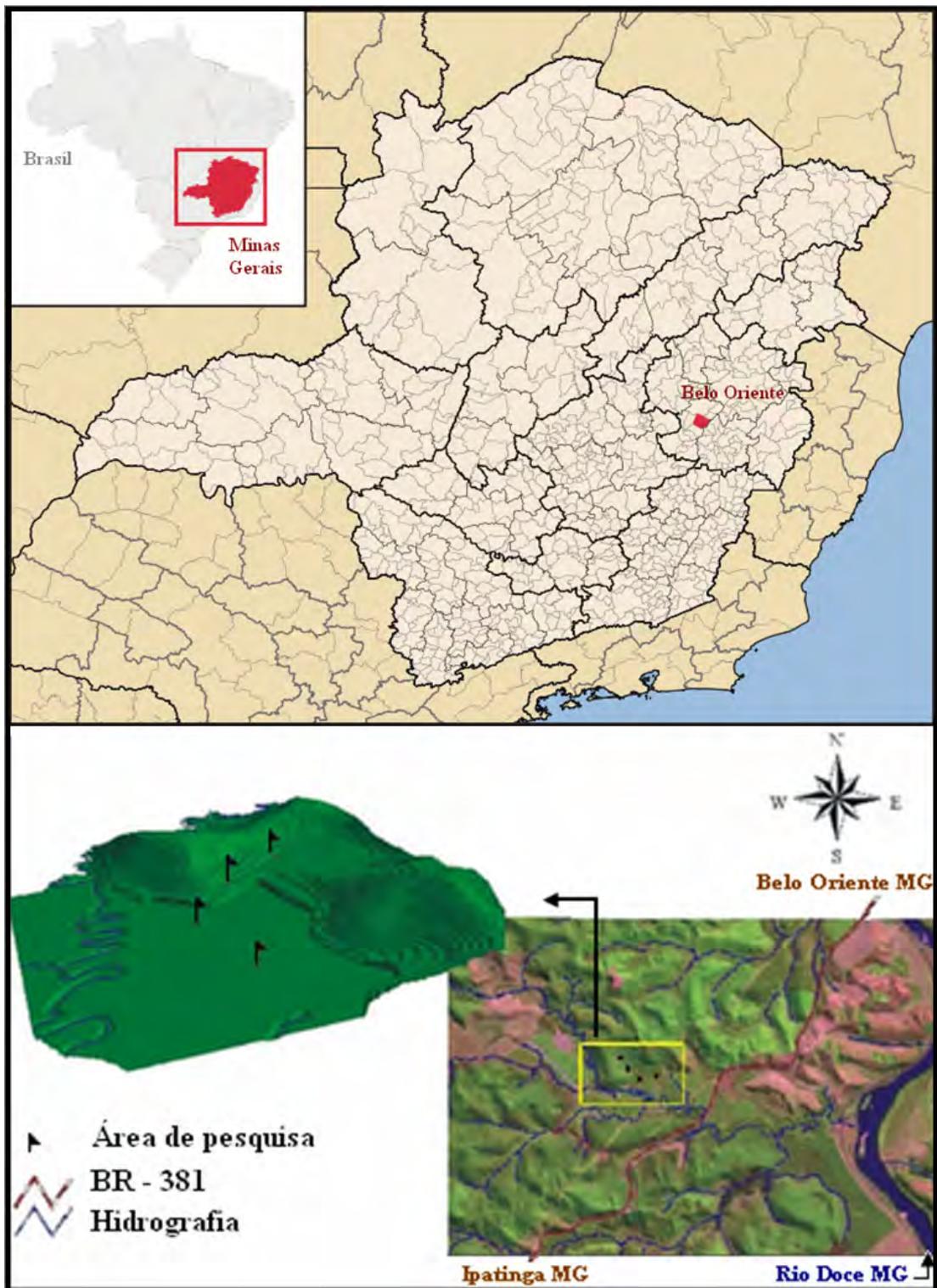


Figura 2.2 – Localização da área da pesquisa.

3.2. Caracterização do estudo

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas: a primeira constituiu o planejamento de todo o corpo do estudo. A segunda etapa compôs-se do acompanhamento no campo das atividades operacionais e estudo de tempos e movimentos de colheita, para cada atividade, visando obter informações detalhadas do trabalho das máquinas. A terceira etapa consistiu na tabulação e análise dos dados operacionais em cada parcela, bem como na verificação das variáveis que influenciam a produtividade, a escolha do espaçamento e o impacto da declividade.

3.2.1. Declividade

A área de estudo foi dividida em duas faixas de declividade, que compuseram os blocos experimentais, determinados com o auxílio de um clinômetro da marca Haglöf Sweden.

Bloco 1 – Baixada – com declividade variando de 0° a 4°.

Bloco 2 – Encosta – com declividade de 5° a 26°.

3.2.2. Espaçamentos

Esta variável foi empregada em três níveis nos tratamentos do experimento de colheita com o *harvester* e *forwarder*. Os espaçamentos usados na área de estudo foram:

I – 3 m x 2,5 m – espaçamento característico de 3 m entre linhas e 2,5 m entre árvores na mesma linha.

II – 3 m x 3,33 m – espaçamento característico de 3 m entre linhas e 3,33 m entre árvores na mesma linha.

III – 3 m x 4 m – espaçamento característico de 3 m entre linhas e 4 m entre árvores na mesma linha.

3.3. Determinação das parcelas

O povoamento florestal avaliado neste estudo foi implantado pelo grupo de pesquisa da empresa. Preliminarmente, foi selecionada uma área de fácil acesso e com as características de declividade e solo. Este projeto foi denominado de Baixada do Cajá (bloco 1) e Cajá (bloco 2).

Realizou-se o plantio na área com os três tratamentos (espaçamentos 3 m x 2,5 m; 3 m x 3,33 m; e 3 m x 4 m), composto de 13 repetições na baixada (bloco 1) e 7 repetições na encosta (bloco 2).

Depois de alocado o experimento, procuraram-se realizar todas as operações silviculturais, para proporcionar as características desejadas à floresta.

Dois meses antes foi realizada a operação de roçada, de forma que, dentro de cada amostra, as condições fossem as mais homogêneas possíveis, eliminando-se as prováveis diferenças que não as atribuídas aos blocos e tratamentos.

Foram identificadas e demarcadas as árvores extremas de cada parcela, para facilitar a visualização dos operadores das máquinas. A Figura 2.3 representa o mapa da localização e características das parcelas experimentais.

3.4. Características do povoamento

Em abril de 2009, a equipe da empresa efetuou o inventário amostral, a fim de obter informações dendrométricas mais precisas sobre as parcelas experimentais, realizando-se o censo completo de cada unidade amostral, quando foi obtido o número exato de árvores existentes nas parcelas. Assim, as características dos blocos e tratamentos encontram-se nos Quadros 2.1 e 2.2. No Quadro 2.1, observa-se tendência de aumento do volume médio das árvores à medida que se reduz o espaçamento e migra-se da encosta para a baixada.

A transformação do volume de madeira com casca (cc) para volume de madeira sem casca (sc) foi efetuada com base em dados médios de porcentagem de casca do material genético, considerando-se uma redução de 13% em volume.

A coleta de dados ocorreu no período de 2 a 22 de junho de 2009, em dois turnos, o primeiro das 8 às 16 h e o segundo, das 16 às 24 h. No decorrer da operação, foram usados os mesmos operadores para cada máquina, ressaltando-se que todos foram treinados e possuíam experiência de mais de dois anos na operação das máquinas. Foi avaliada a produtividade das máquinas *harvester* e *forwarder* no sistema *Cut-to-length*, com o comprimento de tora de 4,40 m.

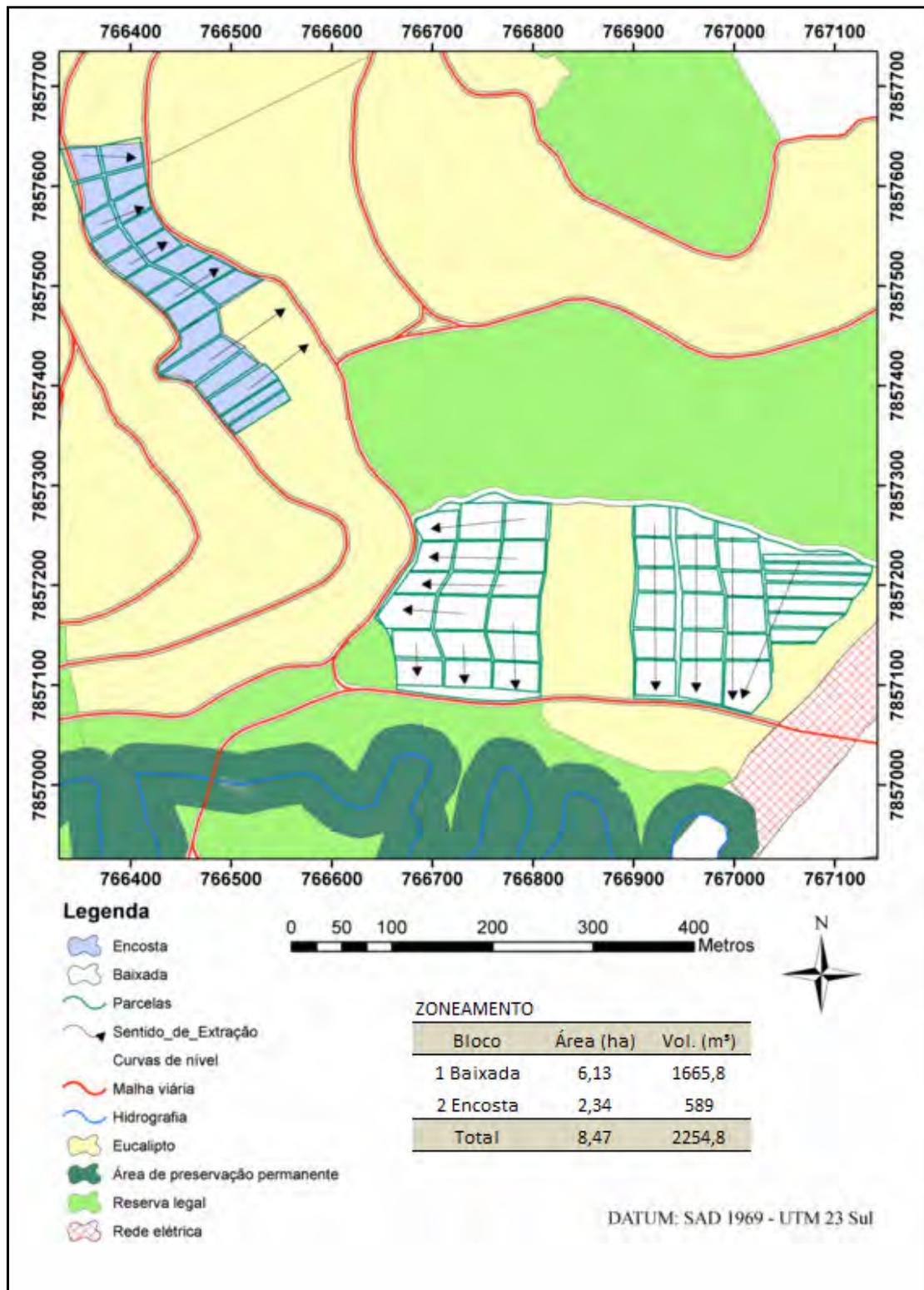


Figura 2.3 – Análise espacial das parcelas experimentais.

Quadro 2.1 – Dados médios de volume por árvore, em metro cúbico, com casca (m³cc/árv.) aos 7 anos e quantidades das parcelas em relação aos blocos e tratamentos experimentais

| Blocos | | Espaçamentos | | | | | | Média |
|--------|---------|--------------|----|------------|----|-----------|----|-----------|
| | | 3 m x 2,5 m | | 3m x 3,33m | | 3 m x 4 m | | |
| | | vol./árv. | Pa | vol./árv | Pa | vol./árv. | Pa | vol./árv. |
| 1 | Baixada | 0,308 | 13 | 0,339 | 13 | 0,402 | 13 | 0,350 |
| 2 | Encosta | 0,273 | 7 | 0,319 | 7 | 0,371 | 7 | 0,321 |
| Média | | 0,290 | | 0,329 | | 0,387 | | |

Pa – número de parcelas; e vol./árv. – volume por árvore (m³).

Quadro 2.2 – Número médio de árvores por hectare e porcentagem de sobrevivência dos tratamentos analisados

| Espaçamento | Árvores/ha | % Sobrevivência |
|--------------|------------|-----------------|
| 3 m x 2,5 m | 1.164,383 | 87,328 |
| 3 m x 3,33 m | 878,760 | 87,788 |
| 3 m x 4 m | 721,318 | 86,558 |

As operações foram iniciadas diariamente com o diálogo de segurança, saúde ocupacional e análise prevencionista de risco. Os locais de colheita foram devidamente sinalizados, para toda a equipe (operadores, mecânicos, coletor de dados e o auxiliar de coleta de dados), com o intuito de evitar possíveis fontes geradoras de acidentes.

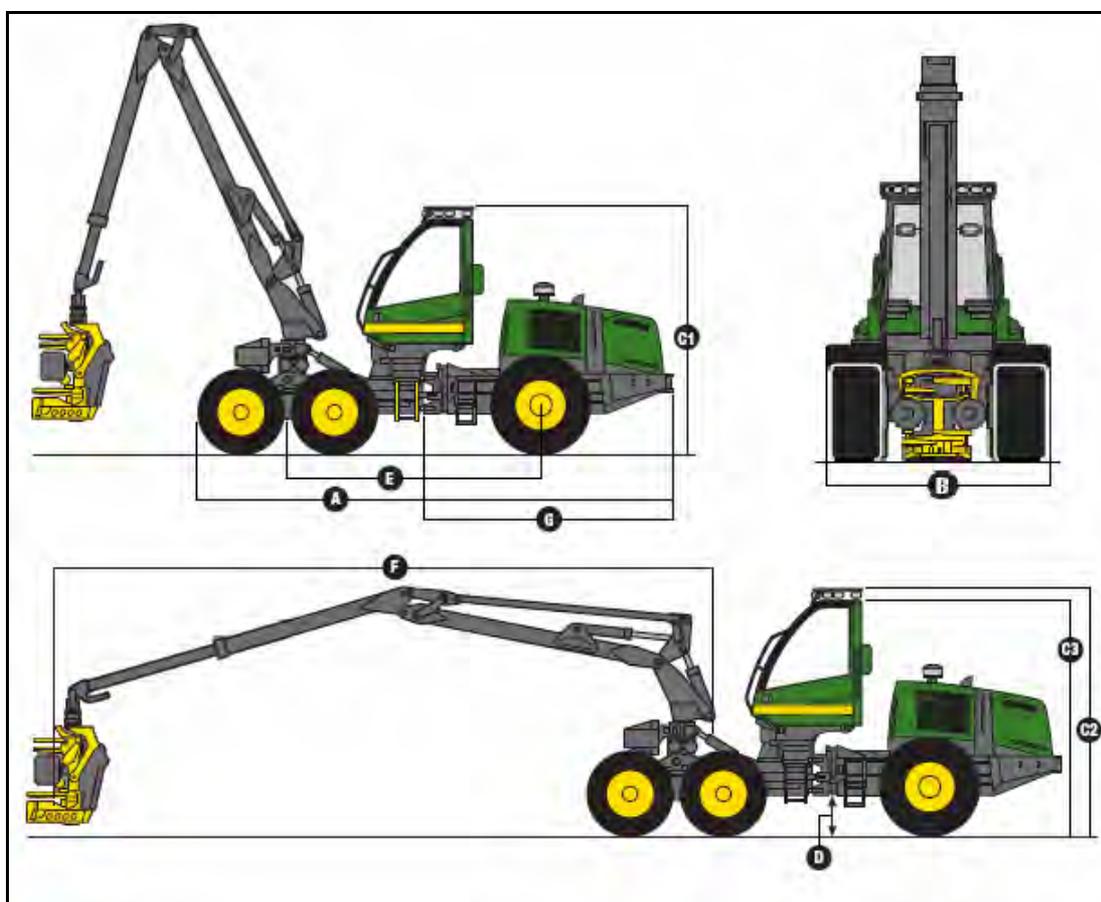
3.5. Descrição das máquinas analisadas

3.5.1. *Harvester*

Utilizou-se o *harvester* John Deere modelo 1470D, motor John Deere 6090 (Tier 3), potência de 241 hp e cabeçote *harvester* modelo 270 John Deere, capacidade de corte de 4 cm até 62 cm de diâmetro, tração 6x6, com esteiras unindo os pneus da frente e proporcionando maior aderência e menor compactação do solo, conforme mostrado na Figura 2.4. Demais informações relacionadas ao *harvester* encontram-se na Figura 2.5.



Figura 2.4 – Vistas frontal e lateral do *Harvester* John Deere, modelo 1470D.



A – comprimento de 7,72 m; B – largura de 2,96 m; C1 – altura de transporte de 3,81 m; C2 – altura girando a cabine de 3,95 m; C3 – altura com cabine nivelada para trás de 3,85 m; D – altura em relação ao solo de 0,71 m; E – distância entre eixos de 4,05 m; F – alcance do cabeçote de 8,60 m; e G – seção traseira de 3,90 m.

Figura 2.5 – Dimensões do *harvester* John Deere 1470D.

A operação iniciou-se com o posicionamento do *harvester* à frente e à esquerda da parcela a ser colhida. O operador posicionou o cabeçote ao pé da árvore, com as facas e rolos abertos. No instante em que o cabeçote tocava o solo e a árvore, acionava-se levemente o fechamento das facas e rolos do cabeçote comprimindo a árvore, dando-se o comando para efetuar o corte de derrubada, tombando a árvore à direita da máquina. Posteriormente, procedeu-se com o descascamento, desgalhamento e traçamento de cada árvore individualmente, dispondo as toras em feixes. A operação finalizou-se após o processamento da última árvore da parcela.

O *harvester* operou em uma faixa de corte de quatro linhas, sempre se deslocando sobre a segunda linha. A derrubada da faixa de corte realizou-se primeiramente pela 2ª linha, seguida da 1ª, 3ª e 4ª linhas. A máquina realizou, em média, o corte de quatro árvores sem deslocamento. O traçamento efetuou-se à margem da primeira linha na faixa de corte e os toretes foram posicionados em feixes direcionados aproximadamente 90° em relação ao *harvester*. O número de árvores por feixe foi, em média, de 12 árvores. A galhada, as folhas e a casca das árvores foram depositadas próximo à 2ª linha da faixa de corte, onde a máquina trafegou como ilustrado na Figura 2.6, mostrando a logística geral das parcelas. Entre uma faixa e outra de corte dentro da parcela, o *harvester* realizava uma manobra, movimento da máquina para o retorno do final da parcela para o seu início.

3.5.2. Forwarder

Utilizou-se o *forwarder* John Deere modelo 1710D, motor John Deere 6081 (Tier 2), potência de 215 hp, com tração 8 x 8 e esteiras unindo os pneus em pares, possibilitando maior aderência e menor compactação do solo; garra Hultdins, modelo 360S, com 0,36 m² de área, conforme mostrado na Figura 2.7. Demais informações relacionadas ao *forwarder* encontram-se na Figura 2.8.

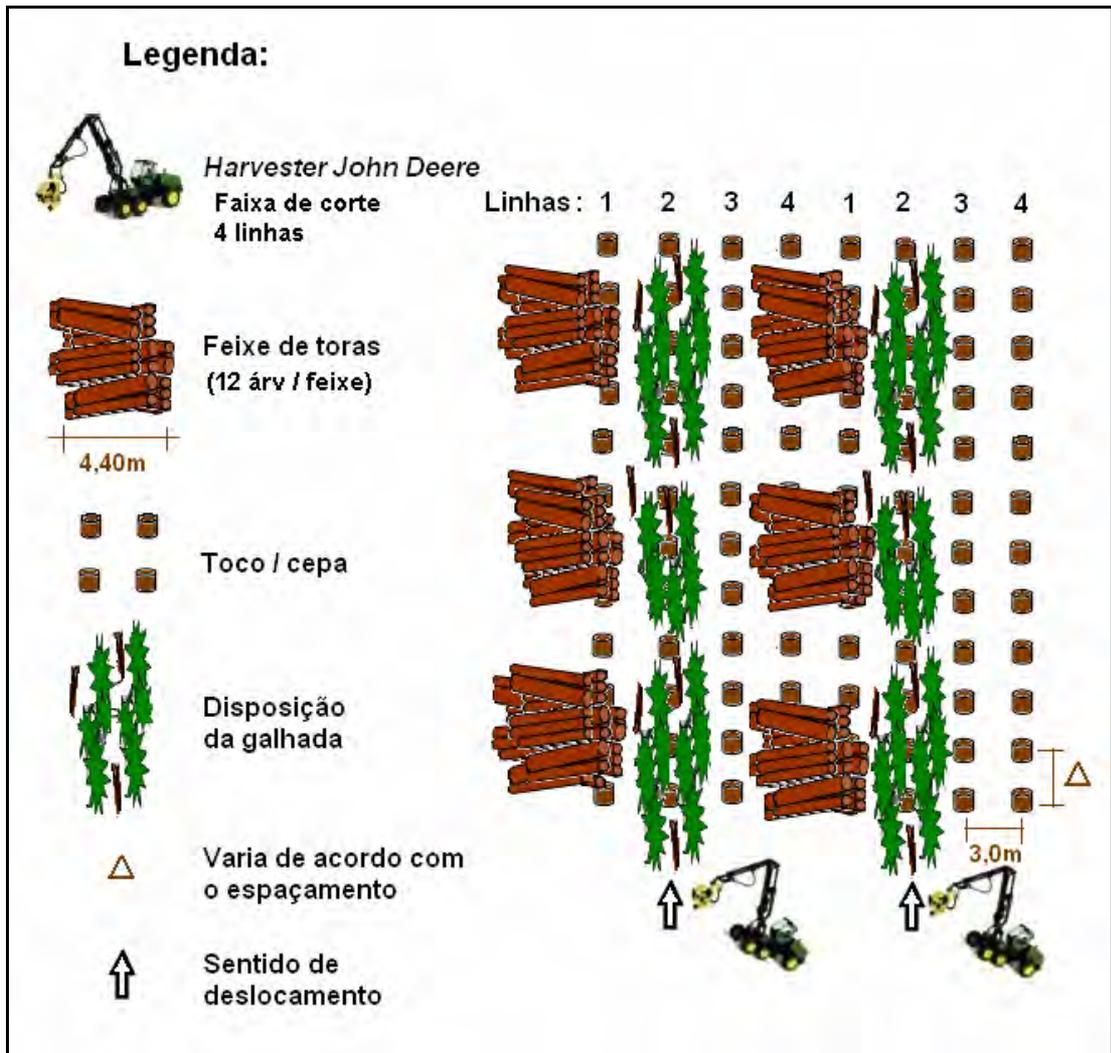
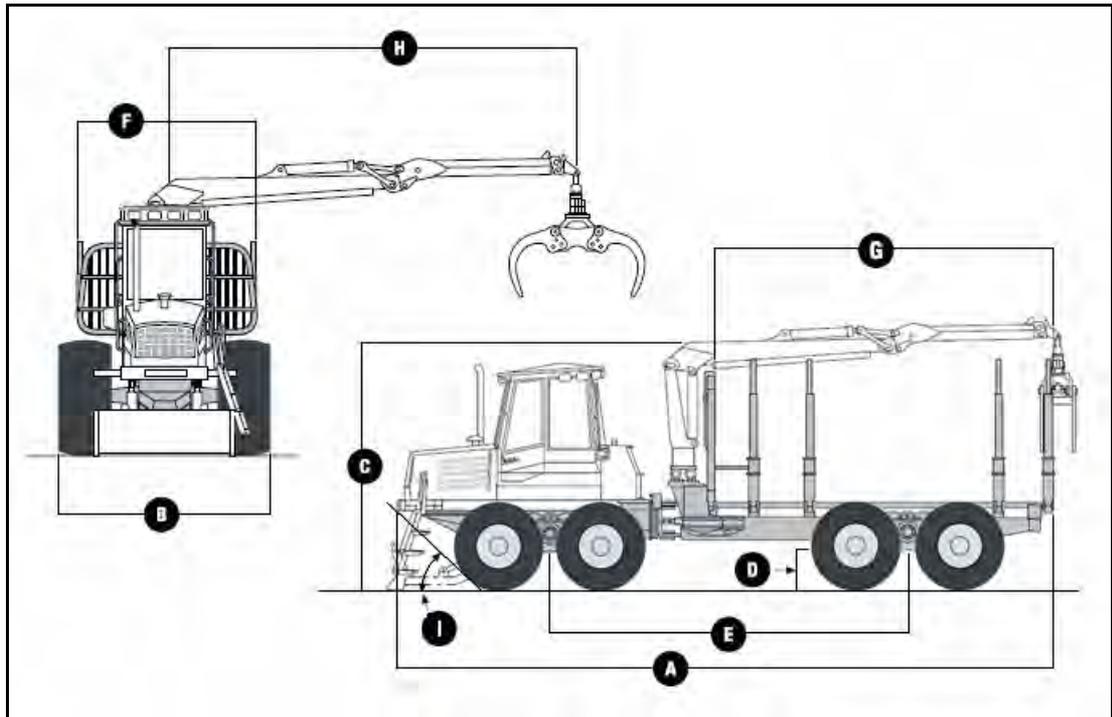


Figura 2.6 – Modelo operacional do *harvester*.



Figura 2.7 – Vista traseira e frontal do *Forwarder* John Deere modelo 1710D.



A – comprimento de 10,85 m; B – largura de 2,95 m; C – altura de 3,9 m; D – altura em relação ao solo de 0,73 m; E – distância entre eixos de 5,90 m; F – largura da caixa de carga de 2,95 m; G – comprimento da caixa de carga de 5,56 m; H – alcance da garra de 8,50 m; e I – ângulo da lâmina de 42°.

Figura 2.8 – Dimensões do *forwarder* John Deere 1470D.

A operação do *forwarder* iniciou-se com o posicionamento deste à frente de cada parcela de onde se deslocava, e realizou-se o autocarregamento até completar a carga. Em seguida, a máquina deslocou-se em direção à margem da estrada para o descarregamento, formando as pilhas de madeira em locais determinados no microplanejamento da colheita.

O *forwarder* deslocou-se sobre a segunda linha, realizando o carregamento dos feixes pelos dois lados (direito e esquerdo), nas parcelas de baixada. Já na área da encosta o carregamento foi quase sempre apenas por um lado.

O extração restringiu-se à madeira de cada parcela, mesmo quando a última carga não foi completa. Nesse caso, media-se a quantidade de madeira no compartimento de carga do *forwarder*.

No deslocamento do *forwarder* da parcela até a pilha de madeira (margem da estrada) e vice-versa, geralmente não houve manobras. O

deslocamento com carga efetuou-se para frente e o deslocamento sem carga, de marcha-ré. O assento do *forwarder* é giratório, facilitando a visão quando se transita em ré. Na baixada, o carregamento começou no início da parcela, mas na encosta, devido à declividade, o *forwarder* iniciou o carregamento do final da parcela para seu início. Nas Figuras 2.9 e 2.10, apresenta-se o modelo operacional do *forwarder*, mostrando a logística geral das parcelas.

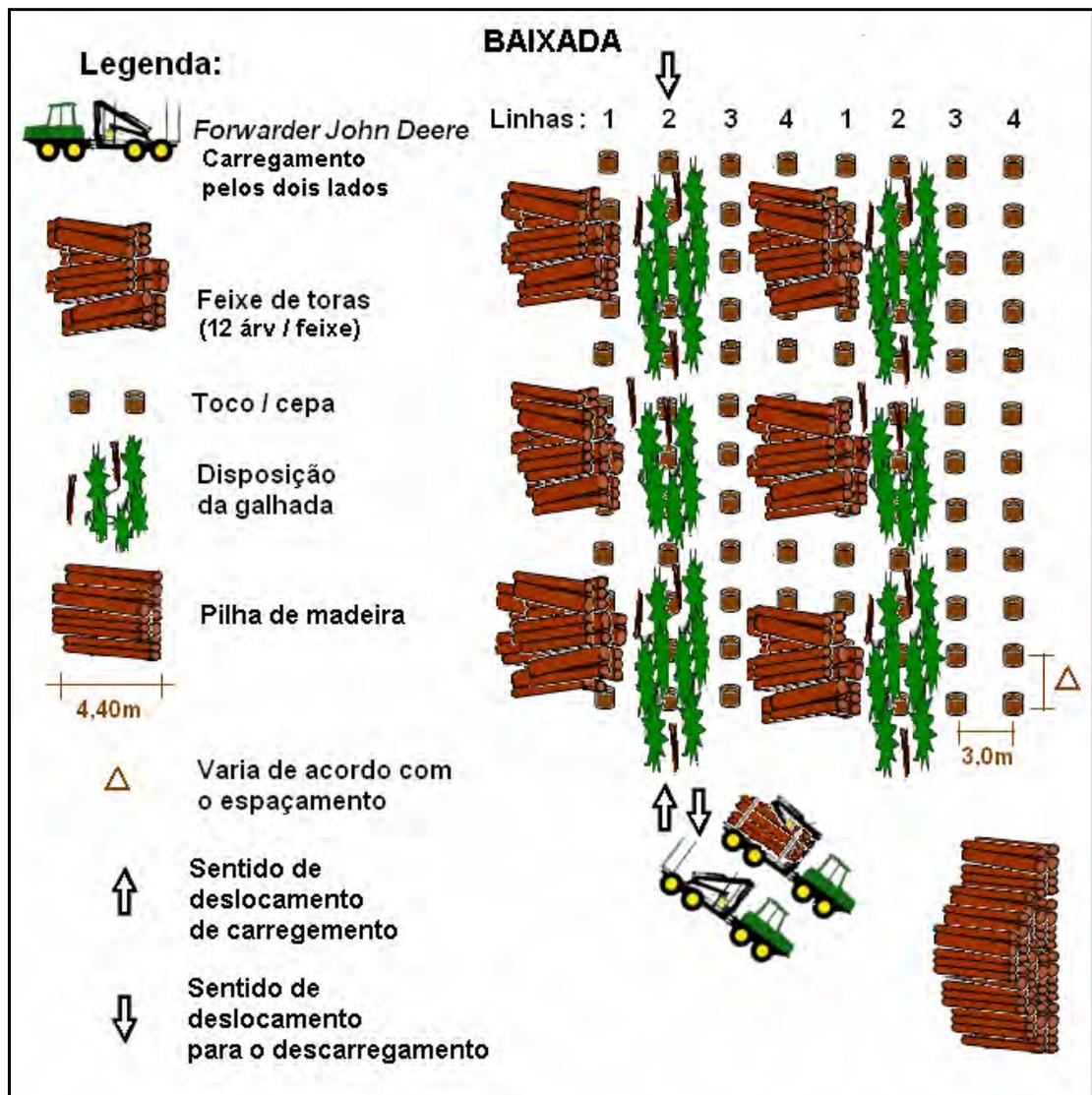


Figura 2.9 – Modelo operacional do *forwarder* no bloco 1.

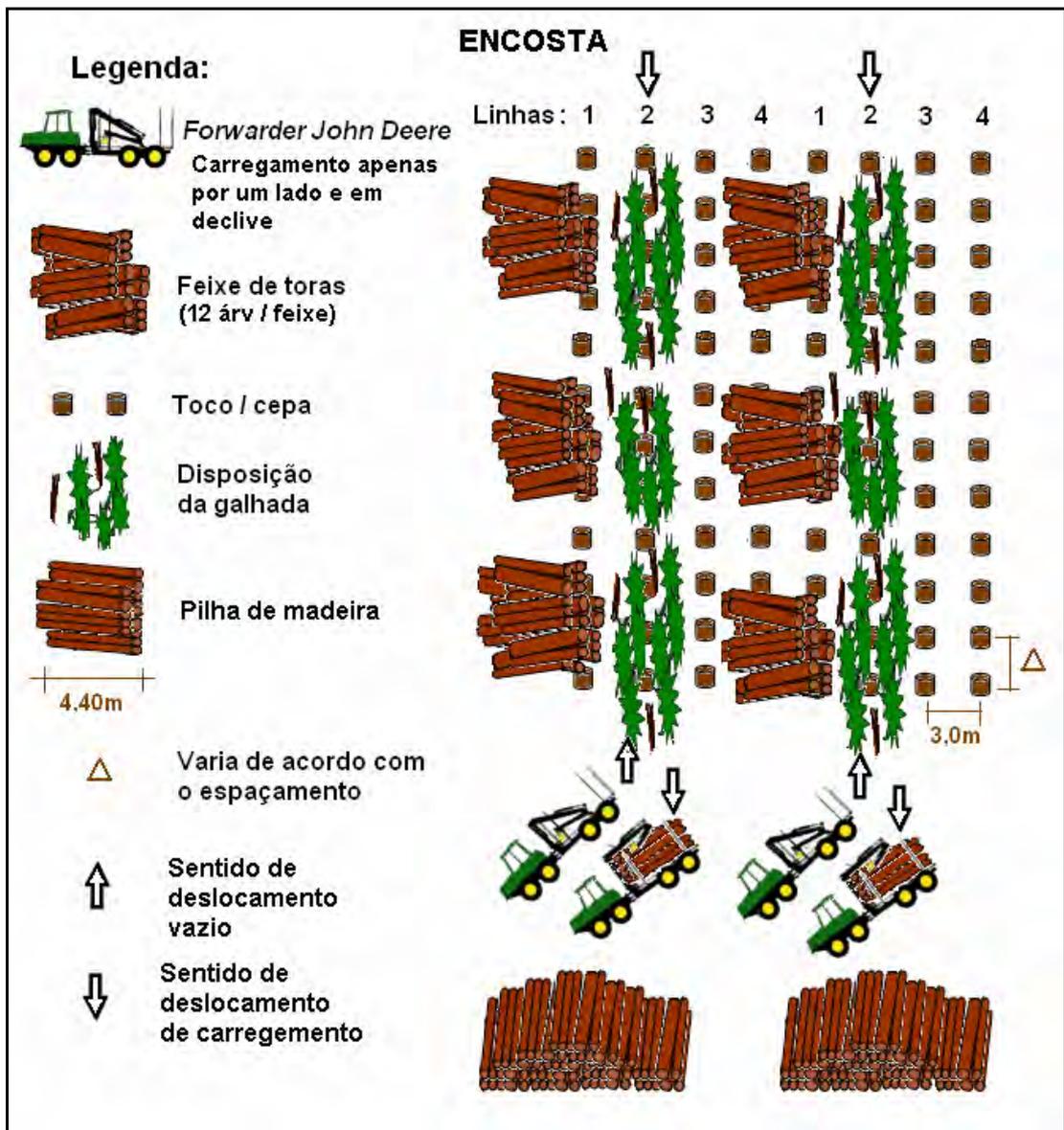


Figura 2.10 – Modelo operacional do *forwarder* no bloco 2.

Foi determinada a distância de extração da madeira com o auxílio de um distanciômetro. A distância máxima de extração foi de 207 m e a média, de 92,6 m, no bloco 1. No bloco 2, a máxima foi de 96 m e média de 43,2 m. Assim, para efeito de padronização da variável de deslocamento da máquina, considerou-se uma distância média de 100 m, determinada por equações de regressão.

3.7. Estudo de tempos e movimentos

Para o estudo de tempo e dinâmica operacional, efetuou-se uma divisão dos movimentos executados pelo *harvester* e *forwarder* na realização das operações, denominadas elementos do ciclo operacional.

No estudo do ciclo operacional das máquinas, devido ao curto espaço de tempo entre os elementos parciais da dinâmica, utilizou-se a marcação pelo método de multimomento. Esse método é útil para especialmente determinar atividades que apresentam curto espaço de tempo. As observações visuais foram efetuadas a cada 15 segundos, descrevendo-se a atividade exercida no formulário de dinâmica operacional. Entretanto, para as atividades de deslocamento com carga e sem carga do *forwarder* foi contabilizado e marcado no formulário o tempo integral das viagens, método de tempo contínuo. Na coleta de tempos das atividades, optou-se por usar um cronômetro digital sexagesimal da marca Oregon Scientific.

Foram coletados os dados dos elementos parciais do ciclo operacional a partir do momento em que se iniciaram as operações na parcela até o seu término, computando as frequências das parcelas do *harvester* e *forwarder* e o tempo das viagens por parcela do *forwarder*.

Com o auxílio dos formulários de análise de estudo de tempo, foram registradas todas as ocorrências da jornada, como: horas disponíveis, horas trabalhadas, consumo de combustível, tempo parado e características do local de trabalho: inclinação do terreno, condições climáticas e condições operacionais.

3.7.1. Ciclo operacional do *harvester*

Para o corte com *harvester*, consideraram-se os elementos parciais que compuseram o ciclo operacional de corte e processamento. As atividades consideradas na dinâmica neste trabalho foram:

- ✓ Deslocamento da máquina: considerou-se o deslocamento da máquina na parcela.
- ✓ Posicionamento do cabeçote para corte: referiu-se ao tempo decorrido após o traçamento da árvore (sem deslocamento da

máquina), quando ocorre direcionamento do cabeçote para a próxima árvore a ser cortada até que as facas e rolos do cabeçote estivessem totalmente fechados, prontos para iniciar o corte de abate da árvore.

- ✓ Corte de derrubada: referiu-se ao acionamento do sabre até a finalização do corte de derrubada.
- ✓ Tombamento da árvore: considerou-se o tempo gasto após o corte até que a árvore tocasse o solo ou quando se iniciava o descascamento da árvore.
- ✓ Descascamento/desgalhamento: considerou-se como o tempo decorrido em que os rolos e facas deslizaram sobre o tronco da árvore, descascando-a e desgalhando-a.
- ✓ Traçamento: referiu-se ao acionamento do sistema de corte do cabeçote, a medição e o corte propriamente dito até o último torete.
- ✓ Manobra: referiu-se aos movimentos da máquina para o retorno ao final da parcela para o início dessa ação até o momento em que a máquina se encontrasse na frente da próxima faixa de corte da parcela.
- ✓ Pausa técnica: considerou-se o tempo gasto com ajuste de corrente; comunicação via rádio.
- ✓ Pausa pessoal: compreendeu o período referente às necessidades fisiológicas dos operadores.
- ✓ Limpeza: referiu-se ao deslocamento do cabeçote no local de formação dos feixes, realizando a limpeza do local e depositando o material orgânico na linha de tráfego do *harvester*.
- ✓

Detalhes do ciclo operacional do *harvester* podem ser vistos na Figura

2.11.



Figura 2.11 – Ciclo operacional do *harvester*.

3.7.2. Ciclo operacional *forwarder*

Para o *forwarder*, consideraram-se os elementos parciais que compuseram a dinâmica operacional de extração em três formatos, sendo o primeiro de carga, o segundo de descarga e o último de deslocamento vazio e carregado entre as parcelas e as pilhas de madeira.

As atividades da dinâmica operacional de carga do *forwarder* foram:

- ✓ Deslocamento sem carga: considerou-se o deslocamento da máquina na parcela.
- ✓ Girar grua sem carga: compreendeu o movimento da grua do compartimento de carga da máquina em direção aos feixes de madeira, com a garra vazia.
- ✓ Carregamento e ajustamento de carga: considerou-se o movimento da garra próximo aos feixes de madeira até que a garra segurasse um número de toras a serem erguidas para o carregamento, levando-se ainda o ajuste dos toretes, quando necessário.
- ✓ Girar grua com carga: referiu-se ao movimento da garra com carga em direção ao compartimento de carga da máquina até antes de depositar a madeira na caixa de carga.
- ✓ Descarregamento e ajustamento de descarga: considerou-se a deposição dos toretes sobre o compartimento de carga, seguido pelo ajuste da madeira.
- ✓ Pausa técnica: considerou-se o tempo gasto com ajuste de corrente; comunicação via rádio.
- ✓ Pausa pessoal: compreendeu o período referente às necessidades fisiológicas dos operadores.

Para as atividades de dinâmica operacional de descarga do *forwarder*, consideraram-se as atividades de:

- ✓ Carregamento e ajustamento de carga: compreendeu o posicionamento da garra aberta sobre a madeira disposta na caixa de carga, a execução da carga e o ajuste da madeira na garra.

- ✓ Girar grua com carga: referiu-se ao movimento da grua com a garra cheia, a partir da caixa de carga em direção à pilha de madeira à margem da estrada.
- ✓ Descarregamento e ajustamento de descarga: considerou-se a deposição da madeira sobre a pilha, ajustando o posicionamento dos toretes.
- ✓ Girar grua sem carga: compreendeu o movimento da grua da pilha de madeira para o compartimento de carga da máquina.
- ✓ Pausa técnica: considerou-se o tempo gasto com ajuste de corrente; comunicação via rádio.
- ✓ Pausa pessoal: compreendeu o período referente às paradas para necessidades fisiológicas dos operadores.

O estudo de tempo do deslocamento entre a pilha e as parcelas foi determinado pelos seguintes elementos:

- ✓ Deslocamento sem carga: referiu-se ao movimento da máquina após a descarga até o início de nova carga na parcela.
- ✓ Deslocamento com carga: compreendeu desde o instante que o operador completa a carga e coloca a pinça da grua sobre essa carga, deslocando o *forwarder* até a sua parada no local de descarga.

Como os critérios das atividades de pausa técnica e pausa pessoal das operações de carga e descarga foram os mesmos, efetuou-se o agrupamento destes, chamados de *outros*.

Na dinâmica de tempo do *forwarder*, ainda foram registrados o volume de madeira, a distância e o tempo de deslocamento de extração nas parcelas. Elaborou-se um modelo estatístico dos dados cronometrados para efeitos de padronização de deslocamento na extração de madeira das parcelas, homogeneizando o tempo de deslocamento nas parcelas experimentais.

A Figura 2.12 apresenta detalhes do carregamento, descarregamento e deslocamento com carga e sem carga do *forwarder* em operação.



Figura 2.12 – Ciclo operacional do *forwarder*.

3.8. Determinação da produtividade operacional

Para determinação da produtividade operacional do *harvester* e do *forwarder*, preliminarmente utilizaram-se os dados do inventário, o número exato de árvores e o volume médio por árvore, por parcela e por hectare, em cada parcela. Assim, com o acompanhamento das atividades das máquinas obteve-se o número de horas efetivamente trabalhadas (He) por parcela, não sendo considerado o tempo com interrupções mecânicas.

Por fim, chegou-se ao valor de produtividade do *harvester* e do *forwarder* em cada parcela, pela equação 2.1.

$$PM = \frac{V}{he} \tag{2.1}$$

em que:

PM = produtividade da máquina (m³ cc/he);

V = volume da parcela (m³); e
he = horas efetivamente trabalhadas.

3.9. Taxa de disponibilidade mecânica

A disponibilidade mecânica refere-se à porcentagem do tempo de trabalho programado em que a máquina se encontrava em perfeitas condições de uso para desempenhar determinada função produtiva, de acordo com condições preestabelecidas, durante dado intervalo de tempo, desconsiderando-se, portanto, o tempo em que a máquina estava em conserto ou manutenção. O resultado dessa relação é a taxa de disponibilidade da máquina expressa em porcentual.

Esse índice foi obtido a partir dos dados médios da empresa onde se realizou o trabalho, pois são dados que expressam a disponibilidade mecânica ao longo da vida útil da máquina.

3.10. Eficiência operacional

Eficiência operacional é relativa à porcentagem do tempo efetivamente trabalhado em relação ao tempo total programado para o trabalho de determinada máquina, sendo expressa em porcentagem.

A eficiência operacional foi obtida a partir dos dados médios da empresa onde se realizou o trabalho, pois são dados que expressam a eficiência da máquina ao longo da sua vida útil.

3.11. Análise econômica das máquinas estudadas

O cálculo da análise econômica dos maquinários utilizados foi baseado nos custos operacionais do *harvester* e *forwarder* analisados. Na determinação do custo de produção, considerou-se apenas a porção do tempo total durante o qual a máquina foi programada para executar um trabalho produtivo, ou seja, o tempo no trabalho.

Esses custos operacionais foram calculados com base nos dados concedidos pela empresa e pelo fabricante, englobando disponibilidade mecânica, eficiência operacional, custos de administração, transporte, mão

de obra do maquinário e custo de peças. As informações usadas para os cálculos da análise econômica, demonstradas no Apêndice, são provenientes de séries históricas da empresa, pois são mais completas e, portanto, mais confiáveis.

Os custos operacionais do *harvester* e *forwarder* foram determinados separadamente e divididos em custos fixos, custos variáveis e custo de administração, expressos em dólares por hora efetiva de trabalho (US\$/he), como descrito por Moreira (2001) e acrescido por algumas mudanças de Burla (2008), como o custo de peças.

Foram determinados os custos operacionais em dólar (US\$), devido ao efeito de comparação de publicações científicas e em razão do fato de essa moeda apresentar impacto mundial. Nesse contexto, alguns itens que compõem a planilha de custos obtidos em reais (R\$) foram convertidos em dólares. Na taxa de câmbio, R\$1,00 é igual a US\$1,885 para cotação comercial, segundo Bradesco (2009).

3.11.1. Custos fixos (CF)

Os custos fixos são a soma de todos os fatores físicos de produção, não variando com o nível de horas de operação ou produção das máquinas, e ocorrem mesmo quando a máquina não estiver em operação. Os custos fixos são determinados pela somatória dos custos de depreciação, juros e seguros das máquinas.

- ✓ **Depreciação (Dp):** o custo de depreciação é o custo decorrente do desgaste ou obsolescência natural ao longo do tempo com o uso da máquina no processo produtivo. Para muitas máquinas florestais, essa perda de valor é apropriada pela contabilidade periodicamente até que esse ativo tenha valor reduzido a zero. A inclusão da importância no custo operacional expressa a perda de valores imobilizados de utilização para a aquisição de uma nova máquina ou outro bem de produção. Esse custo é expresso pela equação 2.2.

$$Dp = \frac{Va - Vpn - Vr}{(N * he)} \quad (2.2)$$

em que:

Dp = depreciação linear da máquina (US\$/he);

Va = valor de aquisição da máquina (US\$);

Vr = valor residual da máquina (%);

Vpn = valor de um jogo de pneus (US\$);

N = vida útil estimada (anos); e

he = horas efetivas de uso anual.

- ✓ **Juros e Seguros (JS):** os juros foram calculados sobre o valor de cada máquina, aplicando-se ao investimento médio anual (IMA), equação 3, a uma taxa de juros correspondente em que seria aplicado o capital. Neste trabalho, utilizou-se uma taxa real de juros de 12% a.a. Os seguros são os custos justificados por parte da empresa para ser indenizada por uma seguradora em caso de acidentes, pois essas máquinas estão em constantes perigos. O custo de juros e seguros está representado pelas equações 2.3 e 2.4.

$$JS = \frac{IMA * i}{he} \quad (2.3)$$

em que:

JS = custo de juros e seguros (US\$/He);

IMA = investimento médio anual (US\$);

i = taxa de juros mais seguros anuais simples (%); e

he = horas efetivas de uso anual.

$$IMA = \frac{(Va - Vr) * (N + 1)}{2 * N} + Vr \quad (2.4)$$

em que:

Va = valor de aquisição da máquina (US\$);

Vr = valor residual da máquina (%); e

N = vida útil estimada (anos).

3.11.2. Custos variáveis (CV)

Custos variáveis são a soma de todos os fatores variáveis de produção, ou seja, os custos variam de acordo com a quantidade produzida ou com o uso da máquina. Esses custos variam em relação aos custos de combustíveis, lubrificantes, óleo hidráulico, pneus, remuneração de operadores ou equipe, manutenção e reparos, transporte das máquinas, operadores e, ou, equipe.

- ✓ **Custo de combustível (CC):** refere-se ao custo de consumo de combustível (gasolina ou óleo diesel) das máquinas, expresso pela equação 2.5. Foi considerado o consumo médio de combustível obtido pelos dados históricos da empresa onde o trabalho foi realizado.

$$CC = Pu * c \tag{2.5}$$

em que:

CC = custo de combustível (óleo diesel) (US\$/he);

Pu = preço do litro de combustível (US\$/l); e

c = consumo de combustível por hora efetiva (l/he).

- ✓ **Custo de graxas e lubrificantes (Cgl):** é o custo referente ao consumo de óleos lubrificantes e graxas. Esse custo foi calculado com base no percentual de combustível da máquina (equação 2.6). Foi considerado o consumo médio de lubrificantes e graxas obtido pelos dados da empresa onde se realizou o trabalho.

$$C_{gl} = ILG * CC \quad (2.6)$$

em que:

C_{gl} = custo de graxas e lubrificantes (US\$/he);

ILG = índice de custos com lubrificantes e graxas; e

CC = custos com combustíveis (US\$).

O ILG foi utilizado a partir dos dados médios da empresa onde o trabalho foi realizado. Esse índice variou de acordo com a máquina analisada.

- ✓ **Custo do óleo hidráulico (COH):** é o custo referente ao consumo de óleo hidráulico da máquina. Esse custo foi calculado com base no percentual de combustível da máquina, sendo dado pela equação 2.7. Foi considerado o consumo médio de óleo hidráulico obtido pelos dados da empresa onde o trabalho foi realizado.

$$COH = I * CC \quad (2.7)$$

em que:

COH = custo com óleo hidráulico (US\$/he);

I = índice de consumo por máquina (l/h); e

CC = custo do combustível (US\$/l).

Os índices de consumo das máquinas estudadas foram obtidos a partir dos dados médios da empresa onde o trabalho foi realizado.

- ✓ **Custo de pneus (CP):** é o custo referente aos rodados da máquina, que podem ser de pneus ou esteiras. O valor desse custo pode elevar sua representatividade, dependendo das condições da topografia, do ambiente, do alinhamento e da manutenção dos rodados, bem como o uso de protetores físicos para os pneus e a experiência do operador. É estimado pela equação 2.8.

$$CP = \frac{N_{pe} * V_{pe}}{H} \quad (2.8)$$

em que:

CP = custo de pneus (US\$/he);

N_{pe} = número de pneus por máquina;

V_{pe} = valor de um pneu da máquina (US\$/unidade); e

H = vida útil do pneu, em horas efetivas.

- ✓ **Custo de manutenção e reparo (CMR):** é o custo correspondente aos reparos e manutenções das máquinas durante sua vida útil, conforme expresso pela equação 2.9.

$$CMR = \frac{D_p}{EO} \quad (2.9)$$

em que:

CMR = custo de manutenção e reparos (US\$/he);

D_p = depreciação (US\$/he); e

EO = eficiência operacional (%).

- ✓ **Custo de peças:** é o correspondente às peças de substituição das máquinas durante a sua vida útil, conforme expresso pela equação 2.10.

$$C_{Pe} = CC * F_h \quad (2.10)$$

em que:

C_{Pe} = custo de peças (US\$/He);

CC = custo de combustível (US\$/l); e

F_h = fator de relação histórica.

O Fh foi utilizado a partir dos dados históricos médios da empresa onde o trabalho foi realizado e determinado juntamente com o setor de manutenção.

- ✓ **Custo de transporte de pessoal (CTP):** é o custo do deslocamento de pessoal até a frente das operações. Esse custo foi obtido a partir dos dados da empresa onde se realizou o trabalho, em valores mensais pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

- ✓ **Custo de transporte de maquinário (CTM):** é o custo gerado com o transporte das máquinas. Esse custo foi obtido a partir dos dados da empresa onde se realizou o trabalho, em valores mensais e individuais pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

- ✓ **Custo do pessoal operacional (COM):** é o custo total dos operadores, como salário mensal, 13º salário, férias, benefícios, encargos sociais, seguros, cuidados médicos, alimentação. Esse custo foi obtido a partir dos dados da empresa onde se realizou o trabalho, em valores mensais pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

3.11.3. Custo de administração (CAD)

Custos de administração são os custos associados aos trabalhos de escritório e supervisão das operações em campo. Esse custo foi obtido a partir dos dados da empresa onde se realizou o trabalho, em valores mensais e individuais pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

3.11.4. Custo operacional total (CT)

Este custo é determinado somando-se os custos fixos, variáveis e administrativos de cada máquina analisada neste trabalho, conforme descrito pela equação 2.11.

$$CT = CF + CV + CAD \quad (2.11)$$

em que:

CT = custo total (US\$/he);

CF = custos fixos (US\$/he);

CV = custos variáveis (US\$/he); e

CAD = custo de administração (US\$/he).

3.12. Custo de produção

O custo de produção das máquinas foi determinado pela divisão dos custos operacionais (US\$/he) em relação à produtividade (m³sc/he), seguindo as funções de cada módulo de colheita, cujo valor desse custo é dado em US\$/m³sc, como demonstrado na equação 2.12.

$$CPr = \frac{CT}{Prod} \quad (2.12)$$

em que:

CPr = custo de produção da máquina analisada (US\$/m³sc);

CT = custo operacional total da máquina (US\$/he); e

Prod = produtividade da máquina analisada (m³sc/he).

3.13. Delineamento estatístico

A análise estatística constituiu-se de delineamentos experimentais simples. Empregou-se o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC) composto de 13 repetições na baixada (bloco 1) e sete repetições na encosta (bloco 2), em que foram avaliados três tratamentos (espaçamentos de 3 m x 2,5 m, 3 m x 3,33 m e 3 m x 4 m). Os sistemas foram submetidos à significância de 5% de probabilidade.

Para a análise de contraste entre os tratamentos, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância.

Foram efetuadas análises de regressão dos elementos de deslocamento do *forwarder*, para determinar a relação do tempo ou

produtividade ou custo de produção (variáveis dependentes) com a distância de extração (variável independente) em cada bloco e tratamento estudados. Ainda para o *forwarder* foi efetuada uma análise de regressão, a fim de verificar a associação entre a produtividade ou custo de produção (variáveis dependentes) e a distância de extração (variável independente).

Utilizou-se outra análise de regressão para o *harvester*, a fim de verificar a associação entre a produtividade (variável dependente) e o volume por árvore (variável independente), a fim de estimar a equação que melhor explica a influência da principal variável no corte com o *harvester*.

Nesse contexto, foram selecionadas as equações de regressão que apresentaram maior coeficiente de determinação (r^2), menor coeficiente de variação (CV), melhor comportamento dos resíduos, maior significância e coerência em relação ao sinal dos coeficientes e maior facilidade de aplicação.

3.13. Análise de sensibilidade

Esta análise foi realizada com base na variação dos valores das seis principais variáveis do custo operacional. Realizou-se a análise de sensibilidade com base na variação de $\pm 20\%$ dos valores dos principais componentes do custo operacional do *harvester* e do *forwarder*, gerando um conjunto de dados. Com esse conjunto de dados, confeccionou-se a curva dessa variável no plano (x,y). Procedeu-se de modo análogo a todas as outras variáveis independentes, formando um conjunto de curvas denominado *Spiderplot*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

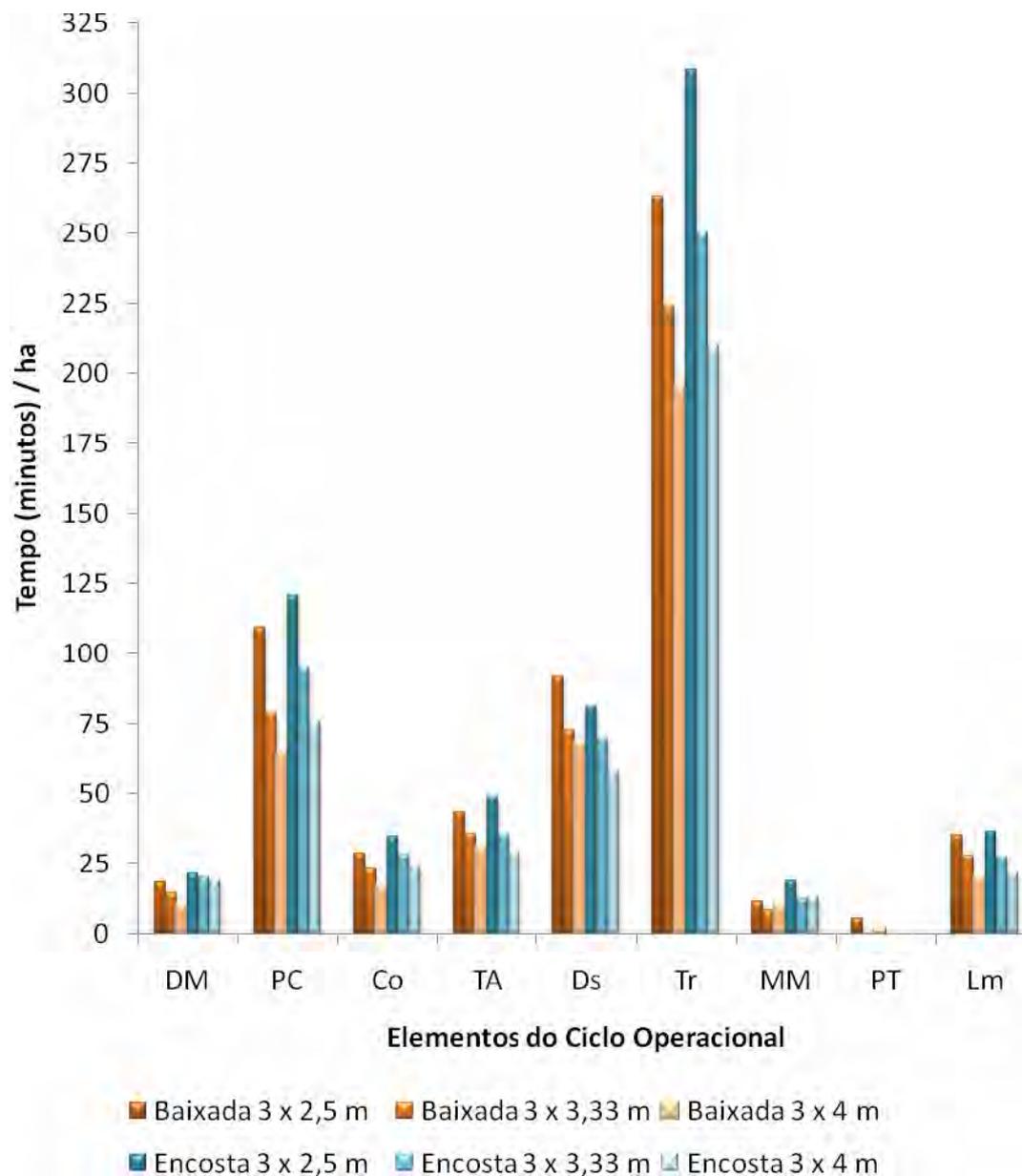
4.1. *Harvester*

4.1.1. Estudo de tempos e movimentos

O estudo de tempos e movimentos está detalhado em minutos por hectare e em porcentagem por hectare gasto em cada atividade, em média, das parcelas experimentais. Relaciona-se com as variáveis de estudo, especificamente representadas pelas Figuras 2.13 e 2.14, podendo-se, assim, identificar pontos críticos no processo produtivo e aperfeiçoá-los, de modo que ocorra maior harmonia entre o conjunto operador-máquina.

Em relação à coleta dos tempos dos elementos deslocamento da máquina e posicionamento do cabeçote, adotou-se o seguinte critério: ao deslocar o *harvester* em busca de um novo feixe, ele simultaneamente deslocava-se e posicionava o cabeçote em direção ao feixe a ser processado. Optou-se por considerar, nesses casos, o tempo gasto nessas operações como apenas deslocamento da máquina.

Quando o *harvester* se encontrava estacionado próximo ao feixe só ocorria o posicionamento do cabeçote em direção à próxima árvore a ser processada, considerando-se apenas o tempo de posicionamento do cabeçote.



DM – deslocamento da máquina; PC – posicionamento do cabeçote para corte; Co – corte de derrubada; TA – tombamento da árvore; Ds – descascamento/desgalhamento; Tr – traçamento; MM – manobra da máquina; PT – pausa técnica; e Lm – limpeza.

Figura 2.13 – Tempo, em minutos, por hectare dos elementos que compõem o ciclo operacional do *harvester* em relação aos blocos e tratamentos testados.

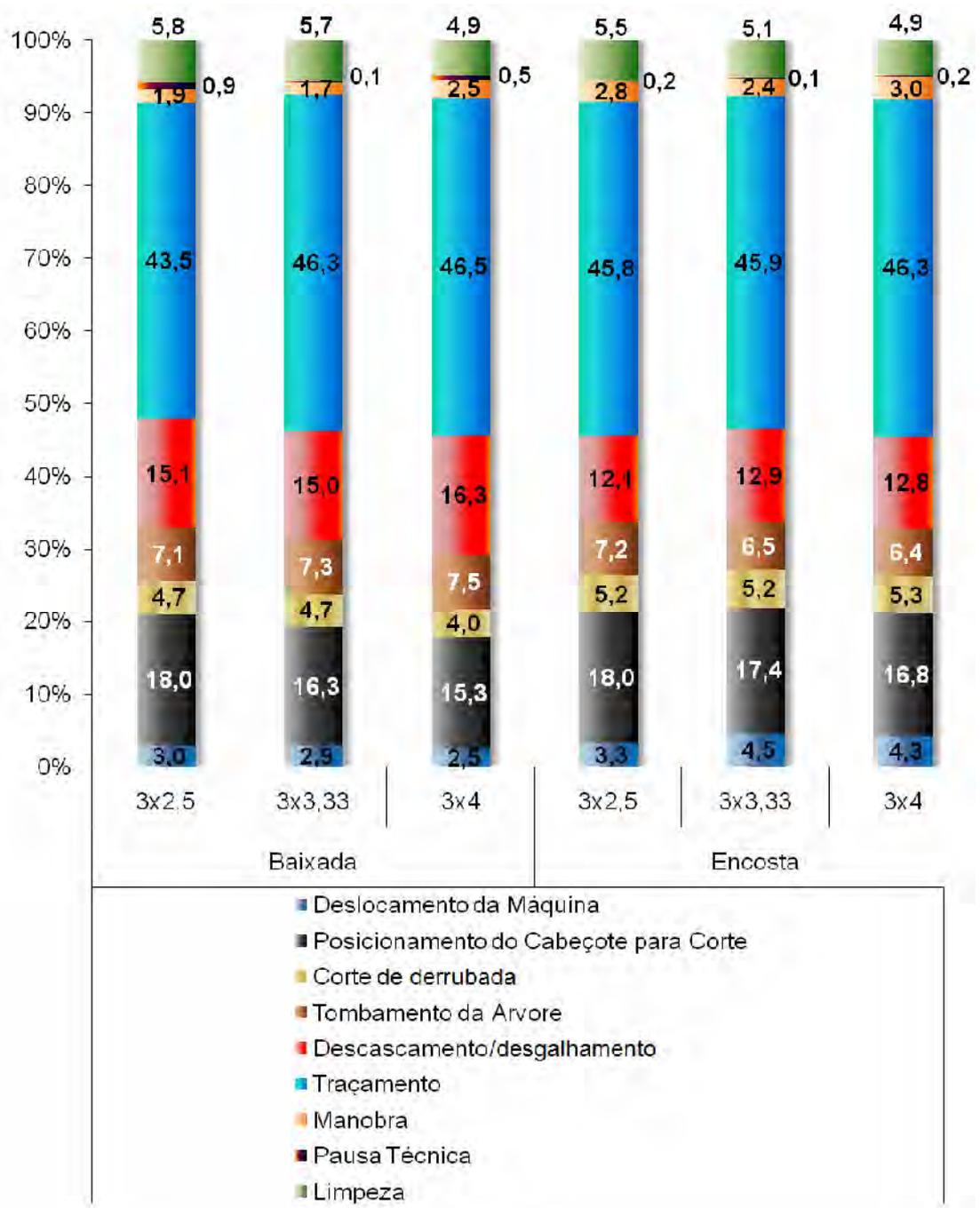


Figura 2.14 – Porcentagem média dos ciclos dos elementos que compõem o ciclo operacional do *harvester* em relação aos blocos e tratamentos analisados.

Na Figura 2.15, evidencia-se que os tempos por hectare dos principais elementos parciais do ciclo operacional seguem a tendência de declínio à medida que aumenta o espaçamento. Geralmente, os valores para a região de encosta são superiores aos das baixadas. Pode-se confirmar, também, que o traçamento tem maior consumo de tempo, sequenciado pelo posicionamento do cabeçote para corte e pelo descascamento/desgalhamento. Nas atividades de deslocamento da máquina, corte de derrubada e limpeza tomam muito pouco tempo durante esse processo.

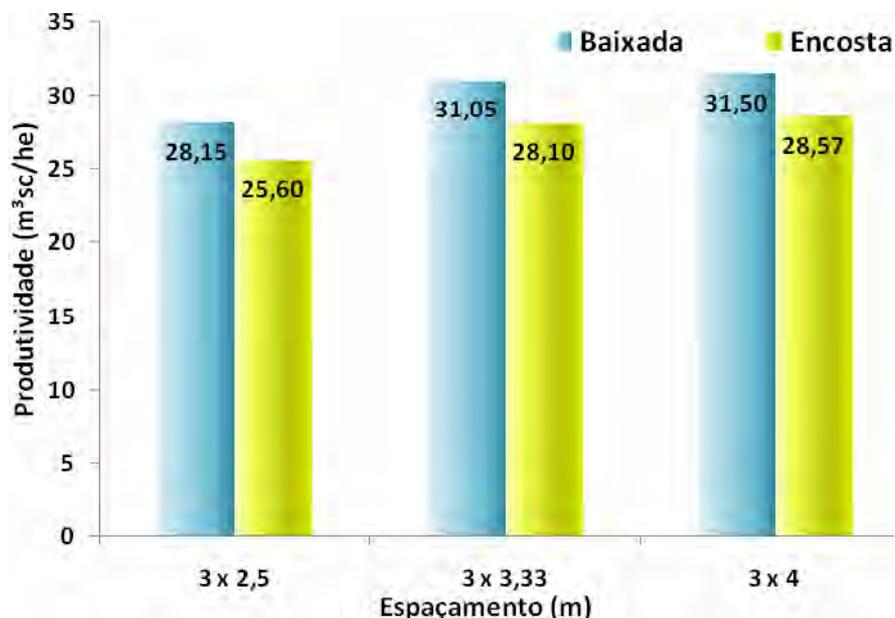


Figura 2.15 – Rendimentos médios operacionais do *harvester* em função do espaçamento e da declividade.

Na Figura 2.16, observa-se que a atividade de traçamento correspondendo a quase 50% do ciclo operacional, e 30% compreendem as atividades de posicionamento de cabeçote para corte e descascamento/desgalhamento. As outras atividades tiveram pouca representatividade diante do ciclo operacional do *harvester*.

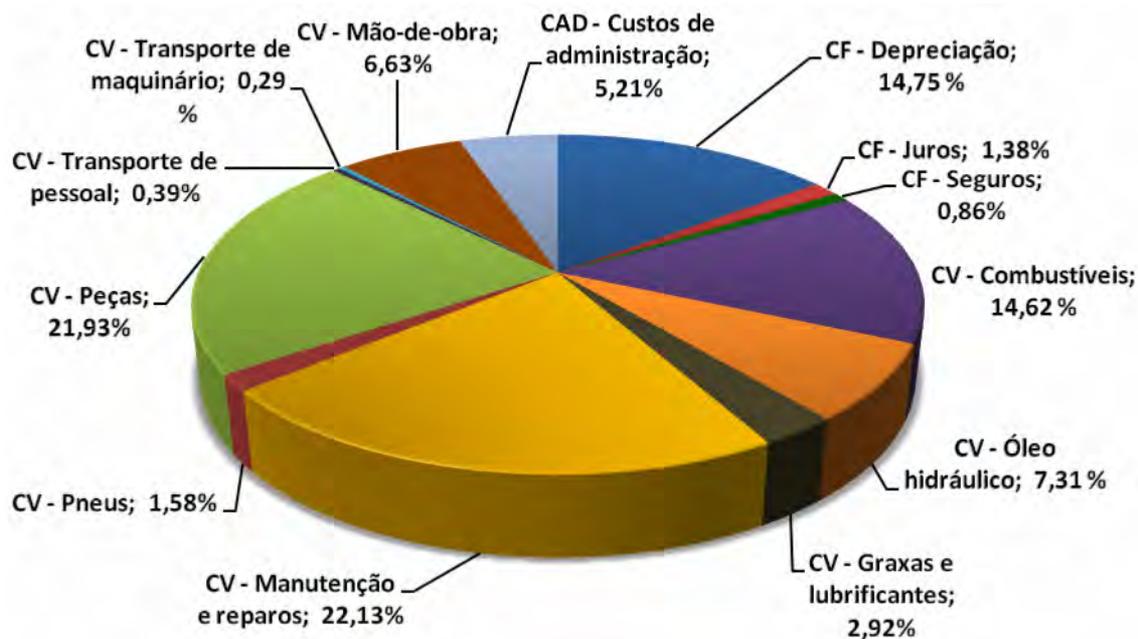


Figura 2.16 – Distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional do *harvester*.

No Quadro 2.3, observa-se que, nos espaçamentos maiores e na baixada, o conjunto *harvester*-operador necessita de tempo menor para processar a mesma área quando comparado com as outras variáveis.

Quadro 2.3 – Tempo gasto, em horas por hectare, em relação a declividades e espaçamentos na operação com *harvester*

| Declividades | Espaçamentos | | |
|----------------|--------------|------------|---------|
| | 3 x 2,5 m | 3 x 3,33 m | 3 x 4 m |
| Baixada (h/ha) | 10,10 | 8,06 | 7,00 |
| Encosta (h/ha) | 11,48 | 8,80 | 7,49 |

4.1.2. Análise dos elementos do ciclo operacional

Devido à diferença na função desempenhada pelo *harvester* nas declividades e, por conseguinte, na particularidade do efeito dos espaçamentos analisados (Figura 2.17), foi feita uma avaliação dos elementos parciais correspondentes. Encontram-se no Quadro 2.4 os resultados da análise estatística das atividades que compuseram o ciclo operacional do *harvester*.

Nesse quadro, comprova-se que apenas os elementos parciais no posicionamento do cabeçote para corte, corte de derrubada, deslocamento, traçamento e limpeza são diferentes estatisticamente.

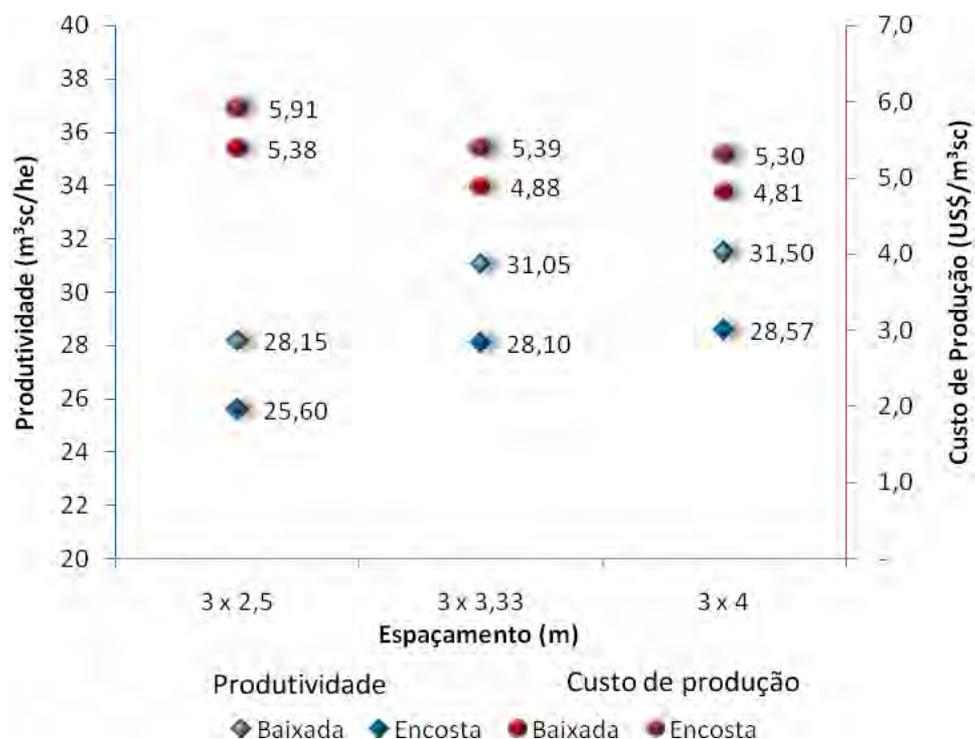


Figura 2. 17 – Rendimento operacional e custo de produção do *harvester* em função das variáveis testadas de declividade do terreno e espaçamento de plantio.

Quadro 2.4 – Análise estatística das médias dos tratamentos, em min/ha, dos elementos parciais que compõem o ciclo operacional do *harvester*

| ECO (min/ha) | Tratamentos | | |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|
| | 3 m x 4 m | 3 m x 3,33 m | 3 m x 2,5 m |
| DM | 13,51 a | 17,31 ab | 20,21 b |
| PC | 70,29 a | 87,04 b | 115,12 c |
| Co | 17,41 a | 24,16 b | 29,06 c |
| TA | 30,29 a | 35,54 a | 46,03 a |
| Ds | 63,26 a | 71,38 ab | 86,55 b |
| Tr | 202,64 a | 237,30 ab | 286,08 b |
| MM | 10,56 | 12,11 | 15,20 |
| PT | 0,47 | 1,45 | 3,15 |
| Lm | 21,28 a | 27,64 b | 30,08 c |

As médias da linha seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ECO – elementos do ciclo operacional; DM – deslocamento da máquina; PC – posicionamento do cabeçote para corte; Co – corte de derrubada; TA – tombamento da árvore; Ds – descascamento/desgalhamento; Tr – traçamento; MM – manobra da máquina; PT – pausa técnica; e Lm – limpeza.

O elemento de deslocamento na encosta representou maior dispêndio de tempo em relação à baixada, pois a máquina trafegava em velocidades reduzidas e, às vezes, deslizava o sistema pneumático sobre o solo, formando sulcos no terreno.

Na baixada, o elemento de posicionamento do cabeçote gastou menos de tempo para executar a operação quando comparado com a encosta, influenciado diretamente pelo fato de o operador destinar maior tempo com atenção nessa atividade para posteriormente obter o alinhamento correto para tombamento da árvore, pois apresenta maior risco de as árvores vizinhas caírem sobre a máquina.

Observou-se ainda que, na etapa de traçamento na encosta, o operador despense mais tempo para realizar a atividade em locais seguros, pois há maior possibilidade de as toras rolarem morro abaixo.

Em relação aos espaçamentos, a redução no tempo gasto está relacionada diretamente com o número de árvores por hectare: espaçamentos menores exigirão maior tempo para se realizarem as

atividades de posicionamento de cabeçote, corte de derrubada, descascamento/desgalhamento, traçamento e limpeza.

O descascamento/desgalhamento e o traçamento são influenciados por árvores de formas irregulares, ou seja, com presença de curvas e nós, entre outros, que acabam estendendo o tempo dessas atividades.

O número de árvores processadas por deslocamento nos espaçamentos de 3 m x 2,5 m; 3 m x 3,33; e 3 m x 4 m foi, em média, de 6,07; 5,43; e 5,22 árvores por deslocamento.

Nos Quadros 2.5 e 2.6, apresentam-se as análises das atividades do ciclo operacional em relação às parcelas. Nota-se, em alguns casos, elevadas diferenças no coeficiente de variação; isso é perfeitamente explicado pelo fato de as parcelas apresentarem números variados de árvores por parcelas.

4.1.3. Rendimentos operacionais

Na Figura 2.17, apresentam-se os rendimentos médios do *harvester* em relação aos blocos e tratamentos. Observa-se, nessa figura, que a produtividade do *harvester* na baixada e no espaçamento 3 x 4 m é superior, sendo de 31,50 m³sc/he. Isso é justificado pelos elementos do ciclo operacional e pelo fato de o volume por árvore ser maior e o número de árvores por hectare ser menor em espaçamentos maiores. Em média, a produtividade no espaçamento de 3 x 4 m foi superior em 1,56% e 11,76% aos valores obtidos nos espaçamentos de 3 x 3,33 m e 3 x 2,5 m. Já na baixada a produtividade foi, em média, superior em 10,25% aos valores obtidos nas regiões de encosta.

4.1.4. Custo operacional e custo de produção

Foi utilizada a mesma planilha de custo para o *harvester* nas declividades e espaçamentos em que ele atuou. Portanto, o custo operacional dessa máquina foi igual em todas as variáveis do experimento, não ocorrendo variação no custo operacional.

Quadro 2.5 – Frequências máximas, médias e mínimas e coeficiente de variação dos elementos que compõem o ciclo operacional do *harvester* na baixada (bloco 1)

| Espaçamento | ECO | Frequência (%) | | | Coeficiente de Variação (%) |
|--------------|-----|----------------|-------|--------|-----------------------------|
| | | Máximo | Médio | Mínimo | |
| 3 m x 2,5 m | DM | 3,57 | 3,04 | 2,38 | 6,54 |
| | PC | 22,44 | 18,00 | 15,27 | 22,73 |
| | Co | 7,14 | 4,72 | 4,88 | 19,06 |
| | TA | 8,71 | 7,14 | 4,88 | 24,95 |
| | Ds | 16,59 | 15,12 | 13,89 | 4,75 |
| | Tr | 50,56 | 43,45 | 38,81 | 26,25 |
| | MM | 2,87 | 1,86 | 1,46 | 15,63 |
| | PT | 1,97 | 0,86 | 0,00 | 25,60 |
| | Lm | 9,03 | 5,81 | 2,49 | 48,22 |
| 3 m x 3,33 m | DM | 3,13 | 2,93 | 1,75 | 12,15 |
| | PC | 19,65 | 16,29 | 14,45 | 16,57 |
| | Co | 6,00 | 4,72 | 4,09 | 9,76 |
| | TA | 8,55 | 7,33 | 6,64 | 6,82 |
| | Ds | 15,63 | 14,98 | 12,23 | 8,67 |
| | Tr | 49,26 | 46,31 | 44,24 | 6,62 |
| | MM | 2,24 | 1,68 | 1,86 | 2,23 |
| | PT | 0,37 | 0,06 | 0,00 | 27,35 |
| | Lm | 8,50 | 5,69 | 4,41 | 28,97 |
| 3 m x 4 m | DM | 1,76 | 2,48 | 3,49 | 13,07 |
| | PC | 17,46 | 15,32 | 12,79 | 14,02 |
| | Co | 5,01 | 4,03 | 2,86 | 12,07 |
| | TA | 9,21 | 7,48 | 5,85 | 18,77 |
| | Ds | 18,73 | 16,33 | 13,49 | 19,24 |
| | Tr | 47,67 | 46,49 | 43,17 | 6,98 |
| | MM | 3,06 | 2,50 | 1,47 | 15,82 |
| | PT | 2,93 | 0,48 | 0,00 | 65,95 |
| | Lm | 7,96 | 4,89 | 3,49 | 44,40 |

Esp – espaçamento; ECO – elementos do ciclo operacional; DM – deslocamento da máquina; PC – posicionamento do cabeçote para corte; Co – corte de derrubada; TA – tombamento da árvore; Ds – descascamento/desgalhamento; Tr – traçamento; MM – manobra da máquina; PT – pausa técnica; e Lm – limpeza.

Quadro 2.6 – Frequências máximas, médias e mínimas e coeficiente de variação dos elementos que compõem o ciclo operacional do *harvester* na encosta (bloco 2)

| Espaçamento | ECO | Frequência (%) | | | Coeficiente de Variação (%) |
|--------------|-----|----------------|-------|--------|-----------------------------|
| | | Máximo | Médio | Mínimo | |
| 3 m x 2,5 m | DM | 4,50 | 3,26 | 2,45 | 15,45 |
| | PC | 21,20 | 17,96 | 15,10 | 20,14 |
| | Co | 5,78 | 5,23 | 4,62 | 4,30 |
| | TA | 8,58 | 7,23 | 5,70 | 11,60 |
| | Ds | 13,58 | 12,07 | 9,34 | 28,19 |
| | Tr | 48,62 | 45,77 | 42,76 | 17,44 |
| | MM | 2,69 | 2,84 | 1,98 | 32,21 |
| | PT | 1,07 | 0,16 | 0,00 | 58,25 |
| | Lm | 7,08 | 5,48 | 4,19 | 35,92 |
| 3 m x 3,33 m | DM | 5,56 | 4,54 | 3,46 | 13,62 |
| | PC | 21,03 | 17,43 | 17,31 | 13,75 |
| | Co | 6,64 | 5,23 | 4,55 | 15,69 |
| | TA | 7,38 | 6,52 | 5,91 | 4,67 |
| | Ds | 15,00 | 12,86 | 11,44 | 17,09 |
| | Tr | 48,08 | 45,85 | 43,55 | 7,78 |
| | MM | 2,78 | 2,37 | 1,15 | 36,45 |
| | PT | 0,00 | 0,12 | 0,00 | |
| | Lm | 3,46 | 5,08 | 1,48 | 25,74 |
| 3 m x 4 m | DM | 5,26 | 4,26 | 3,27 | 12,28 |
| | PC | 19,13 | 16,81 | 1,44 | 20,45 |
| | Co | 4,40 | 5,34 | 3,70 | 1,97 |
| | TA | 7,65 | 6,43 | 5,61 | 9,50 |
| | Ds | 11,48 | 12,77 | 9,82 | 4,52 |
| | Tr | 50,80 | 46,31 | 44,00 | 14,62 |
| | MM | 4,91 | 3,03 | 2,73 | 17,81 |
| | PT | 0,00 | 0,20 | 0,00 | |
| | Lm | 9,54 | 4,86 | 3,49 | 24,59 |

Esp – espaçamento; ECO – elementos do ciclo operacional; DM – deslocamento da máquina; PC – posicionamento do cabeçote para corte; Co – corte de derrubada; TA – tombamento da árvore; Ds – descascamento/desgalhamento; Tr – traçamento; MM – manobra da máquina; PT – pausa técnica; e Lm – limpeza.

Os detalhes do cálculo do custo operacional do *harvester* são mostrados no Apêndice. Considerando uma taxa real de juros de 12% a.a. e eficiência operacional de 80%, concluiu-se que o custo da hora efetivamente trabalhada foi de US\$145,29.

Para o cálculo desse custo total, a representatividade dos custos fixos, variáveis e de administração foi, aproximadamente, de 24,68 US\$/he; 113,06 US\$/he; e 7,57 US\$/he por hora efetivamente trabalhada.

Na Figura 2.18, nota-se que o custo de manutenção e reparos (CMR) foi o maior deles, participando com 22,13% dos custos totais, seguido do custo de peças (CPe), de depreciação (Dp) e de combustível (CC), representando, respectivamente, 21,93%, 14,75%, 14,62% dos custos totais.

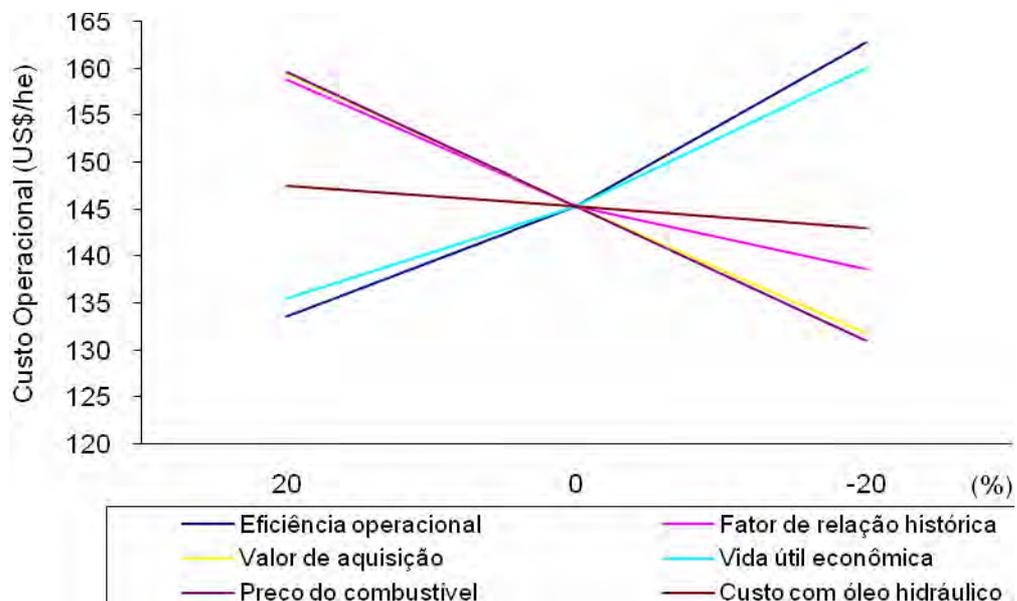


Figura 2.18 – Diagrama de *Spiderplot* mostrando a análise de sensibilidade dos principais componentes de variação de $\pm 20\%$ no custo operacional (US\$/he) do *harvester*.

O custo de administração surge como custo indireto, devido ao fato de a operação necessitar de planejamento e gerenciamento das atividades.

Para os custos por m³ de madeira cortada e processada pelo *harvester* de acordo com a sua produtividade, pode-se observar que existe relação inversa entre os níveis de produtividade e o custo de produção de acordo com as declividades e espaçamentos analisados (Figura 2.18). Verificou-se tendência de queda nos custos de produção à medida que se deslocava da encosta para a baixada e quando aumentava o espaçamento entre árvores. O módulo composto pela baixada e pelo espaçamento de 3 m x 4 m teve o menor custo: US\$ 4,81/m³sc.

4.1.5. Análise de sensibilidade

Seguindo a representação do Diagrama de *Spiderplot*, observa-se, na Figura 2.19, o gráfico da análise de sensibilidade das principais variáveis que afetam o custo do *harvester*. As equações que apresentam maior ângulo de inclinação acabam tendo maior influência na representatividade da variável dependente.

Nessa figura, nota-se no diagrama de *Spiderplot* que a eficiência operacional apresenta maior efeito no custo operacional, seguido da vida útil econômica, preço do combustível, valor de aquisição, fator de relação histórica e custo com óleo hidráulico, sendo que pequenas reduções podem gerar grandes retornos.

Os resultados deste estudo são explicados principalmente pelo volume por árvore, que está diretamente relacionado com o número de árvores por área: quanto maior for o volume por árvore, menor será o número de árvores por área. Para comprovar essa aferição, foi ajustada estatisticamente pela análise de regressão a equação de produtividade média da máquina em função do volume médio por árvore na parcelas experimentais (equação 2.13). Nesse sentido, usando a equação de produtividade e o custo operacional, tem-se a equação de sensibilidade do custo de produção. Na Figura 2.20, representa-se o gráfico das equações de sensibilidade da produtividade e do custo de produção do *harvester* em relação ao volume por árvore.

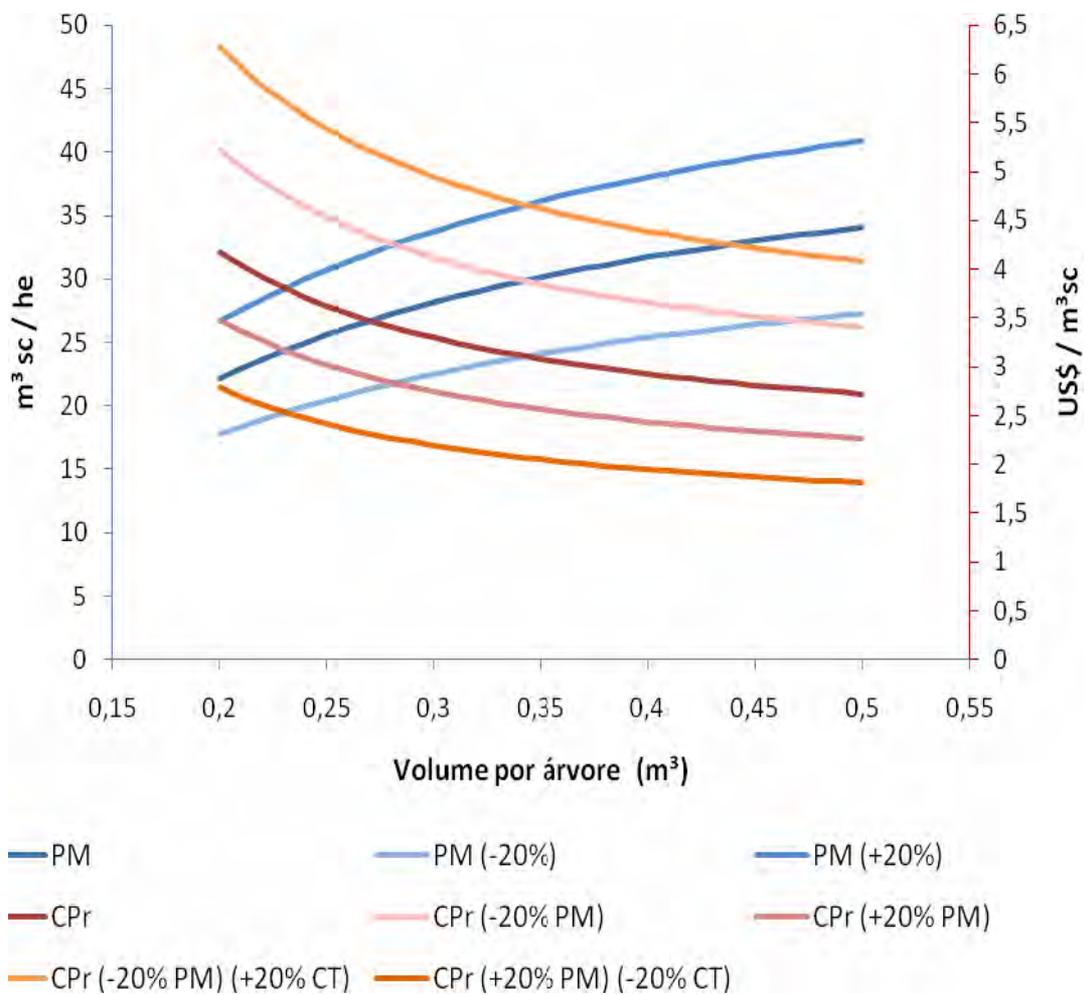


Figura 2.19 – Análise de sensibilidade da produtividade e do custo de produção do *harvester* em relação ao volume por árvore, variando de $\pm 20\%$. PMM – produtividade média da máquina (m^3 SC/he); CPr – custo de produção (US\$/ m^3 sc); e CT – custo de operação total (US\$/he).

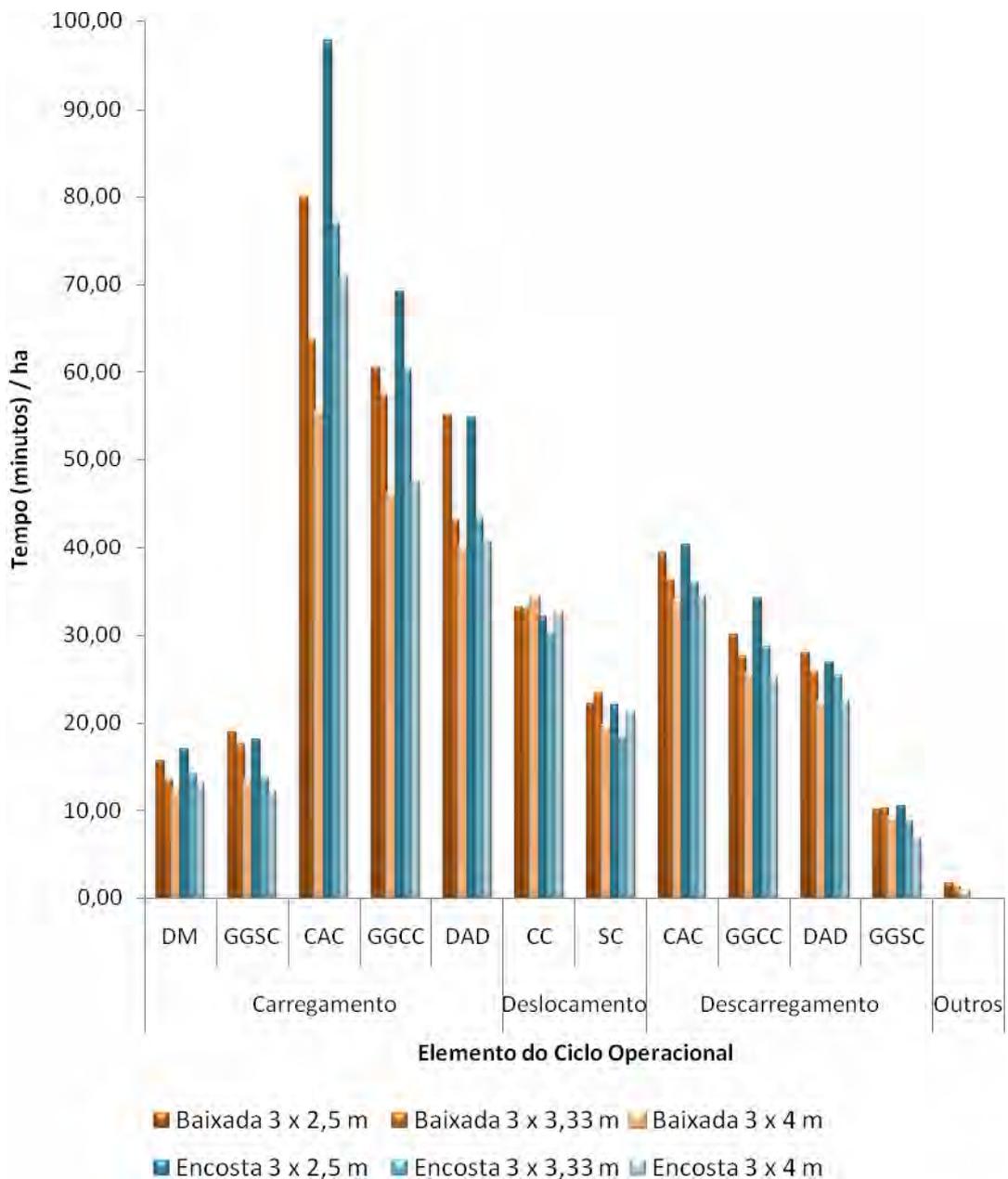


Figura 2.20 – Tempo, em minutos, por hectare dos elementos que compõem o ciclo operacional do *forwarder* em relação aos blocos e tratamentos testados. DM – deslocamento da máquina; GGSC – giro da grua sem carga; CAC – carregamento e ajustamento de carga; GGCC – giro da grua sem carga; DAD – descarregamento e ajustamento de descarga; CC – com carga; e SC – sem carga.

$$PM = 45.310149 * 0.86691567^{(1/x)} \quad (2.13)$$
$$r^2 = 0,76955865; s = 1,31443309$$

em que:

PM = produtividade média da máquina (m³sc/h);

x = volume médio por árvore (m³);

r² = coeficiente de correlação; e

s = erro-padrão.

4.2. Forwarder

4.2.1. Dinâmica de tempo e movimento

A dinâmica de tempos e movimentos dos elementos do ciclo operacional do *forwarder* dos blocos e seus tratamentos experimentais encontram-se nas Figuras 2.20 e 2.21. Esses valores correspondem à média aritmética expressa em tempo e ciclos por hectare determinados durante o ciclo operacional.

O componente parcial que apresentou o maior dispêndio de tempo na operação de *carga*, representada por 57,13%, foi a atividade de *carregamento e ajustamento de carga*, com 20,42%. A operação de *deslocamento* representou 15,03% para a extração de 100 m de distância. Já na operação de *descarregamento*, consumindo 27,71%, teve como principal atividade o *carregamento e ajustamento de carga*, com 10,22%, e, por fim, a atividade de *outros* representou 0,17%, evidenciado por valores médios.

No Quadro 2.7, observa-se que nos espaçamentos maiores e na baixada o conjunto *forwarder*-operador necessitou de tempo menor para processar a mesma área em comparação com as outras variáveis.

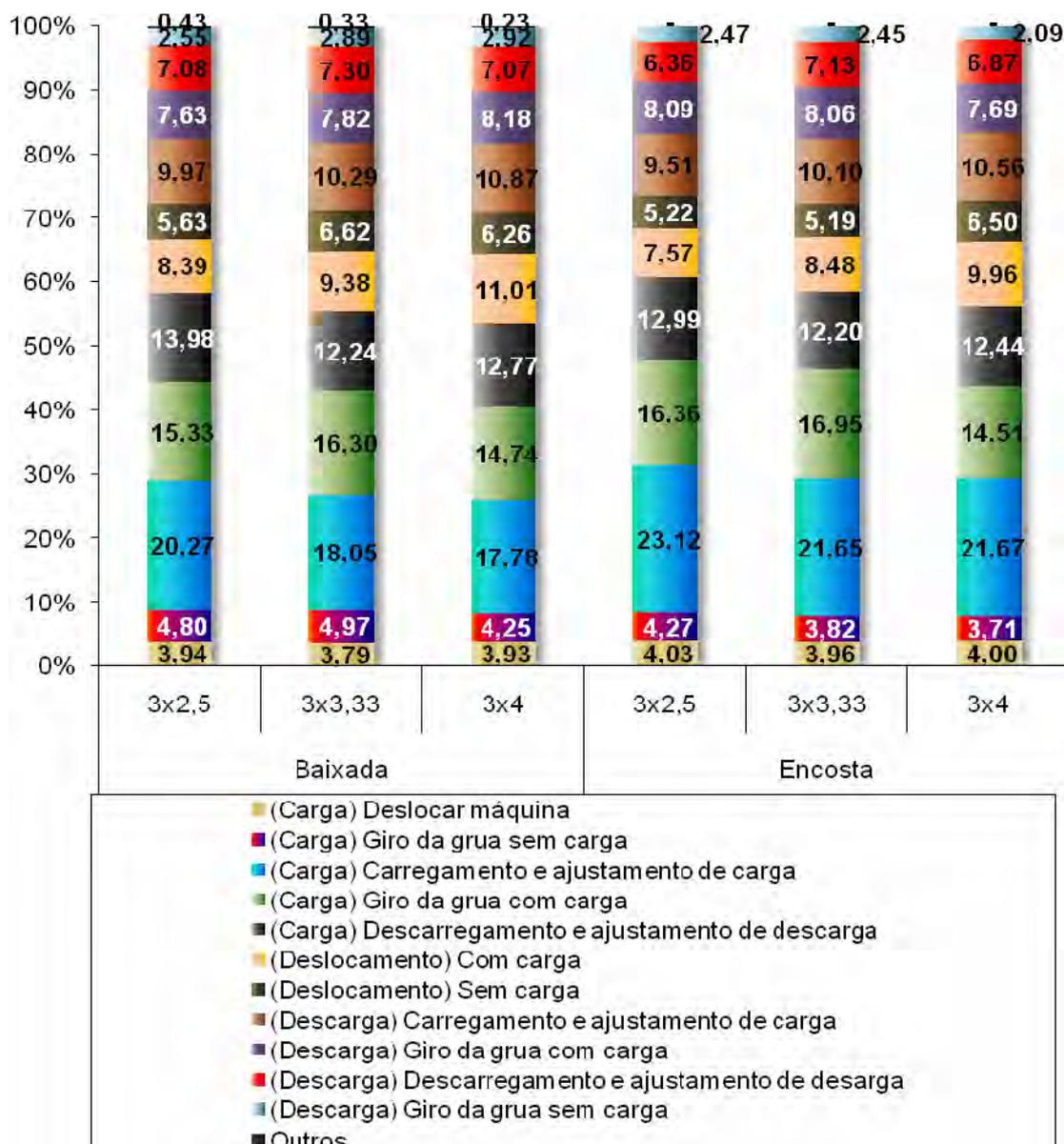


Figura 2.21 – Porcentagem média dos ciclos dos elementos que compõem o ciclo operacional do *harvester* em relação aos blocos e tratamentos testados.

Quadro 2.7 – Tempo gasto, em horas por hectare, em relação às declividades e espaçamentos na operação com *forwarder*

| Declividades | Espaçamentos | | |
|----------------|--------------|------------|---------|
| | 3 x 2,5 m | 3 x 3,33 m | 3 x 4 m |
| Baixada (h/ha) | 6,566 | 5,870 | 5,204 |
| Encosta (h/ha) | 7,042 | 5,923 | 5,450 |

4.2.2. Análise dos elementos do ciclo operacional

Devido à diferença na função desempenhada pelo *forwarder* nas declividades e, por conseguinte, na particularidade do efeito dos espaçamentos analisados, foi feita uma avaliação dos elementos parciais correspondentes. Estão descritos, no Quadro 2.8, os resultados da análise estatística das atividades que compuseram o ciclo operacional do *forwarder*.

Quadro 2.8 – Análise estatística dos tratamentos dos elementos parciais que compõem o ciclo operacional do *forwarder*, em minutos por hectare

| Elementos do Ciclo Operacional | | Tratamentos | | |
|--------------------------------|------|-------------|--------------|-------------|
| | | 3 m x 4 m | 3 m x 3,33 m | 3 m x 2,5 m |
| Carregamento | DM | 12,67 a | 13,72 a | 16,27 b |
| | GGSC | 13,60 | 15,32 | 17,02 |
| | CAC | 63,19 a | 70,27 a | 88,77 b |
| | GGCC | 46,73 a | 58,82 ab | 64,77 b |
| | DAD | 40,28 a | 43,22 b | 54,99 c |
| Deslocamento | CC | 31,60 a | 32,53 a | 33,47 a |
| | SC | 20,39 a | 20,89 a | 22,11 a |
| Descarregamento | CAC | 34,24 a | 36,07 a | 39,72 b |
| | GGCC | 25,33 a | 28,10 a | 32,11 a |
| | DAD | 22,28 a | 25,52 b | 27,39 b |
| | GGSC | 7,98 | 9,44 | 10,25 |
| Outros | | 0,35 | 0,59 | 8,85 |

As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

DM – deslocamento da máquina; GGSC – giro da grua sem carga; CAC – carregamento e ajustamento de carga; GGCC – giro da grua sem carga; DAD – descarregamento e ajustamento de descarga; CC – com carga; e SC – sem carga.

No Quadro 2.9, comprova-se que estatisticamente no nível de 5% de probabilidade apresentam diferenças entre as médias apenas os elementos parciais de *deslocamento da máquina, carregamento e ajustamento de carga, giro da grua com carga, descarregamento e ajustamento de descarga*

na operação de *carregamento* e os elementos de *carregamento e ajustamento de carga, descarregamento e ajustamento de descarga* na operação de *descarregamento*.

Quadro 2.9 – Número de garradas realizadas para efetuar o carregamento do compartimento de carga do *forwarder* em relação aos espaçamentos analisados

| Espaçamentos | Nº Garradas | |
|--------------|--------------|-----------------|
| | Carregamento | Descarregamento |
| 3 m x 2,5 m | 16,9 | 12,5 |
| 3 m x 3,33 m | 15,8 | 11,7 |
| 3 m x 4 m | 15,2 | 11,1 |

A seguir, encontram-se as explicações dos elementos do ciclo operacional que tiveram variações em relação à declividade e que foram comprovadas pela análise estatística (Quadro 2.10). Na operação de carregamento, evidenciou-se que:

- ✓ o deslocamento do *forwarder* na encosta apresentou maior dispêndio de tempo em relação à baixada, pois a máquina trafegava em velocidades reduzidas e, às vezes, deslizava o sistema pneumático sobre o solo, formando sulcos.
- ✓ Na encosta, quando o microrrelevo apresentava oscilações, o operador gastava mais tempo na atividade de manobras para realizar o deslocamento perpendicularmente à inclinação do terreno, o que não ocorria na baixada.
- ✓ Na execução de carregamento e ajustamento da carga na garra, os feixes de madeira formados pelo *harvester* na encosta às vezes não estavam agrupados corretamente, estendendo-se o tempo para organizá-los.
- ✓ O giro da grua com carga foi influenciado diretamente pela declividade. Na encosta, o operador destinava maior tempo com atenção a essa atividade, pois se alguma tora se soltasse poderia apresentar risco de se deslocar morro abaixo, podendo provocar acidentes.

Quadro 2.10 – Unidades máximas, médias e mínimas e coeficiente de variação dos elementos que compõem o ciclo operacional do *forwarder* na baixada

| Espaçamento | Elementos do Ciclo Operacional | | Frequência (%) | | | Coeficiente de Variação (%) |
|--------------|--------------------------------|-------|----------------|-------|--------|-----------------------------|
| | | | Máximo | Médio | Mínimo | |
| 3 m x 2,5 m | Carga | DM | 5,01 | 4,00 | 3,20 | 12,97 |
| | | GGSC | 4,77 | 4,65 | 3,20 | 9,32 |
| | | CAC | 19,84 | 17,06 | 14,02 | 29,84 |
| | | GGCC | 16,75 | 15,10 | 14,32 | 8,95 |
| | | DAD | 17,08 | 14,37 | 12,80 | 13,08 |
| | Deslocamento | CC | 13,19 | 8,08 | 7,54 | 36,24 |
| | | SC | 6,35 | 5,48 | 3,56 | 21,83 |
| | Descarga | CAC | 13,80 | 11,51 | 9,54 | 21,27 |
| | | GGCC | 8,26 | 7,43 | 5,37 | 12,68 |
| | | DAD | 9,39 | 8,08 | 7,04 | 8,79 |
| | | GGSC | 4,47 | 3,84 | 2,63 | 23,20 |
| | Outros | | 1,19 | 0,41 | 0,00 | 48,02 |
| | 3 m x 3,33 m | Carga | DM | 5,19 | 4,77 | 3,68 |
| GGSC | | | 4,73 | 4,24 | 2,84 | 10,72 |
| CAC | | | 21,65 | 18,01 | 16,32 | 22,57 |
| GGCC | | | 16,75 | 14,56 | 14,32 | 10,43 |
| DAD | | | 17,08 | 12,53 | 12,80 | 10,78 |
| Deslocamento | | CC | 12,26 | 10,20 | 7,27 | 26,92 |
| | | SC | 7,56 | 6,92 | 5,19 | 17,89 |
| Descarga | | CAC | 12,45 | 9,80 | 9,46 | 11,58 |
| | | GGCC | 9,32 | 7,94 | 6,30 | 19,71 |
| | | DAD | 9,10 | 7,24 | 5,68 | 26,05 |
| | | GGSC | 9,10 | 3,44 | 5,68 | 16,66 |
| Outros | | 1,40 | 0,39 | 0,00 | 46,86 | |
| 3 m x 4 m | | Carga | DM | 5,84 | 4,91 | 3,69 |
| | GGSC | | 5,44 | 3,95 | 3,02 | 12,81 |
| | CAC | | 19,28 | 17,43 | 14,97 | 14,01 |
| | GGCC | | 15,19 | 14,52 | 13,41 | 2,57 |
| | DAD | | 15,28 | 13,55 | 11,10 | 10,06 |
| | Deslocamento | CC | 9,30 | 8,60 | 6,97 | 9,15 |
| | | SC | 8,25 | 5,84 | 5,30 | 17,35 |
| | Descarga | CAC | 13,76 | 11,39 | 9,47 | 19,34 |
| | | GGCC | 9,39 | 8,49 | 6,56 | 16,05 |
| | | DAD | 8,53 | 7,30 | 6,13 | 10,55 |
| | | GGSC | 3,55 | 3,20 | 2,72 | 2,37 |
| | Outros | | 0,85 | 0,52 | 0,00 | 26,83 |

DM – deslocamento da máquina; GGSC – giro da grua sem carga; CAC – carregamento e ajustamento de carga; GGCC – giro da grua com carga; DAD – descarregamento e ajustamento de descarga; CC – com carga; e SC – sem carga.

- ✓ o operador despendia mais tempo para organizar a madeira no compartimento de carga na encosta, evitando que alguma tora caísse no solo.
- ✓ Para adquirir maior estabilidade, o operador posicionava o *forwarder* mais próximo dos feixes, realizando o carregamento apenas por um lado, na encosta, e na baixada o carregamento era feito pelos dois lados.

No carregamento e no descarregamento, a capacidade volumétrica da garra era menor à medida que diminuía o espaçamento, pois ocorria redução no volume médio das árvores.

Observou-se, no deslocamento da máquina, correlação positiva entre o tempo e a distância para cada ciclo (Figura 2.22).

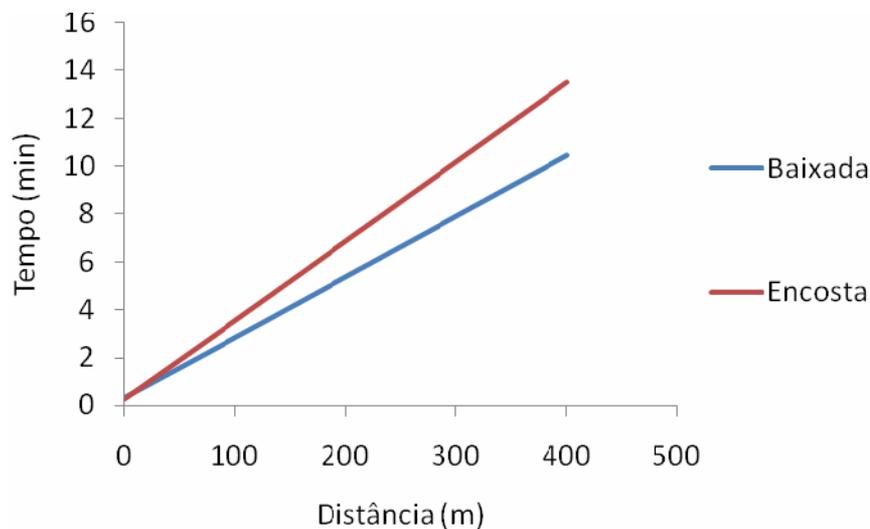


Figura 2.22 – Tempo de deslocamento do *forwarder* por distância de extração em relação aos blocos testados.

Os dados foram ajustados estatisticamente pela análise de regressão linear ($T = a + bD$), em que T representa a variável dependente TEMPO (minutos), D a variável independente DISTÂNCIA (metros) e \underline{a} e \underline{b} os parâmetros a serem estimados.

A equação 2.14 representa a regressão estimada da extração de madeira com o *forwarder* na baixada:

$$T=0,28237535+0,025452565*D \quad (2.14)$$
$$r^2 = 0,94426021; s = 0,43833393$$

em que:

T = tempo (minutos);

D = distância (metros);

r^2 = coeficiente de correlação; e

s = erro-padrão.

A equação 15 expressa a regressão estimada para a extração de madeira com o *forwarder* na encosta:

$$T=0,2570930+0,03308697*D \quad (15)$$
$$r^2 = 0,97619402; s = 0,18644687$$

Conforme esperado, as equações revelam que, quanto maior a distância de extração, maior o tempo de deslocamento do *forwarder*, e, na encosta, o tempo é maior para uma mesma distância.

Para as operações de carregamento e deslocamento, com relação aos espaçamentos, observa-se que a redução no tempo gasto está relacionada diretamente com o número de árvores por hectare; espaçamentos menores apresentam menores espaços vazios, influenciando o volume de madeira no compartimento de carga e na garra, ou seja, no espaçamento maior (3 m x 4 m) o número de garradas é menor e o tempo de carregamento e descarregamento também é menor (Quadro 2.11).

Nos Quadros 2.10 e 2.11, apresentam-se as análises das atividades do ciclo operacional em relação às parcelas. Nota-se, nesses quadros, que alguns casos apresentaram elevadas diferenças no coeficiente de variação, o que é perfeitamente explicado pelo fato de as parcelas apresentarem números variados de árvores.

Quadro 2.11 – Unidades máximas, médias e mínimas e coeficiente de variação dos elementos que compõem o ciclo operacional do *forwarder* na baixada

| Espaçamento | Elementos do Ciclo Operacional | | Frequência (%) | | | Coeficiente de Variação (%) |
|--------------|--------------------------------|-------|----------------|-------|--------|-----------------------------|
| | | | Máximo | Médio | Mínimo | |
| 3 m x 2,5 m | Carga | DM | 4,32 | 4,28 | 3,95 | 1,95 |
| | | GGSC | 5,07 | 4,59 | 3,71 | 13,57 |
| | | CAC | 26,49 | 24,79 | 21,00 | 27,56 |
| | | GGCC | 17,99 | 17,44 | 16,67 | 4,48 |
| | | DAD | 14,82 | 13,77 | 11,84 | 17,32 |
| | Deslocamento | CC | 6,59 | 4,47 | 6,13 | 27,89 |
| | | SC | 4,81 | 3,12 | 4,49 | 24,51 |
| | Descarga | CAC | 10,50 | 10,10 | 9,02 | 6,28 |
| | | GGCC | 9,26 | 8,57 | 7,33 | 10,29 |
| | | DAD | 7,41 | 6,73 | 5,64 | 11,43 |
| | | GGSC | 2,82 | 2,14 | 1,24 | 28,98 |
| | Outros | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| | 3 m x 3,33 m | Carga | DM | 4,47 | 4,30 | 4,09 |
| GGSC | | | 4,61 | 4,30 | 3,35 | 11,97 |
| CAC | | | 23,95 | 23,67 | 22,90 | 6,65 |
| GGCC | | | 17,59 | 17,22 | 15,95 | 4,35 |
| DAD | | | 13,40 | 12,91 | 12,28 | 2,91 |
| Deslocamento | | CC | 6,82 | 5,24 | 5,88 | 13,15 |
| | | SC | 4,64 | 3,66 | 3,65 | 8,76 |
| Descarga | | CAC | 10,24 | 10,40 | 10,05 | 2,89 |
| | | GGCC | 10,05 | 8,61 | 7,68 | 20,26 |
| | | DAD | 7,16 | 7,17 | 6,70 | 3,54 |
| | | GGSC | 2,56 | 2,51 | 2,23 | 3,01 |
| Outros | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 3 m x 4 m | | Carga | DM | 5,32 | 4,35 | 3,01 |
| | GGSC | | 3,55 | 3,48 | 3,01 | 6,59 |
| | CAC | | 23,06 | 23,93 | 21,82 | 5,27 |
| | GGCC | | 15,80 | 16,10 | 14,19 | 7,31 |
| | DAD | | 15,08 | 13,05 | 9,78 | 28,40 |
| | Deslocamento | CC | 12,24 | 6,35 | 8,28 | 35,21 |
| | | SC | 6,56 | 4,44 | 5,77 | 22,91 |
| | Descarga | CAC | 12,04 | 11,75 | 9,76 | 13,58 |
| | | GGCC | 8,27 | 7,83 | 6,21 | 14,11 |
| | | DAD | 7,10 | 6,96 | 6,02 | 5,44 |
| | | GGSC | 2,26 | 1,74 | 0,89 | 18,46 |
| | Outros | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |

DM – deslocamento da máquina; GGSC – giro da grua sem carga; CAC – carregamento e ajustamento de carga; GGCC – giro da grua com carga; DAD – descarregamento e ajustamento de descarga; CC – com carga; e SC – sem carga.

4.2.3. Rendimentos operacionais

Na Figura 2.23, apresentam-se os rendimentos médios do *forwarder* por bloco.

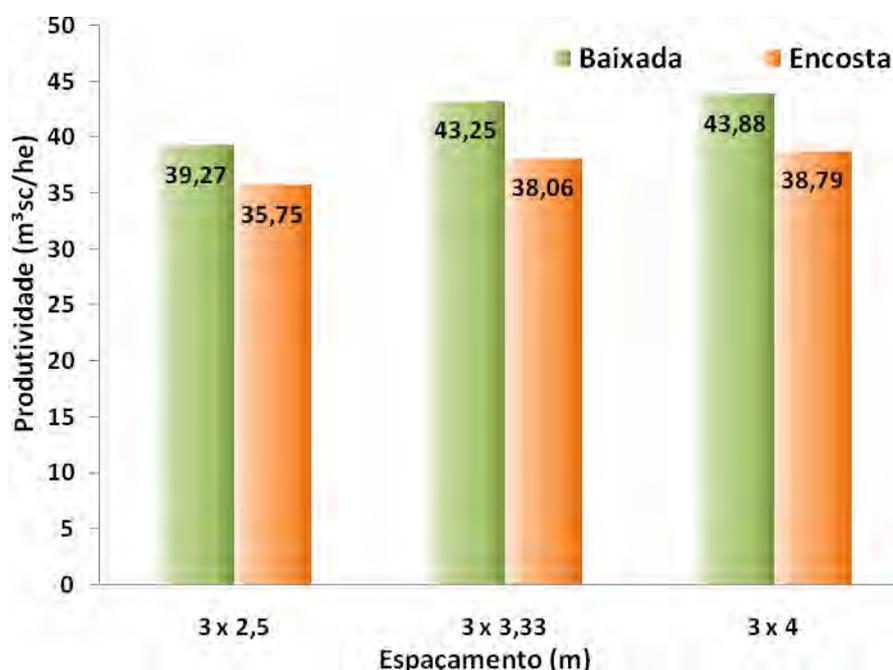


Figura 2.23 – Rendimentos operacionais médios do *forwarder*.

Observa-se, nessa figura, que a produtividade do *forwarder* tende a ser maior quando se aumenta o espaçamento, como acontece com o *harvester*. Esse fato é justificado, especificamente, pelo fato de o volume por árvore ser maior e o número de árvores por hectare ser menor em espaçamentos maiores. Em média, a produtividade no espaçamento de 3 m x 4 m foi superior 1,67% e 10,20% em relação aos espaçamentos de 3 x 3,33 m e 3 x 2,5 m.

As condições do relevo também afetaram o rendimento do *forwarder*. Em média, na baixada o rendimento foi superior a 2,26% em relação à encosta. Esses fatos, especificamente, são explicados pelos resultados do ciclo operacional do *forwarder*.

Os dados foram ajustados estatisticamente pela análise de regressão linear ($\text{Prod} = a + b * D$), em que Prod representa a variável dependente PRODUTIVIDADE ($\text{m}^3\text{sc/he}$), D a variável independente DISTÂNCIA (metros) e \underline{a} e \underline{b} os parâmetros a serem estimados. No Quadro 2.12, apresentam-se essas equações, representadas pelos números de 19 a 24.

Quadro 2.12 – Equações de regressão da produtividade em relação à distância de extração do *forwarder* até a estrada

| Trat. | Bloco | Equação | Erro-Padrão | Coefficiente de Correlação | N |
|--------------|---------|---|-------------|----------------------------|------|
| 3 m x 2,5 m | Baixada | $\text{Prod} = 48,308802 - 0,090391961 * D$ | 0,999151 | 0,9745855 | 2,16 |
| 3 m x 2,5 m | Encosta | $\text{Prod} = 43,823209 - 0,080724553 * D$ | 0,559986 | 0,97009515 | 2,17 |
| 3 m x 3,33 m | Baixada | $\text{Prod} = 49,723743 - 0,068479211 * D$ | 1,266913 | 0,89562554 | 2,18 |
| 3 m x 3,33 m | Encosta | $\text{Prod} = 45,7379542 - 0,08278894 * D$ | 0,432278 | 0,97872426 | 2,19 |
| 3 m x 4 m | Baixada | $\text{Prod} = 50,084214 - 0,062083893 * D$ | 0,947621 | 0,94527006 | 2,20 |
| 3 m x 4 m | Encosta | $\text{Prod} = 47,991768 - 0,087976153 * D$ | 0,573894 | 0,96913249 | 2,21 |

Trat. – tratamento; N – número da equação.

Assim, através das equações ajustadas pode-se estimar, com precisão, a produtividade do *forwarder* com base no espaçamento, declividade e distância de extração.

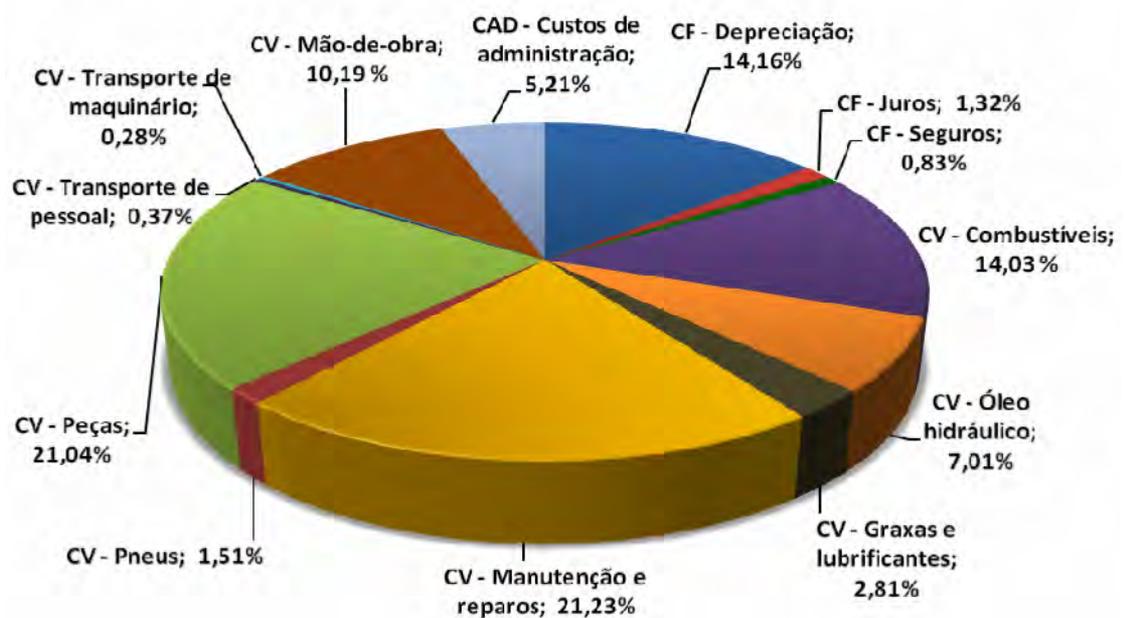
4.2.4. Custo operacional e custo de produção

Foi utilizada a mesma planilha de custo para o *forwarder* nas declividades e espaçamentos em que ele atuou. Seu custo operacional foi igual em todas as variáveis do experimento, não ocorrendo variação no custo operacional.

Os detalhes do cálculo do custo operacional do *forwarder* são mostrados no Apêndice. Considerando taxa real de juros de 12% a.a. e uma eficiência operacional de 85%, concluiu-se que o custo por hora efetivamente trabalhada foi de US\$101,63.

Para o cálculo desse custo total, os custos fixos, variáveis e administrativos foram de 16,58 US\$/he; 79,76 US\$/he; e 5,30 US\$/he dos custos totais.

A Figura 2.24 ilustra a distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional do *forwarder*. Nessa mesma figura, nota-se que o custo de manutenção e reparos (CMR) foi o maior deles, participando com 22,13% dos custos totais, seguidos do custo de peças (CPe), de depreciação (Dp) e combustível (CC), representando, respectivamente, 21,93%, 14,75% e 14,62% dos custos totais.



CF = custos fixos; CV = custos variáveis; CAD = custo de administração.

Figura 2.24 – Distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional do *forwarder*.

Para os custos por m³ de madeira extraída pelo *forwarder* de acordo com a sua produtividade, pode-se observar que existe relação inversa entre os níveis de produtividade e o custo de produção em função das declividades e espaçamentos de análise (Figura 2.25). Assim como no caso do *harvester*, observou-se custo mais baixo quando o espaçamento entre

plantas era maior e a declividade menor. O módulo composto pela baixada e espaçamento de 3 m x 4 m apresentou o menor custo, com um valor de US\$ 2,32/m³sc.



Figura 2.25 – Rendimento operacional e custo de produção do *forwarder* em função das variáveis declividade do terreno e espaçamento de plantio.

4.2.5. Análise de sensibilidade

Variando os valores dos itens que compõem o custo operacional do *forwarder*, podem-se destacar as variáveis de maior impacto no custo. Para este estudo, selecionaram-se as seis mais importantes (Figura 2.26).

Nessa figura, nota-se que as equações que apresentam maior ângulo são a eficiência operacional, vida útil econômica, preço do combustível, valor de aquisição, fator de relação histórica e custo com óleo hidráulico. Dessa forma, essas variáveis apresentam maior importância no custo operacional do *forwarder*, sendo que pequenas reduções podem gerar grandes retornos.

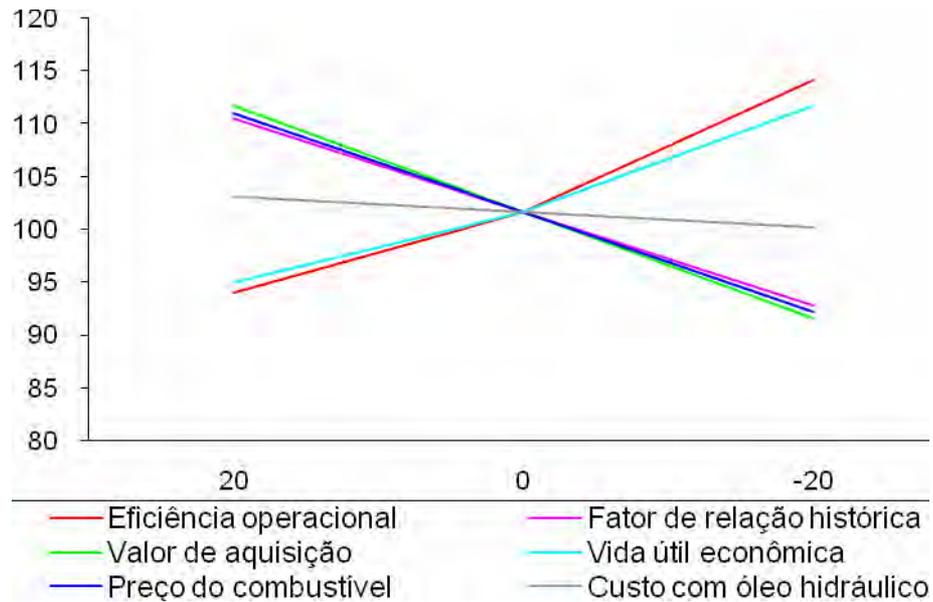


Figura 2.26 – Diagrama de *Spiderplot* mostrando a análise de sensibilidade dos principais componentes de variação de $\pm 20\%$ do custo operacional (US\$/he) do *forwarder*.

Na Figura 2.27, apresenta-se o gráfico das equações de sensibilidade da produtividade e custo de produção do *forwarder* em relação ao volume por árvore, variando em $\pm 20\%$ a produtividade e o custo operacional. Observa-se, nessa figura, que pequenas reduções desses índices podem gerar aumentos expressivos de ganho, maximizando retornos. A equação 2.16 refere-se à equação de regressão da produtividade média do *forwarder* em relação ao volume por árvore.

$$PM = 58,260604 * 0,88121735^{(1/x)} \quad (2.16)$$

$$r^2 = 0,6225876; s = 3,8653861$$

em que:

PM = produtividade média da máquina (m^3sc/h);

x = volume médio por árvore (m^3);

r^2 = coeficiente de correlação; e

s = erro-padrão.

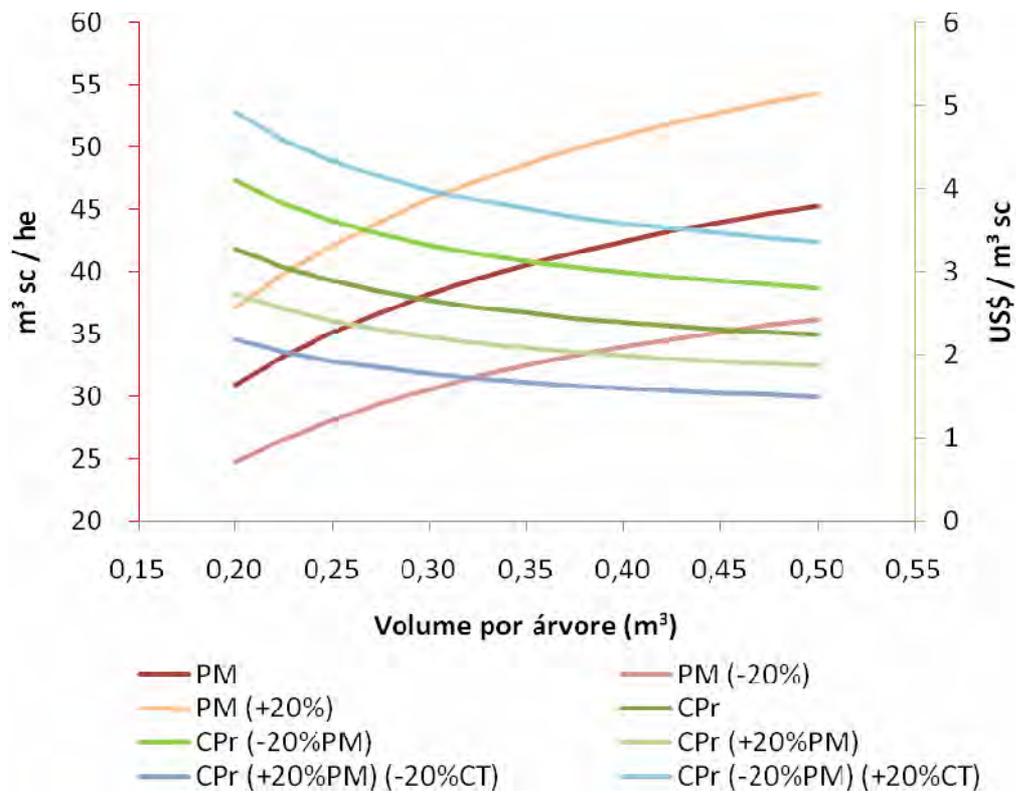


Figura 2.27 – Análise de sensibilidade da produtividade e do custo de produção do *forwarder* em relação ao volume por árvore, variando em $\pm 20\%$. PM – produtividade média da máquina ($m^3\ SC/he$); CPr – custo de produção ($US\$/m^3\ sc$); e CT – custo de operação total ($US\$/he$).

5. CONCLUSÕES

As principais conclusões geradas no experimento estudado foram as seguintes:

- As variáveis de declividade e espaçamentos influenciam significativamente a produtividade das máquinas analisadas, o que foi comprovado pelo delineamento estatístico e pelas equações ajustadas.
- Na análise técnica do ciclo operacional, tem-se acréscimo de tempo das atividades à medida que reduz o espaçamento e aumenta a declividade.
- As máquinas estudadas apresentaram elevado custo operacional, em que pequenas melhorias geraram grandes incrementos.
- O rendimento das máquinas (*harvester, forwarder*) tendeu a ser maior quando aumentou o espaçamento do plantio e reduziu a declividade do terreno, pois os dados seguiram uma análise exponencial.
- A mudança de espaçamento, em média, pode gerar impacto no custo de 10,98% e 1,62% a maior se a opção for pelos usos dos espaçamentos de 3 m x 2,5 m e 3 m x 3,33 m, em comparação com o espaçamento de 3 m x 4 m. Em relação à declividade, o aumento no custo gerado pela encosta foi de 11,26% em relação à baixada.

- No sistema mecanizado, a colheita em declividades maiores e com relevo irregular fez que as máquinas ficassem geralmente instáveis e, por vezes, realizassem manobras para adquirir estabilidade, reduzindo a produtividade.

6. RECOMENDAÇÕES

Para futuros trabalhos, fazem-se as seguintes recomendações:

- Realizar estudos com traçamento de toras maiores que o estudado, especificamente para analisar a produtividade das máquinas e as suas incidências de perda de madeira.
- Desenvolver estudos para avaliar melhor a variável declividade, estratificando-a em pequenas faixas, para obter informações específicas acerca da produtividade e do ciclo operacional das máquinas.
- Dirigir esforços no treinamento dos operadores, visando melhorar a qualidade e produtividade do processo produtivo.
- Os ganhos ou perdas marginais nas atividades silviculturais deverão ser anexados a este trabalho para que se tenham todas as informações dos impactos da mudança de espaçamento em toda a cadeia produtiva.

7. REFERÊNCIAS

ABRAFF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAFF: ano-base 2008**. Brasília, 2009. 120p. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatistica.asp>>. Acesso em: 19 set. 2009.

ANDRADE, S. C. **Avaliação técnica, social, econômica e ambiental de dois subsistemas de colheita florestal no Litoral Norte da Bahia**. 1998. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

BIRRO, M. H. B.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; MINETTI, L. J. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com “track-skidder” em região montanhosa. **R. Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 525-532, 2002.

BRDESCO. **Taxa de câmbio**. Disponível em: <<https://www.agorainvest.com.br>>. Acesso em: 2 set. 2009.

BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “harvesters” na colheita florestal. **Scientia Florestalis**, n. 62, p. 62-74, 2002.

BURLA, E. R. **Avaliação técnica e econômica do “harvester” na colheita do eucalipto**. 2008. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

CARNEIRO, L. C.; RIBEIRO, A.; MARTINEZ, C. A.; LEITE, F. P. **Coefficiente de desacoplamento em plantios jovens de eucalipto**. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2003. 6 p.

ELIASSON, L. Simulation of thinning with a single-grip *harvester*. **Forest Science**, v. 45, n. 1, p. 26-34, 1999.

ESCHENBACH, T. G. Spiderplots versus Tornado diagrams for Sensitivity Analysis. **Interfaces**, v. 6, p. 40, 1992.

FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P. Compactação de um latossolo vermelho causada pelo tráfego do “forwarder”. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 3, p. 279-284, 2003.

FIEDLER, N. C. **Avaliação ergonômica de máquinas utilizadas na colheita de madeira**. 1995. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

GINGRAS, J. F. The effect tree-length harvesting using a Keto 150 harvester heard. **FERIC field note: felling**, n.11, p. 1-2, 1992.

HOLTZSCHER, M. A.; LANFORD, B. L. Tree diameter effectes on cost and productivity of CUT-to-lenght systems. **Forest Products Journal**, v. 47, n. 3, p. 25-30, 1997.

JOHN DEERE. **Especificações de máquinas**. Disponível em: <http://www.deere.com/en_US/cfd/forestry/deere_forestry/index.html>. Acesso em: 21 set. 2009.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 468 p.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. 501 p.

MACHADO, C. C. **Exploração florestal: V parte**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária da UFV, 1985. 15 p. (apostila).

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. 501 p.

MALINOVSKI, R. A. **Otimização da distância de extração de madeira com forwarder**. 2007. 94 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrônômicas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2007.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C. C (Ed.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. 501 p.

MENDONÇA FILHO, W. F. Abate de árvores totalmente mecanizado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTO, 1., 1987, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPr/FUPEF, 1987. p. 267-80.

MINETTE, L. J. **Avaliação técnica e econômica dos tratores florestais (forwarders), na extração de madeira de eucalipto.** 1988. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.

MINETTE, J. L.; MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; SILVA, K. R. Análise técnica e econômica do *forwarder* em três Subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 1, p. 91-97, 2004.

MOREIRA, F. M. T. **Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação.** 2001. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

PASSOS, C. A. M.; BUFULIN JUNIOR, L.; GONÇALVES, M. R. Avaliação silvicultural de *Tectona grandis* L.f., em Cáceres-MT, Brasil: resultados preliminares. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 225-232, 2006.

PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crow and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.172, p. 215-227, 2001.

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

REVISTA DA MADEIRA. O desenvolvimento do setor florestal brasileiro. **R. da Madeira**, v. 18, n. 112, abr. 2008. Disponível em: <http://www.remade.com.br>. Acesso em: 19 set. 2009.

REZENDE, J. L.; FIEDLER, N. C.; MELLO, J. M.; SOZA, A. P. **Análise técnica e de custos de métodos de colheita e transporte florestal.** Lavras, MG: UFLA, 1997. 50 p. (Boletim Agropecuário, 22).

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

SANT'ANNA, C. M. Corte florestal. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal.** 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. 501 p.

SANTOS, G. S. A evolução de forwarders e harvesters na mecanização florestal, 1., 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade de Investigações Florestais, UFV, 1991. p. 27-142.

SANTOS, S. L. M. **Alocação ótima de máquinas na colheita de madeira.** 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

SANTOS, S. L. M. **Sistema de apoio à decisão em colheita florestal**. 2000. 83 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

SANTOS, S. L. M.; MACHADO, C. C. Análise técnico-econômica do processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador. **Revista Árvore**, v.19, n. 3, p. 346-57, 1995.

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

SEIXAS, F. Extração. In: MACHADO, C. C (Ed.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. 501 p.

SILVA, M. L. **Influência do diâmetro no custo de corte e na rotação de povoamentos de eucalipto**. 1991. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1991.

SILVA, M. L.; MIRANDA, G. M.; CORDEIRO, S. A. Custos. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. 501 p.

SILVA, R. M. **Considerações sobre análise de sensibilidade em análise de decisão**. [S.l.]: CNPq, 2004. 44 p. (Relatório de Iniciação Científica).

SOARES, N. S.; REZENDE, A. M.; SILVA, M. L.; MOURA, A. D. **Viveiro Agroflor**. Desempenho do setor florestal brasileiro em 2009. Disponível em: <<http://www.viveiroagroflor.com.br>>. Acesso em: 19 jan. 2010.

SPEIDEL, G. **Economia florestal**. Curitiba: UFPR, 1966. 167 p.

STAMPFER, K.; LOSCHEK, J. Harvester operations increase productivity of cable extraction systems. **Osterreichische Forstzeitung** (Arbeit im Wald), v. 110, n. 2, p. 4-6, 1999.

VALVERDE, S. R. **Painel florestal**. Esclarecimentos sobre as plantações de eucalipto no Brasil. Setembro de 2008. Disponível em: <<http://painelflorestal.com.br>>. Acesso em: 19 set. 2009.

WADOUSKI, L. H. Fatores determinantes da produtividade e dos custos na colheita de madeira. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1998. p. 77-84.

APÊNDICE

DADOS E CÁLCULO DE CUSTOS OPERACIONAIS

1) Determinação do custo operacional do *harvester*

| | |
|--|------------|
| Va = valor de aquisição do <i>harvester</i> (US\$) | 606.347,50 |
| Vr = valor de revenda (US\$) | 0,12*Va |
| N = vida útil econômica (anos) | 5 |
| H = horas trabalhadas no ano (h/ano) | 5.889,60 |
| h = horas trabalhadas por dia (h/dia) | 24 |
| D = dias trabalhados por ano (d/ano) | 245,4 |
| E.O = eficiência operacional (%) | 0,8 |
| he = horas efetivas de uso anual (he/ano) | 4.711,68 |
| DM = dias trabalhados por mês (d/mês) | 20,45 |
| i = taxa de juros anuais (% a.a.) | 0,12 |
| S = seguros (% a.a.) | 0,02 |
| Fn = fator de relação histórica | 1,5 |
| Ce = custo com combustível | |
| preço do combustível (US\$/L) | 0,97 |
| consumo de combustível (L/h) | 22 |
| custo com óleo hidráulico (US\$/L) | 0,5 |
| custo com graxas e lubrificantes (US\$/L) | 0,2 |
| Cp = custo com pneus | |
| P = preço do pneu (US\$/unidade) | 4.774,54 |
| Ne = número de pneus | 6 |
| vida útil do pneu (h/unidade) | 12.500,00 |
| CMO = custo com mão-de-obra (US\$/he) | |
| salário do operador (US\$/mês) | 689,66 |
| número de operadores por máquina | 3,3 |
| encargos sociais (% sobre o salário) | 0,33 |
| despesas Sociais (US\$/mês) | 206,9 |
| CTP = custo de transporte de pessoal (US\$/he) | 0,56 |
| CTM = custo de transporte do maquinário (US\$/he) | 0,42 |
| CAD = custo de administração das operações (US\$/he) | 0,29 |

1.1) Custos fixos (CF)

a) Depreciação

$$Dp = \frac{(606.347,50 - 72761,70) - (4.774,54 * 6)}{(5 * 4.711,68)} = \text{US\$ } 21,43 / \text{he}$$

b) Investimento médio anual

$$IMA = \frac{(606.347,50 - 72761,70) * (5 + 1)}{2 * 5} + 72761,70 = \text{US\$ } 392.913,18$$

c) Juros

$$JS = \frac{392.913,18 * 0,12}{4.711,68 * 5} = \text{US\$ } 2,00 / \text{he}$$

d) Seguros

$$S = \frac{0,015 * 392.913,18}{4.711,68} = \text{US\$ } 1,25 / \text{he}$$

e) Custos fixos totais

$$CFT = 21,43 + 2,00 + 1,25 = \text{US\$ } 24,69 / \text{he}$$

1.2) Custos variáveis

a) Custos de combustíveis

$$Cc = 0,9655 * 22 = \text{US\$ } 21,24 / \text{he}$$

b) Custo de óleo hidráulico

$$Coh = 21,24 * 0,5 = \text{US\$ } 10,62 / \text{he}$$

c) Custo de graxas e lubrificantes

$$Cgl = 21,24 * 0,2 = \text{US\$ } 4,25 / \text{he}$$

d) Custo de manutenção e reparos

$$CMR = 21,43 * 1,5 = \text{US\$ } 32,15 / \text{he}$$

e) Custo de peças

$$Cpe = 21,24 * 1,5 = \text{US\$ } 31,86 / \text{he}$$

f) Custo de pneus

$$Cp = \frac{4.774,54 * 6}{12.500,00} = \text{US\$ } 2,29 / \text{he}$$

g) Custo de transporte de pessoal

$$CTP = \text{US\$ } 0,56 / \text{he}$$

h) Custo de transporte de maquinário

$$CTM = \text{US\$ } 0,42 / \text{he}$$

i) Custo de mão-de-obra

$$Dp = \frac{(689,655 * 12 * 1,331)}{4.711,68} + \frac{(228,276 * 3,3 * 12)}{4.711,68} = \text{US\$ } 9,63 / \text{he}$$

j) Custos variáveis totais

$$CVT = 21,24 + 10,62 + 4,25 + 32,15 + 2,29 + 0,56 + 0,42 + 9,63 = \text{US\$ } 103,03 / \text{he}$$

1.3) Custos de administração

$$CAD = \text{US\$ } 7,57 / \text{he}$$

1.4) Custos totais

$$CT = CFT + CVT + CAD = 24,69 + 103,03 + 7,57 = \text{US\$ } 145,29 / \text{he}$$

2) Determinação do custo operacional do *forwarder*

| | |
|--|------------|
| Va = valor de aquisição do <i>forwarder</i> (US\$) | 456.544,00 |
| Vr = valor de revenda (US\$) | 0,12*Va |
| N = vida útil econômica (anos) | 5 |
| H = horas trabalhadas no ano (h/ano) | 5.889,60 |
| h = horas trabalhadas por dia (h/dia) | 24 |
| D = dias trabalhados por ano (d/ano) | 245,4 |
| E.O = eficiência operacional (%) | 0,85 |
| he = horas efetivas de uso anual (he/ano) | 5.006,16 |
| DM = dias trabalhados por mês (d/mês) | 20,45 |
| i = taxa de juros anuais (% a.a.) | 0,12 |
| S = seguros (% a.a.) | 0,02 |
| Fn = fator de relação histórica | 1,5 |
| Ce = custo com combustível | |
| preço do combustível (US\$/L) | 0,97 |
| consumo de combustível (L/h) | 14 |
| custo com óleo hidráulico (US\$/L) | 0,5 |
| custo com graxas e lubrificantes (US\$/L) | 0,3 |
| Cp = custo com pneus (US\$/he) | |
| Pp = preço do pneu (US\$/unid.) | 4.774,54 |
| Np = número de pneus | 8 |
| vida útil do pneu (h/unid.) | 12.500,00 |
| CMO = custo com mão-de-obra (US\$/he) | |
| salário do operador (US\$/mês) | 689,66 |
| número de operadores por máquina | 3,3 |
| encargos sociais (% sobre o salário) | 0,33 |
| despesas sociais (US\$/mês) | 228,28 |
| CTP = custo de transporte de pessoal (US\$/he) | 0,56 |
| CTM = custo de transporte do maquinário (US\$/he) | 0,42 |
| CAD = custo de administração das operações (US\$/he) | 0,29 |

2.1) Custos fixos (CF)

a) Depreciação

$$Dp = \frac{(456.544,00 - 54785,28) - (4.774,54 * 8)}{(5 * 5.006,16)} = \text{US\$ } 14,52 / \text{he}$$

b) Investimento médio anual

$$IMA = \frac{(456.544,00 - 54785,28) * (5 + 1)}{2 * 5} + 54785,28 = \text{US\$ } 295.804,51$$

c) Juros

$$JS = \frac{295.804,51 * 0,12}{5.006,16 * 5} = \text{US\$ } 1,42 / \text{he}$$

d) Seguros

$$S = \frac{0,015 * 295.804,51}{5.006,16} = \text{US\$ } 0,89 / \text{he}$$

e) Custos fixos totais

$$CFT = 14,52 + 1,42 + 0,89 = \text{US\$ } 16,83 / \text{he}$$

2.2) Custos variáveis (CV)

a) Custos de combustíveis

$$Cc = 0,9655 * 14 = \text{US\$ } 13,52 / \text{he}$$

b) Custo de óleo hidráulico

$$Coh = 21,24 * 0,5 = \text{US\$ } 6,70 / \text{he}$$

c) Custo de graxas e lubrificantes

$$Cgl = 21,24 * 0,3 = \text{US\$ } 4,06 / \text{he}$$

d) Custo de manutenção e reparos

$$CMR = 14,52 * 1,5 = \text{US\$ } 21,79 / \text{he}$$

e) Custo de peças

$$Cpe = 13,52 * 1,5 = \text{US\$ } 20,28 / \text{he}$$

f) Custo de pneus

$$Cp = \frac{4.774,54 * 8}{12.500,00} = \text{US\$ } 3,06 / \text{he}$$

g) Custo de transporte de pessoal

$$CTP = \text{US\$ } 0,56 / \text{he}$$

h) Custo de transporte de maquinário

$$CTM = \text{US\$ } 0,42 / \text{he}$$

i) Custo de mão-de-obra

$$Dp = \frac{(689,655 * 12 * 1,331)}{5.006,16} + \frac{(228,276 * 3,3 * 12)}{5.006,16} = \text{US\$ } 9,07 / \text{he}$$

j) Custos variáveis totais

$$CVT = 13,52 + 6,76 + 4,06 + 21,79 + 3,06 + 0,56 + 0,42 + 9,07 = \text{US\$ } 79,50 / \text{he}$$

2.3) Custos de administração

$$CAD = \text{US\$ } 5,30 / \text{he}$$

2.4) Custos totais

$$CT = CFT + CVT + CAD = 16,83 + 79,50 + 5,30 = \text{US\$ } 101,63 / \text{he}$$