

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**COMBINAÇÃO DE DADOS DE CAMPO E MÉTODOS  
COMPUTACIONAIS PARA O PLANEJAMENTO DA  
EXPLORAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA**

**FABIANO EMMERT**

**ORIENTADOR: REGINALDO SÉRGIO PEREIRA**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD - 041/2014**

**BRASÍLIA/DF: MAIO – 2014**



E54c Emmert, Fabiano.  
Combinação de dados de campo e métodos computacionais para o planejamento da exploração florestal na Amazônia / Fabiano Emmert. -- 2014.  
190 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2014.

Inclui bibliografia.

Orientação: Reginaldo Sérgio Pereira.

1. Manejo florestal. 2. Ergonomia. 3. Sistemas de informação geográfica. 4. Amazônia. I. Pereira, Reginaldo Sérgio. II. Título.

CDU 634.0.6(811)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

EMMERT, F. (2014). Combinação de Dados de Campo e Métodos Computacionais para o Planejamento da Exploração Florestal na Amazônia. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD – 041/2014. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 190p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Fabiano Emmert.

TÍTULO: Combinação de Dados de Campo e Métodos Computacionais para o Planejamento da Exploração Florestal na Amazônia

GRAU: Doutor ANO: 2014

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Fabiano Emmert  
fabianoemmert@gmail.com

## AGRADECIMENTOS

Aos membros da banca avaliadora, professores Eraldo Matricardi, Alba Valeria Rezende, Niro Higuchi e Eugênio Arima.

Ao orientador do doutorado e amigo, professor Reginaldo Sérgio Pereira.

Ao projeto INCT/Madeiras da Amazônia pelo apoio à pesquisa.

Ao *Department of Geography and the Environment of the University of Texas at Austin* por conceder o período de doutorado sanduíche.

À CAPES pelo apoio financeiro durante o doutorado no Brasil e pela concessão do período sanduíche nos EUA.

Ao Decanato de Pós-Graduação da UnB, ao Departamento de Engenharia Florestal e a secretaria de Pós-Graduação pelo apoio à pesquisa e pelos serviços prestados.

Ao Serviço Florestal Brasileiro por permitir a realização de parte da pesquisa na FLONA do Jamari-RO.

Às empresas Mil Madeiras Preciosas (*Precious wood*) e MADEFLONA por permitirem a coleta de dados em suas áreas de manejo florestal e pelo apoio nas atividades de campo.

À Engenheira florestal Bárbara Bomfim por auxiliar nas coletas de dados em campo.

Aos colegas florestais do curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UnB.

Aos colegas florestais do curso de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais do INPA.

Especialmente, agradeço a meus pais pelo incentivo aos estudos, apoio financeiro durante o período de doutorado e pela infinita paciência. Aos meus irmãos, deixo esse agradecimento também.

Aos meus amigos/irmãos que apoiaram, em algum momento, o doutorado.

À Deus pela saúde, inteligência, proteção e oportunidades que pude viver nesse período.

**Fui abençoado! Obrigado!**

Aos meus pais,  
**Dedico.**

## RESUMO

### COMBINAÇÃO DE DADOS DE CAMPO E MÉTODOS COMPUTACIONAIS PARA O PLANEJAMENTO DA EXPLORAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA

**Autor: Fabiano Emmert**

**Orientador: Reginaldo Sérgio Pereira**

**Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, mês de maio de 2014**

A pesquisa foi realizada em duas áreas de exploração autorizada na Amazônia Legal, uma em floresta privada no Estado do Amazonas (AM) e outra em floresta pública no Estado de Rondônia (RO). As atividades de exploração madeireira na floresta privada se basearam no sistema CELOS, usando o conjunto de operações de corte, pré-arraste (guinchamento) e arraste. Na floresta pública, o conjunto de operações adotou apenas corte e arraste. A intensidade da exploração planejada foi de  $25,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e de  $25,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  na floresta privada e na pública, respectivamente. A pesquisa objetivou desenvolver modelos de planejamento da exploração florestal, combinando informações técnicas e métodos computacionais. Para isso, primeiramente, a exploração foi avaliada por levantamentos de campo para obter informações técnicas de cada etapa do processo de exploração. A avaliação abordou os aspectos operacionais e ergonômicos, a qualidade e os custos da exploração. Depois, os modelos de planejamento da exploração se voltaram para a redução da quantidade de estradas, trilhas de arraste e pátios de estocagem e para promover o melhor uso dessas infraestruturas. Os resultados da avaliação da exploração mostraram que a produtividade do sistema na floresta privada foi maior do que na pública, principalmente no tocante à extração. Essa superioridade foi auxiliada pelas atividades do pré-arraste, que promoveram a distribuição favorável das toras ao longo das trilhas, elevando o desempenho da operação de arraste e diminuindo o custo dessa etapa. Perdas na intensidade planejada ocorreram durante as atividades. Essas perdas aconteceram em função das árvores ocas que estavam programadas para o corte e não foram aproveitadas e do volume remanescente nos tocos devido à altura de corte superior ao padronizado. Quanto aos impactos causados pelas atividades de exploração, os danos ao dossel e ao solo foram significativos em ambas as áreas, embora na floresta privada, os danos ao solo tenham sido inferiores devido à menor quantidade de trilhas requerida pelo sistema de exploração. A avaliação do aspecto ergonômico mostrou que o trabalho florestal e o seu próprio ambiente podem causar prejuízos à saúde dos trabalhadores, principalmente em relação às condições térmicas e de postura corporal durante as atividades. Em relação aos modelos de planejamento desenvolvidos, a redução da quantidade total de infraestrutura foi de 16,5 % e 7,0 % na floresta privada e na pública, respectivamente. No sistema da floresta privada, as reduções se destacaram nas trilhas de arraste e no número de pátios de estocagem. Para os pátios, os modelos de planejamento promoveram maior capacidade e igualdade no volume de armazenamento entre eles, demonstrando maior aproveitamento dessa infraestrutura. Na floresta pública, os resultados dos modelos de planejamento foram mais eficientes na redução de trilhas de arraste. Isso mostrou a necessidade de melhorias e adequações nos modelos para a redução dos outros elementos de infraestruturas desse sistema de exploração. De maneira geral, os modelos propostos foram ágeis para o planejamento das infraestruturas de exploração, gerando os resultados em poucas horas. Além disso, os modelos executados automaticamente em SIG, eliminaram o tempo gasto na vetorização manual de estradas, trilhas e pátios. Contudo, os resultados sugerem que o sistema de exploração da floresta privada procede operacionalmente melhor e causa menos danos. Além disso, grande parte

esses danos são diminuídos ainda mais com os modelos de planejamento desenvolvidos. Portanto, o sistema da floresta privada mostra-se mais promissor na exploração autorizada, embora esses resultados necessitam de replicação e verificação em outras áreas. Adicionalmente, os benefícios reais da aplicação desses métodos computacionais podem ser conhecidos na prática e facilmente adotados por qualquer empresa com capacidade de mapeamento baseado em SIG e dados de campo.

**Palavras-chave:** Manejo florestal, Ergonomia; Sistemas de Informação Geográfica; Amazônia.

## ABSTRACT

### COMBINATION OF FIELD DATA AND COMPUTATIONAL METHODS FOR FOREST LOGGING PLANNING IN THE AMAZON

The research was performed in two areas of authorized logging in the Brazilian Legal Amazon, one in a private forest in Amazonas State (AM) and the other in a public forest in the State of Rondônia (RO). Logging activities in the private forest were based on the CELOS system that uses felling, winching, and skidding operations. In the public forest, the operations adopted were felling and skidding only. Planned logging intensities were  $25.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  and  $25.8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  in private and public forest, respectively. The research aimed to develop logging planning models that combined technical information and computational methods. To accomplish that, the logging operation was first evaluated by field surveys to obtain technical information about each step of the logging process. The evaluation comprised data collection of ergonomic and operational aspects, quality, and costs of logging. After that, computer-based logging planning models were designed to reduce the amount of roads, skid trails and landings, and to promote a better use of this infrastructure. The evaluation of the exploration showed that the productivity of the system adopted in the private forest was higher than the system adopted in the public forest, mainly with regard to extraction step. This higher productivity was a result of the winching procedure, which promoted a more favorable distribution of the logs along the skid trails, increasing the performance of the skidding operation, thereby decreasing the costs of this step. Losses in the volume extracted per hectare also occurred. These losses resulted from hollow trees that were not serviceable and from the remaining volume left on the stumps due to higher than optimal cutting plane. As for the impacts caused by the activities of logging, damages to the canopy and soil were significant in both areas, although in private forest the damage to the soil were inferior due to the lower amount of trails required in the operating system. The ergonomic assessment showed that working conditions in the forest might affect the health of workers, mainly because of thermal exhaustion and body postural conditions during activities. The computer-based planning models developed reduced the total amount of infrastructure by 16.5 % and 7.0 % in private and public forest, respectively. In the system adopted in the private forest, the largest reductions were on the trails and in the number of landings. The models generated the smallest amount of landings that were necessary to store the extracted logs while also decreased the variability in the volume stored between landings, thus optimizing the use of this infrastructure. In the public forest, the models were more efficient in reducing skid trails but not roads and landings. Thus, there is room to improve the models in order to further reduce the other infrastructure elements of this operating system. Overall, the proposed computer-based algorithms were fast for planning the infrastructure of logging and generated the results in a few hours of processing. In addition, the models run automatically in a GIS, eliminating the time spent on manual drawing of roads, trails, and landings. Overall, our results suggest that the logging system adopted in the private forest is operationally better and cause less damage. Moreover, these damages can be further reduced by using computer-based infrastructure planning models. This system seems to be more promising than the one adopted in the public forest, although these results need to be replicated and verified in other sites. Additionally, the real benefits of this computer-based application can be known in practice because these methods can be easily adopted by any company with a GIS and field-based mapping capability.

**Key-words:** Forest Management; Ergonomics; Geographic Information System; Amazon.

## SUMÁRIO

|  |            |
|--|------------|
| <b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>   | <b>16</b>  |
| 1.1. Generalidades e justificativas .....  | 16         |
| 1.2. Hipóteses .....   | 18         |
| 1.3. Objetivo geral .....  | 18         |
| 1.4. Escopo do documento.....  | 19         |
| <b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>  | <b>21</b>  |
| 2.1. A floresta tropical úmida .....   | 21         |
| 2.2. Taxas de exploração madeireira na floresta tropical úmida .....                                   | 22         |
| 2.3. Práticas silviculturais tropicais .....   | 23         |
| 2.4. Exploração florestal e suas peculiaridades .....  | 24         |
| 2.5. Ergonomia e segurança do trabalho florestal .....   | 29         |
| <b>3. AVALIAÇÃO DA EXPLORAÇÃO FLORESTAL LEGAL EM DUAS ÁREAS DE MANEJO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA .....</b> | <b>32</b>  |
| 3.1. INTRODUÇÃO.....   | 32         |
| 3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 34         |
| 3.2.1. Área de estudo .....  | 34         |
| 3.2.2. Floresta Amazônica Brasileira.....  | 34         |
| 3.2.3. Caracterização das áreas de manejo florestal .....  | 38         |
| 3.2.4. Avaliação técnica das operações de exploração florestal.....                                    | 42         |
| 3.2.5. Qualidade da exploração florestal .....   | 49         |
| 3.2.6. Custos da exploração florestal.....   | 54         |
| 3.2.7. Fatores ergonômicos da exploração florestal .....   | 58         |
| 3.3. RESULTADOS .....  | 65         |
| 3.3.1. Estudo de tempos e movimentos .....   | 65         |
| 3.3.2. Desempenho operacional.....   | 74         |
| 3.3.3. Qualidade da exploração .....   | 78         |
| 3.3.4. Custos da exploração .....  | 87         |
| 3.3.5. Fatores ergonômicos.....  | 89         |
| 3.3.6. Discussão.....  | 99         |
| 3.4. CONCLUSÃO.....  | 115        |
| <b>4. PLANEJAMENTO ESPACIAL DA INFRAESTRUTURA DE EXPLORAÇÃO FLORESTAL.....</b>                         | <b>116</b> |
| 4.1. INTRODUÇÃO.....   | 116        |
| 4.1.1. Planejamento florestal .....  | 117        |
| 4.1.2. Tecnologias para o planejamento florestal .....   | 119        |
| 4.1.3. A concepção do estudo .....   | 121        |
| 4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 124        |
| 4.2.1. Área de estudo .....  | 124        |
| 4.2.2. Planejamento praticado .....  | 125        |
| 4.2.3. Dados.....  | 127        |
| 4.2.4. Ambiente computacional requerido .....  | 128        |
| 4.2.5. Planejamento proposto .....   | 130        |
| 4.2.6. Análise.....  | 140        |
| 4.2.7. Extensão .....  | 143        |
| 4.3. RESULTADOS .....  | 146        |
| 4.3.1. Área efetiva de exploração (AEE).....   | 146        |

|   |            |
|---|------------|
| 4.3.2. Estrada principal .....          | 147        |
| 4.3.3. Estrada secundária .....         | 150        |
| 4.3.4. Trilhas de arraste .....         | 150        |
| 4.3.5. Pátios de estocagem e AAPs ..... | 153        |
| 4.3.6. Discussão .....                  | 155        |
| 4.3.7. Extensão .....                   | 171        |
| 4.4. CONCLUSÃO.....                     | 178        |
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>     | <b>179</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>181</b> |

## LISTA DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabela 3.1.</b> Tipo de atividade e taxa metabólica. ....   | 60  |
| <b>Tabela 3.2.</b> Sistema OWAS para registro da postura. ....   | 60  |
| <b>Tabela 3.3.</b> Sistema OWAS: Classificação das posturas pela combinação das variáveis. .   | 61  |
| <b>Tabela 3.4.</b> Tempo máximo de exposição permissível ao ruído contínuo ou intermitente.  | 62  |
| <b>Tabela 3.5.</b> Atuação recomendada em função da dose diária ou do nível de exposição normalizado encontrados nas condições de exposição. ....  | 62  |
| <b>Tabela 3.6.</b> Regime de trabalho intermitente em função do IBUTG e tipo de atividade. ..  | 63  |
| <b>Tabela 3.7.</b> Limite de exposição ocupacional ao calor.....   | 63  |
| <b>Tabela 3.8.</b> Resultados estatísticos para a amostragem dos tempos das operações.....   | 65  |
| <b>Tabela 3.9.</b> Tempos dos ciclos e elementos operacionais. ....  | 66  |
| <b>Tabela 3.10.</b> Tempos dos ciclos e elementos operacionais. ....   | 68  |
| <b>Tabela 3.11.</b> Fatores motivadores de interrupções registradas. ....  | 71  |
| <b>Tabela 3.12.</b> Fatores motivadores de interrupções registradas. ....  | 73  |
| <b>Tabela 3.13.</b> Análise de variância para impactos no dossel na floresta privada.....  | 79  |
| <b>Tabela 3.14.</b> Análise de variância para impactos no dossel na floresta pública.....  | 79  |
| <b>Tabela 3.15.</b> Resultados dos parâmetros de danos ao solo encontrados nas parcelas permanentes das áreas explorada e não explorada e suas diferenças significativas de média. ....          | 80  |
| <b>Tabela 3.16.</b> Resultado de DS para as parcelas permanentes entre UPAs .....  | 82  |
| <b>Tabela 3.17.</b> Resultado da análise de variância para DS na floresta pública .....  | 82  |
| <b>Tabela 3.18.</b> ANOVA fatorial para de RPS para os tratamentos área explorada, não explorada, trilhas de arraste e pátios de estocagem e profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm. .... | 83  |
| <b>Tabela 3.19.</b> Resultados do teste Tukey de médias para a RPS dentro dos tratamentos e para profundidades. ....   | 83  |
| <b>Tabela 3.20.</b> Custos mensais das operações na floresta privada.....  | 88  |
| <b>Tabela 3.21.</b> Perfil dos trabalhadores na floresta privada e pública.....  | 91  |
| <b>Tabela 3.22.</b> Tipo de trabalho realizado pelos funcionários empregados na exploração florestal.....  | 93  |
| <b>Tabela 3.23.</b> Tipo de trabalho realizado pelos funcionários empregados na exploração florestal.....  | 94  |
| <b>Tabela 3.24.</b> Classificação postural pelo sistema OWAS para os funcionários da floresta privada. ....  | 95  |
| <b>Tabela 3.25.</b> Classificação postural pelo sistema OWAS para os funcionários da floresta pública. ....  | 96  |
| <b>Tabela 3.26.</b> Resultados totais do estudo e informações dos POAs das áreas exploradas.....   | 112 |
| <b>Tabela 3.27.</b> Avaliação da exploração florestal nas áreas estudadas.....   | 113 |
| <b>Tabela 4.1.</b> Conjunto de pacotes de extensões e ferramentas utilizados nos procedimentos computacionais em ArcGIS.....   | 129 |
| <b>Tabela 4.2.</b> Matriz de determinação dos valores de custo pelo tipo de infraestrutura.....  | 134 |
| <b>Tabela 4.3.</b> Resultados com valores gerais médios dos planejamentos praticados e proposto para a determinação de pátios de estocagem na AEE. ....  | 147 |
| <b>Tabela 4.4.</b> Resultados da alocação de estradas e trilhas de arraste na AEE obtidos pelos planejamentos praticado e proposto. ....   | 155 |
| <b>Tabela 4.5.</b> Resultados gerais das infraestruturas de exploração alocadas pelos planejamentos praticado e proposto para uma mesma cobertura de árvores.....                                | 166 |
| <b>Tabela 4.6.</b> Resultados gerais para o planejamento praticado e proposto. ....  | 177 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 3.1.</b> Localização das áreas de estudo nos estados do Amazonas e Rondônia e a Amazônia Legal.....   | 34 |
| <b>Figura 3.2.</b> Características ambientais da região da Amazônia Legal: A) Vegetação; B) Solo; C) Precipitação média anual; D) Temperatura média anual.....  | 36 |
| <b>Figura 3.3.</b> Localização da UPA MV01a no Município de Silves, Amazonas. ....  | 39 |
| <b>Figura 3.4.</b> Localização da FLONA do Jamari localizada nos Municípios de Itapuã do Oeste, Candeias do Jamari e Cujubim, no Estado de Rondônia. ....   | 40 |
| <b>Figura 3.5.</b> Aspectos avaliados na exploração das florestas privada e pública. ....   | 41 |
| <b>Figura 3.6.</b> Estudos desenvolvidos na avaliação técnica da exploração florestal .....   | 42 |
| <b>Figura 3.7.</b> Fluxo das atividades de exploração na floresta privada. Elementos do ciclo operacional do corte: <i>localização da árvore</i> (A1), <i>planejamento</i> (A2), <i>derrubada</i> (A3) e <i>destopamento</i> (A4). Elementos do ciclo operacional pré-arraste: <i>deslocamento</i> (B1), <i>cabo vazio</i> (B2) e <i>cabo carregado</i> (B3). Elementos do ciclo operacional do arraste: <i>viagem vazio</i> (C1), <i>carregamento</i> (C2) e <i>viagem carregado</i> (C3)..... | 44 |
| <b>Figura 3.8.</b> Fluxo das atividades de exploração na floresta pública. Elementos do ciclo operacional do corte: <i>localização da árvore</i> (A1), <i>planejamento</i> (A2), <i>derrubada</i> (A3) e <i>traçamento</i> (A4). Elementos do ciclo operacional do arraste: <i>viagem vazio</i> (B1), <i>carregamento</i> (B2) e <i>viagem carregado</i> (B3). Os símbolos quadrados representam o posicionamento e quantidade de trabalhadores em cada elemento operacional.....               | 46 |
| <b>Figura 3.9.</b> Organograma dos estudos desenvolvidos na avaliação da qualidade da exploração.....   | 49 |
| <b>Figura 3.10.</b> Coleta de dados da abertura de dossel: (A) Densiómetro côncavo; (B) Leituras na base da árvore antes do corte; (C) Leituras na base da árvore (toco) após o corte.....  | 50 |
| <b>Figura 3.11.</b> Método de amostragem da densidade do solo na parcela permanente. ....   | 50 |
| <b>Figura 3.12.</b> Coleta de dados de compactação do solo: (A) Penetrômetro em utilização; (B) Detalhe da amostragem em trilhas de arraste (pontos vermelhos); (C) Amostragem em pátio de estocagem de madeira (pontos vermelhos).....   | 52 |
| <b>Figura 3.13.</b> Coleta de dados do desperdício: (A) Toco (com sapopema) após corte; (B) Alturas medidas; (C) Diâmetros medidos. ....  | 53 |
| <b>Figura 3.14.</b> Forma da base do toco. Seção transversal do fuste: (A) cilíndrico; (B) irregular e (C) com sapopemas. As linhas em vermelho representam algumas das maneiras de obtenção do diâmetro dos tocos, utilizando sempre duas medidas (D1 e D2). Para o com sapopema, mediram-se o maior comprimento incluindo a sapopema e o menor diâmetro sem sapopemas. O diâmetro para todos os tipos foi a média aritmética dessas duas medidas (representadas pelas linhas vermelhas) ..... | 53 |
| <b>Figura 3.15.</b> Organização dos tópicos avaliados na avaliação dos custos da exploração. .  | 54 |
| <b>Figura 3.16.</b> Organização dos estudos desenvolvidos na avaliação dos fatores ergonômicos .....  | 58 |
| <b>Figura 3.17.</b> Formulário socioeconômico utilizado no perfil do trabalhador.....   | 59 |
| <b>Figura 3.18.</b> Proporção dos tempos <i>normal</i> e <i>padrão</i> dos ciclos operacionais e elementos de corte, pré-arraste e arraste. O gráfico interno representa o tempo <i>normal</i> e o externo o tempo <i>padrão</i> . Texturas diferentes representam os elementos de cada ciclo operacional. ....   | 67 |
| <b>Figura 3.19.</b> Valores mínimo e máximo do tempo <i>padrão</i> dos ciclos operacionais e para toda a exploração (total). ....   | 68 |
| <b>Figura 3.20.</b> Proporção dos tempos <i>normal</i> e <i>padrão</i> , dos ciclos operacionais e elementos de corte, pré-arraste e arraste. O gráfico interno representa o tempo <i>normal</i> e o externo o tempo <i>padrão</i> . Texturas diferentes representam os elementos de cada ciclo operacional. .  | 69 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 3.21.</b> Valores mínimo e máximo do tempo <i>padrão</i> dos ciclos operacionais e para toda a exploração (total). .....   | 70  |
| <b>Figura 3.22.</b> Proporção de tempos dos elementos dos ciclos operacionais de corte, pré-arraste e arraste. Os elementos de cada ciclo são representados por texturas de preenchimento diferentes. Interrupções são representadas na mesma textura do elemento e com tonalidade escura. A sequência dos elementos em cada ciclo é indicada conforme a seta no centro das figuras. ....        | 70  |
| <b>Figura 3.23.</b> Proporção dos tempos dos elementos dos ciclos operacionais de corte, pré-arraste e arraste. Os elementos de cada ciclo são representados por texturas de preenchimento diferentes. Interrupções são representadas na mesma textura do elemento, porém, com tonalidade escura. A sequência dos elementos em cada ciclo é indicada conforme a seta no centro das figuras. .... | 73  |
| <b>Figura 3.24.</b> Valores de eficiência operacional obtidos na floresta privada. ....  | 75  |
| <b>Figura 3.25.</b> Valores de eficiência operacional obtidos na floresta pública. ....  | 76  |
| <b>Figura 3.26.</b> Produtividades das operações estudadas na floresta privada. ....   | 77  |
| <b>Figura 3.27.</b> Produtividades das operações estudadas na floresta privada. ....   | 78  |
| <b>Figura 3.28.</b> Curvas de RPS para a área não explorada (A), explorada (B), trilhas de arraste (C) e pátios de estocagem (D). ....   | 84  |
| <b>Figura 3.29.</b> Volume de tocos encontrados nas florestas privada e pública. A barra na cor cinza expressa a variação de 50 % dos volumes de tocos, entre o primeiro e o terceiro quartis.   |     |
| 85   |     |
| <b>Figura 3.30.</b> Variação dos dados de altura e diâmetro, onde as barras em preto mostram o intervalo entre o 1º e 3º quartil, apresentando, ainda, os valores máximo e mínimo observados. ....   | 86  |
| <b>Figura 3.31.</b> Variação dos dados de altura e diâmetro, onde as barras em preto mostram o intervalo entre o 1º e 3º quartil, apresentando, ainda, os valores máximo e mínimo observados. ....   | 86  |
| <b>Figura 3.32.</b> Figura I. Custos operacional e de produção obtidos na floresta privada. ....   | 89  |
| <b>Figura 3.33.</b> Posturas mais frequentes observadas durante as operações: (A) operador de motosserra durante a derrubada; (B) líder (em vermelho) verificando mapa de colheita; (C) auxiliar de corte durante limpeza de fuste na região de corte, e; (D) auxiliar de pré-arraste durante o estiramento de cabo. ....  | 94  |
| <b>Figura 3.34.</b> Posturas mais frequentes observadas durante as operações: (A) operador de motosserra durante a derrubada; (B) auxiliar de corte durante limpeza de fuste na região de corte, e; (C) auxiliar de arraste durante em desobstrução no local de acoplamento da tora. ....  | 95  |
| <b>Figura 3.35.</b> Comportamento diário do tempo durante o período de coleta (Novembro e Dezembro de 2010) da temperatura do ar (TA), índice de termômetro de globo (IBUTG) e umidade do ar (UR). ....  | 98  |
| <b>Figura 3.36.</b> Curvas de comportamento térmico para determinação de regime de trabalho. Sabendo-se o valor no início da jornada (hora 0), verifica-se o comportamento da curva que inicia com o valor mais próximo a esse e, então, determina-se os momentos e os regimes de trabalho. ....   | 99  |
| <b>Figura 4.1.</b> Algumas formas assumidas pelos gráficos <i>trees</i> . ....   | 122 |
| <b>Figura 4.2.</b> Localização geral da área de estudo e visualização do bloco de exploração selecionado para o planejamento. ....   | 124 |
| <b>Figura 4.3.</b> Diferentes maneiras de ligação entre pontos: (A) solução encontrada na maioria dos programas de SIG ( <i>least cost path</i> ); (B) solução retornada utilizando o algoritmo de <i>Prim</i> ; (C) solução encontrada pelo o algoritmo de <i>Prim</i> “modificado”, e; (D) solução utilizando o algoritmo de <i>Steiner</i> . ....   | 130 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 4.4.</b> Modelo esquemático da determinação de um caminho principal a cada iteração.....   | 132 |
| <b>Figura 4.5.</b> Modelo esquemático das etapas de planejamento da infraestrutura. ....   | 133 |
| <b>Figura 4.6.</b> Procedimentos computacionais em ambiente ArcGIS para determinação da estrada principal.....   | 134 |
| <b>Figura 4.7.</b> Procedimentos computacionais em ambiente ArcGIS para determinação das estradas secundárias.....   | 135 |
| <b>Figura 4.8.</b> Modelo proposto para os valores da superfície de custo para trilhas de arraste. A localização das feições demonstrada na figura trata-se de um modelo esquemático. ...  | 137 |
| <b>Figura 4.9.</b> Procedimentos computacionais em ambiente ArcGIS para determinação das trilhas de arraste.....   | 138 |
| <b>Figura 4.10.</b> Procedimentos computacionais em ambiente ArcGIS para determinação das áreas de abrangência e dos pátios de estocagem de madeira.....   | 140 |
| <b>Figura 4.11.</b> Delineamento da análise do planejamento florestal. Formas retangulares em preto representam as etapas do planejamento, em cinza os tratamentos comparados e em branco os parâmetros comparados.....  | 142 |
| <b>Figura 4.12.</b> Área efetiva de manejo (AEE). Área menor destacada no mapa (500x1000m) mostra a distribuição espacial e volumétrica das árvores exploradas. ....   | 146 |
| <b>Figura 4.13.</b> Infraestrutura alocada pelo planejamento praticado. ....   | 148 |
| <b>Figura 4.14.</b> Infraestruturas alocadas pelo planejamento praticado: (A1) superfície <i>raster</i> com o código de custo para estradas principais; (A2) alocação da estrada principal; (A3) detalhe da localização da estrada principal em relação à superfície de custo; (B1) superfície <i>raster</i> com o código de custo para estradas secundárias e tendo como origem a estrada principal; (B2) alocação da estrada secundária; (B3) detalhe da localização da estrada secundária em relação à superfície de custo; (C1) superfície <i>raster</i> com o código de custo para trilhas de arraste e tendo como origem as estradas; (C2) alocação das trilhas de arraste; (C3) detalhe da localização das trilhas de arraste em relação à superfície de custo; ..... | 149 |
| <b>Figura 4.15.</b> Comparação da localização espacial das infraestruturas alocadas pelos planejamentos proposto e praticado. ....   | 156 |
| <b>Figura 4.16.</b> Gráfico de densidade de estradas em função da distância média às árvores. A linha escura representa o modelo (potência) ajustado para o planejamento proposto. A linha clara representa o modelo (potência) ajustado para o planejamento praticado. A linha tracejada representa o limite de comparação em função da distância às árvores entre ambos os planejamentos. Note que o modelo proposto, mantendo-se uma distância média de referência de 250 m, requer uma menor quantidade de estradas para acessar as árvores exploradas.....  | 159 |
| <b>Figura 4.17.</b> Cobertura de árvores pelas trilhas de arraste dos planejamentos proposto e praticado. A área em cinza representa a área de pré-arraste (raio de 50 m a partir das trilhas). Essa área corresponde ao raio de ação do cabo utilizado para o guinchamento das toras. As árvores situadas além desse raio necessitam de aberturas adicionais de trilhas.....  | 160 |
| <b>Figura 4.18.</b> Cobertura de árvores para a área de pré-arraste em função da densidade de trilhas. Os modelos polinomiais foram ajustados e com esses foram feitas as projeções para comparação entre os planejamentos em um nível de cobertura de 100%. ....  | 161 |
| <b>Figura 4.19.</b> Relação entre densidade de infraestrutura (trilhas e estradas) e distância até as árvores. ....  | 161 |
| <b>Figura 4.20.</b> Delimitação das áreas de abrangência de pátios (AAPs): (A) AAPs criadas a partir da base espacial com os pontos dos pátios fornecida pelos manejadores e como método dos polígonos de <i>Thiessen</i> ; (B) AAPs criadas a partir dos pontos dos pátios conforme a metodologia do planejamento proposto, porém, utilizando o método dos polígonos de   |     |

|  |     |
|--|-----|
| Thiessen, e; (C) AAPs criadas partir dos pontos dos pátios e utilizando o comportamento hidrográfico de acumulação de fluxo, conforme o método do planejamento proposto. ...   | 163 |
| <b>Figura 4.21.</b> Distribuição do volume de estocagem e a densidade de infraestrutura das AIPs: (A) planejamento praticado, apresentando maior variação da distribuição e maior quantidade de pátios; e, (B) planejamento proposto, com menor variação e quantidade de pátios. A faixa em cinza representa o limite e de armazenamento do pátio de 1439 m <sup>3</sup> baseando-se em dados de campo pós-exploração. A linha cinza escuro representa a média da densidade de estradas das AAPs, sendo que para os gráficos (A) e (B), essas foram determinadas pelos polígonos de Thiessen e suas médias foram 90,64 e 64,49 m/ha, respectivamente e, para o gráfico (C), as AAPs foram determinados segundo a metodologia desenvolvida no planejamento proposto, a qual se baseia no acumulo de fluxo semelhantemente ao comportamento de subbacias hidrográficas, a média foi de 64,44 m/ha..... | 165 |
| <b>Figura 4.22.</b> Infraestrutura de exploração alocada pelo planejamento proposto: (A) mapa em 2D, e; (B) perspectiva em 3D considerando o modelo de elevação do terreno (exagero vertical: 3).....  | 170 |
| <b>Figura 4.23.</b> Planejamento da infraestrutura praticado.....  | 171 |
| <b>Figura 4.24.</b> Visualização das AAPs segundo o método do polígono de Thiessen.....  | 172 |
| <b>Figura 4.25.</b> Alocação das infraestruturas segundo o planejamento propostos e das áreas de abrangência de pátios – AAPs.....   | 173 |
| <b>Figura 4.26.</b> Distribuição do número de árvores em cada AAP e sua a densidade de infraestrutura: (A) planejamento praticado subdividido por UTs, apresentando variação de 9,98 % no número de árvores por UT e 43,98 % na densidade de estradas; (B) planejamento praticado com AAPs/Thiessen, as variações de número de árvores e densidade de estradas foral de 24,70 % e 49,81 %, respectivamente, e; (C) planejamento praticado com AAP/Modelo hidrológico as variações de número de árvores e densidade de estradas foral de 7,30 % e 59,73 %, respectivamente. A faixa em cinza representa o limite e de armazenamento do pátio de 42. A linha cinza escuro representa a média da densidade de estradas das UTs e AAPs, sendo em (A), (B) e (C) as médias foram de 21,5 m/ha, 21,9 m/ha e 20,5 m/ha, respectivamente. ....   | 174 |
| <b>Figura 4.27.</b> Cobertura de 250 m a partir dos pátios por classe e por distância acumulada.....   | 175 |
| <b>Figura 4.28.</b> Alocação das trilhas de arraste para os planejamentos: (A) AAPs com as menores áreas; (B) AAPs com áreas médias, e; (C) AAPs com maiores áreas. Narv = número de árvores; ExtTr = extensão das trilhas; DMA = densidade de árvores nas AAPs; DMTr = densidade de trilhas nas AAPs, e; CMTr = contribuição média de trilhas por árvore. ....  | 176 |

# 1. INTRODUÇÃO GERAL

## 1.1. GENERALIDADES E JUSTIFICATIVAS

Após o auge da crise econômica internacional em 2009, a indústria de madeira tropical vem apresentando modesta recuperação. Em 2010, a produção mundial em tora alcançou 141 milhões de metros cúbicos e 75 % desta produção pertenciam a Indonésia, Índia, Malásia e Brasil. No mesmo ano, a produção mundial de madeira serrada foi igual a 43 milhões de metros cúbicos e 37 % dessa produção pertencia ao Brasil. Os restantes 63 % concentraram-se em países da região do Sudeste Asiático, que vêm sofrendo com o declínio acelerado de suas áreas florestais e respectiva produção (ITTO, 2011).

Apesar dos sinais de recuperação do mercado mundial, a oferta de madeira tem se tornado cada vez mais restrita devido às altas taxas de desmatamento. Uma das principais causas do desmatamento é a conversão de florestas em áreas de produção agropecuária. Em muitos países tropicais, as taxas de desmatamento são ainda alarmantes (FAO, 2011).

Considerando as florestas tropicais da bacia Amazônica, do Congo e da região do Sudeste Asiático, a taxa anual de desmatamento foi igual a 5,4 milhões de hectares entre os anos de 2000 a 2010. No Brasil, as taxas anuais de desmatamento seguiram desacelerando até o ano de 2012. Nesse ano, houve queda de 29,0 % em relação à taxa de 2011. Apesar disso, entre os anos de 2012 e 2013, a taxa voltou a crescer em 28,0 % e o que representou uma área desmatada de 584,3 mil hectares nesse período (SFB, 2010, FAO, 2011; INPE, 2013; ITTO, 2011;).

Em termos de estoque de madeira comercial, a floresta tropical úmida da Amazônia possui aproximadamente 4,5 bilhões de metros cúbicos. Entretanto, para a exploração florestal, pouco mais de um bilhão desse estoque é atualmente rentável. O valor potencial de madeira em pé é aproximadamente de US\$ 15 bilhões (MERRY et al., 2009). Frente ao cenário ambiental e econômico atual e à crescente limitação da oferta de madeira, o manejo florestal sustentável vem sendo encorajado em vários países tropicais (FAO, 2011).

No caso do Brasil, a exploração dos recursos oriundos das florestas tropicais é exclusivamente condicionada ao manejo florestal sustentável. Legalmente, o manejo sustentável para a produção de madeira considera um sistema policíclico, com ciclo de corte de 35 anos e intensidade de corte máxima de 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e inclui a proteção do solo e a qualidade da floresta remanescente (BRASIL, 2006). Em termos de fisionomias florestais, a exploração atual no Brasil ocorre principalmente nas Florestas Ombrófilas Densas e Abertas, localizadas em sua maioria na região norte do país (IBGE, 1992; ITTO, 2011; SFB, 2010).

De maneira geral, as atividades inerentes à exploração caracterizam-se por serem mais onerosas e implicarem maior impacto sobre a floresta. Considerando isso, as práticas legais de exploração visam a redução de danos ao solo e ao estoque arbóreo remanescente (HOLMES et al., 2001; PEREIRA JR. et al., 2002; PINTO et al., 2002; FAO, 2004; MACPHERSON et al., 2011; EDWARDS et al., 2012; GUITET et al., 2012). Embora regulamentadas, essas práticas podem não ser suficientes devido à significativa diminuição do volume estimado para os próximos ciclos em relação à floresta primária, à alteração na composição de espécies comerciais e ao alto custo de oportunidade (MACPHERSON et al., 2011).

Apesar do manejo sustentável ser considerado uma atividade econômica que possibilita a manutenção da cobertura florestal natural, ainda persistem grandes lacunas no planejamento da exploração. A própria heterogeneidade das florestas tropicais, caracterizada tanto pelo padrão de distribuição de suas espécies, quanto por suas tipologias florestais, capacidade de suporte do solo, relevos e hidrografia, torna a modelagem do ecossistema extremamente complexa, dificultando ainda mais o planejamento da exploração com operações mais precisas (BRAZ, 2005; FIGUEIREDO, 2007).

Atualmente, no planejamento das etapas inerentes à exploração legal são utilizados métodos sistemáticos para ordenar a produção, desconsiderando a heterogeneidade local da floresta tropical (BRAZ, 2005). Essas práticas acarretam recorrentes alterações do planejamento e da execução em campo, aumentando os custos e o tempo de trabalho. Além disso, os fatores ambientais e os operacionais contribuem para diferenças entre a produção planejada e a executada (FIGUEIREDO, 2007). Do mesmo modo, as práticas de exploração devem progredir tecnicamente no sentido da minimização do dano à floresta, do desperdício de madeira, dos custos da extração e do aumento da produtividade das operações (BOLTZ et al., 2003; FAO, 2004).

O planejamento da exploração de florestas tropicais é favorecido pelo uso de tecnologias que levem em consideração as informações espaciais do local manejado, os recursos disponíveis e as características operacionais das atividades executadas (FIGUEIREDO, 2007; MACHADO, 2008; ANDRADE, 2009). Assim, as técnicas de geoprocessamento tornam-se ferramentas robustas para o planejamento espacial da exploração, principalmente na determinação das obras de infraestrutura na floresta (FIGUEIREDO, 2007). Técnicas matemáticas que busquem a otimização em termos técnicos e econômicos, como a programação linear, a teoria de gráficos e a heurística,

ampliam também a gama de ferramentas que promovem um melhor planejamento (TOMLIN, 1990; WALLIS, 2006; ANDRADE, 2009; CAIXETA-FILHO, 2009).

A exploração é considerada uma das etapas mais importantes do manejo florestal sustentável, exigindo planejamento detalhado para a maximização de retornos. Medidas que reforcem a eficiência operacional e ambiental, visando à rentabilidade econômica da produção madeireira, devem ser tomadas. Considerando, então, o panorama atual e as potencialidades tecnológicas para otimização florestal, essa pesquisa visa contribuir com o manejo florestal sustentável na Amazônia brasileira, com vistas ao aperfeiçoamento das etapas de planejamento e de execução da exploração florestal.

## **1.2. HIPÓTESES**

Neste estudo, duas hipóteses sobre a exploração autorizada na Amazônia Legal foram consideradas. A primeira foi relacionada ao desempenho das operações envolvidas na exploração florestal e a segunda referente aos modelos praticados atualmente no seu planejamento de infraestrutura. As hipóteses foram declaradas como:

- a) O modelo de sistema de exploração florestal planejada interfere no desempenho técnico e nos danos ambientais na floresta amazônica; e
- b) Em função da excessiva quantidade de área de floresta Amazônica planejada para as operações de exploração florestal, os modelos tradicionais adotados são ineficientes no aproveitamento de toda a infraestrutura.

A primeira hipótese foi direcionada aos aspectos operacionais e ergonômicos, aos custos envolvidos, a qualidade das atividades realizadas e aos impactos no solo e na vegetação remanescente quando da execução de dois diferentes sistemas de exploração florestal. A segunda hipótese partiu do princípio de que, os planejamentos atualmente praticados desconsideram a heterogeneidade espacial do ambiente florestal e os fatores envolvidos na exploração, gerando quantidades excessivas de obras de infraestrutura, o que não favorece a sua utilização eficiente. Para tanto, foram desenvolvidos modelos de planejamento espacial da infraestrutura partindo-se das mesmas informações utilizadas nos modelos de planejamento tradicional da exploração florestal.

## **1.3. OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral do trabalho foi desenvolver modelos de planejamento da infraestrutura florestal, combinando informações técnicas da exploração florestal provenientes de dados de campo e métodos computacionais, visando a otimização da

produção comercial de madeira em regime de manejo florestal sustentável na Amazônia Legal Brasileira. Como objetivos específicos citam-se:

- a) Avaliar o desempenho operacional, os custos e a qualidade das operações envolvidas na exploração florestal;
- b) Avaliar ergonomicamente as atividades desenvolvidas pelos trabalhadores empregados na exploração florestal;
- c) Avaliar os danos da exploração florestal aos solos locais e ao dossel da floresta;
- d) Desenvolver modelos de planejamento para a redução da quantidade e maior aproveitamento da infraestrutura da exploração florestal;
- e) Comparar o planejamento da infraestrutura pelos modelos desenvolvidos ao planejamento praticado atualmente pelas empresas florestais; e
- f) Sugerir melhorias na execução e no planejamento da exploração florestal com base nas informações de campo obtidas e métodos computacionais propostos.

#### **1.4. ESCOPO DO DOCUMENTO**

A pesquisa envolveu dois diferentes estágios da exploração florestal: o planejamento das obras de infraestrutura e a execução das operações de retirada de madeira da floresta. Esses dois assuntos foram tratados em diferentes capítulos e as metodologias usadas foram similarmente aplicadas a duas áreas de manejo florestal na Amazônia legal brasileira. O escopo desse documento científico está apresentado da seguinte forma:

- a) Capítulo 1 - **Revisão da literatura** apresenta o embasamento teórico sobre os assuntos de interesse à pesquisa buscando descrever as florestas úmidas e seus potenciais madeireiros, as práticas de exploração atualmente empregadas, os danos causados ao solo e a floresta remanescente, e os aspectos ergonômicos envolvidos.
- b) Capítulo 2 - **Avaliação da execução da exploração florestal na Amazônia** constam os estudos das operações envolvidas na exploração florestal, referentes aos aspectos operacionais e ergonômicos, custos e qualidade (danos e perdas) e consistiu na avaliação da exploração florestal real executada por equipes de campo das empresas, sem intervenção no planejamento e execução das atividades, fornecendo informações reais e que retrataram as condições vividas diariamente no ambiente de trabalho;
- c) Capítulo 3 - **Planejamento espacial da infraestrutura de exploração florestal** foi abordado o desenvolvimento de modelos semiautomáticos espaciais para planejamento da infraestrutura de exploração florestal em diferentes etapas. Em

função de parâmetros técnicos e espaciais, o planejamento executado e o proposto neste trabalho foram comparados descritivamente entre si, e;

- d) Capítulo 4 - **Considerações finais** nesse capítulo estão as principais conclusões do estudo contextualizadas no âmbito da exploração florestal praticada na Amazônia Legal Brasileira.
- e) **Referências bibliográficas** – lista completa das referências consultadas neste documento.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. A FLORESTA TROPICAL ÚMIDA**

A região de clima tropical caracteriza-se pela periodicidade térmica e hídrica e pela luminosidade e, conseqüentemente, pelas suas diversas combinações. As oscilações de temperaturas diárias são maiores que as anuais e em termos de periodicidade hídrica, as precipitações são frequentes, porém o volume varia amplamente nos trópicos. Por fim, a duração do dia e da noite apresenta variações muito pequenas (LAMPRECHT, 1990).

Dentre a faixa climática tropical existem diversas formações de vegetação. As florestas úmidas sempre verdes, também chamadas de florestas tropicais úmidas (equatoriais) se concentram ao longo do equador, aproximadamente entre os 10° de latitude norte e sul (LAMPRECHT, 1990). Essas florestas cobrem apenas 7 % da área total do planeta, mas contém mais de 50 % de todas as espécies vivas existentes no mundo sendo consideradas, biologicamente, como as mais ricas e diversas (FAO, 1999).

No Brasil, as florestas tropicais úmidas são encontradas no bioma Amazônia, que abrange na maioria territorial os estados da região norte do país, ocupando mais de 354 milhões de hectares. Essas florestas são classificadas fisionomicamente como Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta (IBGE, 1992; SFB, 2010).

As características marcantes das florestas tropicais úmidas são a composição botânica extremamente rica e a estrutura regionalmente muito heterogênea. A diversidade de árvores chega a mais de 200 espécies por hectare (TURNER, 2001). Estruturalmente, nessas florestas ocorrem árvores que alcançam de 45 a 55 metros de altura em uma múltipla estrutura vertical (LAMPRECHT, 1990).

As florestas tropicais úmidas se caracterizam por apresentarem em seu sub-bosque, estoque de árvores que morreram na floresta, assegurando, obviamente, o rendimento sustentável natural (LAMPRECHT, 1990). Esta característica das florestas tropicais úmidas é representada graficamente por uma curva decrescente em forma de “J” reverso, relacionando frequência de árvores por classe de diâmetro (FERREIRA; PRANCE, 1998; OLIVEIRA; AMARAL et al., 2008).

É importante destacar que de uma maneira geral, embora as florestas tropicais úmidas apresentem grande quantidade de espécies, a maior parte das árvores ou indivíduos está concentrada em um número pequeno de espécies. Segundo Lamprecht (1990), 40 e 50 % da densidade e dominância das árvores registradas estão concentradas em apenas 10 a 15 % das espécies.

Na floresta tropical úmida, a amplitude de tamanhos de árvores é grande e cada espécie possui suas características de tamanho, em função de sua maturidade. O tamanho das espécies varia com a iluminação recebida ao longo da estrutura vertical da floresta sendo que espécies com altura até 20 m raramente recebem mais de 5 % da iluminação proveniente do dossel da floresta. O maior número de árvores e espécies se encontra no piso inferior e médio, abaixo de 30 m (LAMPRECHT, 1990; TURNER, 2001).

## **2.2. TAXAS DE EXPLORAÇÃO MADEIREIRA NA FLORESTA TROPICAL ÚMIDA**

Com grande variedade de estruturas e composições, as florestas tropicais úmidas possuem alta riqueza de espécies. No entanto, essas florestas apresentam baixas abundâncias para a maioria das espécies, alta heterogeneidade nas dimensões das árvores e pouca quantidade de espécies comercialmente valiosas, o que resulta em baixas produtividades, além dos incrementos anuais serem considerados desprezíveis. Todos esses aspectos limitam o uso dessas florestas para atender as necessidades de um investimento financeiro (LAMPRECHT, 1990).

Em diferentes regiões do mundo ocupadas por florestas tropicais úmidas, o potencial de aproveitamento varia em função das características regionais relacionadas à estrutura da vegetação, diversidade de espécies e viabilidade comercial. Nas florestas africanas apenas poucas espécies apresentam viabilidade econômica de exploração, cujas intensidades de exploração praticadas variam entre 10 e 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Na Ásia, as florestas caracterizam-se pela abundância de árvores com tamanhos similares e grandes, dominadas pela família Dipterocarpacea, possibilitando intensidades de exploração de 70 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. As florestas das Américas possuem maior diversidade de espécies, porém representadas por árvores menores do que nas outras regiões tropicais, resultando em baixas taxas de corte, variando entre 5 e 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (FAO, 1999).

Estudos nas florestas tropicais úmidas na Amazônia brasileira mostraram variadas intensidades de corte que são praticadas, refletindo em diferentes potenciais de exploração. Na Amazônia oriental, numa Floresta Ombrófila Densa Submontana (floresta equatorial úmida de terra firme), a intensidade obtida em exploração sob o regime de manejo sustentável foi de 44,67 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, o que correspondeu a média de 4,33 ind. ha<sup>-1</sup> concentrados em 17 espécies comerciais (FRANCEZ et al., 2007). Na Amazônia ocidental, a exploração autorizada em Floresta Ombrófila Densa teve intensidade de corte de 18 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (PINTO et

al., 2002). Em florestas da região nordeste da Amazônia brasileira, a exploração foi praticada com intensidades de corte de  $38,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (BARRETO et al., 1998).

Atualmente, a intensidade de exploração autorizada no Brasil descreve duas categorias de planos de manejo florestal sustentável (PMFS) para a produção de madeira: o de baixa intensidade e o pleno. O PMFS de Baixa Intensidade é aquele em que a exploração ocorre sem o uso máquinas para o arraste e com intensidade máxima de corte de até  $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (três árvores por hectare). O PMFS Pleno é aquele que prevê a utilização de máquinas para o arraste de toras e a exploração com intensidade de corte de até  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Para as duas categorias, deve-se respeitar o diâmetro mínimo de corte (DMC) de 50 cm e o ciclo de corte entre 25 e 35 anos (BRASIL, 2006).

### 2.3. PRÁTICAS SILVICULTURAIS TROPICAIS

A silvicultura pode ser definida como a ciência de conduzir e reproduzir continuamente as florestas para obtenção de rendimento sustentado. Uma floresta pode crescer e produzir madeira naturalmente sem a intervenção humana, mas a partir da aplicação de técnicas, pesquisa e experimentações, podem ser criados tipos adequados de florestas em menores períodos de tempo (STODDARD; STODDARD, 1987).

Os sistemas silviculturais utilizados para o manejo florestal sustentado nos países com florestas tropicais foram adaptações de modelos clássicos, principalmente europeus, desenvolvidos para florestas temperadas. As primeiras experiências silviculturais nos trópicos foram feitas em países da Ásia em meados do século XIX (HIGUCHI, 1994).

Na Malásia, em florestas pluviais de Dipterocarpaceas localizadas em terras baixas, foi desenvolvido o sistema de conversão em bosque alto equiâneo, o *Malayan Uniform System (MUS)*. Esse sistema concentrou-se no manejo silvicultural da regeneração desejada após a ocorrência do distúrbio (exploração). Adicionalmente, intervenções com o método *Timber Stand Improvement (TSI)* foram aplicadas para a melhoria das árvores selecionadas para a exploração (LAMPRECHT, 1990). No *MUS* aproveitavam-se todas as árvores com  $\text{DAP} > 45 \text{ cm}$ , empregando-se a extração mecanizada e o ciclo de corte corresponde a um tempo de rotação entre 60 e 70 anos (RIETBERGEN, 2000).

Nas florestas tropicais africanas, o *Tropical Shelterwood System (TSS)* foi desenvolvido por florestais ingleses na Nigéria e se baseou no controle da regeneração e crescimento das árvores de interesse. Para isso, os estratos verticais indesejáveis de árvores e lianas foram eliminados por meio de desbastes aos 16 e aos 21 anos. Como restrição, esse sistema apresentou alto custo no início da implantação (LAMPRECHT, 1990).

Em florestas tropicais na região do Caribe, em Trinidad, foi desenvolvido e testado o método *High Shade Shelterwood System (TSS Trinidad)* em uma área de 14.000 ha de florestas naturais. O sistema em Trinidad foi mais vantajoso em relação ao original *TSS* devido aos menores custos e organização. Isso ocorreu devido ao aproveitamento da maioria das árvores da floresta original com a realização de desbaste aos 30 anos e tempo de rotação de 60 anos (LAMPRECHT, 1990).

Em florestas tropicais do Suriname, na América do Sul, foi desenvolvido o sistema CELOS, baseado no melhoramento da floresta em função da estrutura arbórea e da regeneração (LAMPRECHT, 1990). O sistema CELOS consistiu em duas partes independentes: o CELOS *Harvesting System (CHS)* e o CELOS *Silvicultural System (CSS)*. No CHS foram utilizadas técnicas de exploração visando a redução dos danos na vegetação remanescente e no CSS foram aplicados tratamentos silviculturais para a redução da competição entre árvores e concentração da produtividade do ecossistema nas árvores de interesse comercial (GRAAF, 1982; JONKERS; SCHIMIDT, 1984).

No Brasil, as pesquisas referentes aos sistemas silviculturais iniciaram-se no fim dos anos 70. Podem ser citadas as experiências realizadas na FLONA do Tapajós (CPATU-EMBRAPA) em 1978, Curuá-Una (SUDAM/FCAP) em 1990, no Projeto Jari (JATI/CPATU-EMBRAPA) em 1987, pelo Buriticupu e Marabá (CVRD), em Manaus (INPA), em Abafuri (Carolina e Antimari - FUNTAC). Além desses, vale destacar o sistema SEL (Seleção de Espécies Listadas) desenvolvido pelo INPA em 1991 e caracterizado por ser policíclico de uso múltiplo com a integração de princípios dos sistemas *MUS* e *TSS*, utilizando a regeneração natural para ciclos de corte subsequentes (HIGUCHI et al., 1991; HIGUCHI, 1994).

#### **2.4. EXPLORAÇÃO FLORESTAL E SUAS PECULIARIDADES**

A exploração é uma atividade essencial no manejo florestal e envolve as operações desde o corte de árvores até o encaminhamento das toras para os locais intermediários ou finais de recebimento. Quando bem planejada e implantada, podem ser obtidos benefícios em relação aos investimentos aplicados (SESSIONS; HEINRICH, 1993).

Atualmente, nas atividades de exploração em florestas tropicais são utilizados motosserras para o corte de árvores e seccionamento de fuste. Nas operações de movimentação de toras, do local de corte até o pátio de estocagem de madeira, é utilizado o trator florestal arrastador denominado *skidder*, que possui quatro rodas e pode ser equipado com garra (*Rubber-tyred skidder with grapple*), com cabo para guinamento (*Rubber-tyred*

*skidder with winch*) ou pode ser trator de esteira com lâmina e guincho (*Rigid track skidder with integral arch and winch*). Para abertura de estradas, pátios e trilhas de arraste é utilizado um trator de esteira equipado com lâmina (SESSIONS; HEINRICH, 1993).

O corte de árvores e o seccionamento do fuste, arraste, carregamento e transporte até os locais de utilização da madeira são processos que devem ser decididos em função dos planos operacionais. Deveram ser levados em consideração os tipos de equipamentos, produtos florestais, espécies e tamanhos de árvores, topografia e mercado a ser abastecido (STODDARD; STODDARD, 1987).

As operações de exploração mecanizadas utilizam equipamentos pesados e os efeitos negativos são vários, principalmente os causados pela abertura de estradas e trilhas de arraste de madeira que acabam por acarretar a exposição do solo local, a sua compactação e a lixiviação de partículas. Além disso, a queda de árvores pode provocar danos às árvores vizinhas remanescentes e a abertura no dossel da floresta pode causar distúrbios nos estoques da regeneração das espécies arbóreas (JACOBS et al., 1988).

No Brasil, as atividades de manejo florestal iniciaram-se no ano de 1990, quando se verificou um significativo aumento do número de planos de manejo registrados pelo IBAMA (SILVA, 2007). Antes dessa data, o mercado era abastecido por madeira oriunda de desmatamentos realizados para a implantação de projetos agropecuários durante a ocupação da região Amazônica na década de 1970, promovida por incentivos fiscais concedidos pelo governo. Este processo foi impulsionado pela construção da Rodovia Transamazônica que permitiu maior acesso às florestas (BECKER, 2001) e elevou o percentual de área desmatada para cerca de 14 % em 2004 (LENTINI et al., 2005a).

As técnicas aplicadas em áreas de manejo florestal no Brasil e no mundo vêm evoluindo ao longo dos anos. A extração convencional (EC) foi um método utilizado por décadas e ainda praticado em algumas regiões na Amazônia e em outras florestas tropicais (AMARAL et al., 1998). Consiste na retirada predatória da madeira sem planejamento e acompanhamento das atividades, acarretando em sérios danos à cobertura florestal (LÜDKE, 2000).

Para a redução de danos ao ambiente e aumento da eficiência, considerando ainda os aspectos de saúde ocupacional dos trabalhadores envolvidos, faz-se necessário o planejamento prévio da exploração. Devem ser consideradas as características físicas da área em relação às drenagens e aos corpos d'água, à declividade, aos tipos de solos e à estrutura da vegetação (FAO, 1998).

Para a operação de corte das árvores devem ser seguidos os princípios básicos como a retirada prévia de cipós e lianas, marcação e identificação de árvores selecionadas para a derrubada, adoção de medidas de segurança e equipamentos adequados, treinamento de equipes de trabalhadores e aplicação de técnicas para o direcionamento da queda das árvores. Nas operações de extração devem ser levados em consideração a topografia, o solo, o clima e o sistema silvicultural a ser empregado. Os princípios a serem seguidos são o treinamento de pessoal, minimização de danos às árvores remanescentes e ao solo, manutenção de equipamentos e máquinas, e a maximização da produtividade (FAO, 1998).

Tendo em vista a sustentabilidade do manejo florestal, as técnicas de exploração atualmente autorizadas, visam o controle com intensivo planejamento das operações para minimizar impactos ao solo local e a floresta. As atividades preliminares a serem realizadas são o inventário florestal e o mapeamento das árvores selecionadas, o planejamento de estradas, pátios de estocagem de madeira e trilhas de arraste. São executadas técnicas apropriadas de corte e traçamento, guinchamento de toras para as trilhas de arraste, evitando-se danos ao solo e a vegetação remanescente, arraste de toras para os pátios de estocagem de madeira, e avaliação no ambiente florestal das práticas empregadas após as atividades de exploração (FAO, 2004).

Um dos sistemas de organização da exploração mais difundidos na Amazônia brasileira consiste na demarcação de unidades de trabalho de 100 ha (1000 m x 1000 m). Dentro desses compartimentos são construídas duas estradas secundárias distantes de 500 m entre si, permitindo uma distância máxima de arraste de 250 m, em função da localização dos pátios de estocagem. As trilhas de arraste principais e secundárias são previamente demarcadas de forma a distribuir o dano na floresta. Experiências diversas tem demonstrado que este processo tem apresentado alto desperdício de madeira e o dano à vegetação remanescente é extremamente alto (HOLMES et al., 2006; ROTTA et al. 2006).

No Brasil, em estudo conduzido em Floresta Ombrófila Densa na FLONA do Tapajós foi realizada a exploração florestal com base em técnicas autorizadas, sendo a intensidade de corte  $23,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Foi observado que dois anos após a exploração, houve elevada diversidade florística no componente arbóreo, indicando uma manutenção do número de espécies. Entretanto, uma concentração de grande quantidade de indivíduos e espécies em número reduzido de famílias botânicas foi observada, bem como, número elevado de espécies raras. O padrão de distribuição diamétrica sugeriu sustentabilidade da produção volumétrica na unidade de manejo (GONÇALVES; SANTOS, 2008).

Um sistema de exploração florestal que merece destaque é o CELOS. Desenvolvido em florestas tropicais úmidas do Suriname, este sistema é baseado em ramais de arraste permanentes, distribuídos equidistantes de 100 a 150 m, ao longo de estradas florestais. Nesse sistema é realizada a operação de corte com queda direcional e a extração baseia-se no pré-arraste e arraste de toras. Na operação de pré-arraste é realizado o guinchamento das toras do local de derrubada até às margens da trilha de arraste, deixando as toras posicionadas em ângulo de 35°, a favor da direção do fluxo de carga da próxima operação, o arraste. No pré-arraste são utilizados tratores com esteira (*Bulldozer* ou *Track-skidder*) equipados com guincho e no arraste tratores *Skidders* equipados com garra ou cabo (JONKERS; SCHIMIDT, 1984; LAMPRECHT, 1990; JONKERS; HENDRISON, 2011).

Entretanto, mesmo que as operações de exploração florestal sejam realizadas adequadamente, a produção sustentável de madeira e a manutenção dos serviços ambientais da floresta podem não ser garantidos (BOLTZ et al., 2003). Diversos autores têm reportado que a exploração seletiva de madeira, mesmo adotando-se boas práticas, é capaz de alterar significativamente o microclima, a disponibilidade de luz, a estrutura da floresta, o recrutamento e a sobrevivência, sobretudo das espécies comerciais, e intensificar processos erosivos e de compactação do solo, aumentar a suscetibilidade da floresta ao fogo e afetar diretamente a fauna (ASNER et al., 2002; PINTO et al., 2002; MELLO-IVO; ROSS, 2006; MONTEIRO et al., 2004; SCHULZE e ZWEEDE, 2006).

O planejamento da extração é fator essencial para que as operações de corte e arraste sejam executadas com economicidade, causando o menor impacto possível no ambiente. Com relação a esse planejamento, Johns et al. (1996) mencionaram que, quando negligenciado, ocorre o aumento da quantidade de árvores danificadas, da severidade do dano causado, da área de solo compactado e exposto, e da distância média de arraste. Além disso, os custos totais da operação, o desgaste do maquinário e o desperdício de madeira também aumentam (PEREIRA JR et al., 2002).

O planejamento deve considerar variáveis que têm influência direta no *layout* final das trilhas de arraste, tais como a densidade de árvores comerciais e remanescentes nas unidades de trabalho, as condições topográficas do terreno, a capacidade de suporte do solo, a hidrografia, o volume por árvore e a orientação da queda (BRAZ; OLIVEIRA, 1997). Outros fatores também merecem atenção por influenciar diretamente na produtividade e nos custos da operação, como a capacidade de carga e potência do maquinário, a resistência de rampa e a resistência ao rolamento (BRAZ et al., 1998).

Diversos critérios técnicos e econômicos são frequentemente listados na literatura como pontos-chave onde o planejador pode intervir para a definição da melhor estratégia para a extração florestal, como por exemplo, o volume da tora arrastada e a distância de arraste, que são os fatores que mais influenciaram no tempo de ciclo do maquinário. São enfatizados, também, que o aumento da carga média e a redução do tempo de engate e das distâncias de arraste são medidas eficazes para a redução do tempo gasto nesta operação e a consequente diminuição dos custos (BRAZ et al., 1998).

Ainda sobre a extração de toras, atenção deve ser dada à necessidade de focar na redução da quantidade de trilhas de arraste desnecessárias, visando diminuir impactos. Em alguns casos, ainda, o planejador deve considerar o uso de um menor número de *skidders*, porém de forma mais intensiva, monitorando a importância econômica desta opção (JACKSON et al., 2002). O maquinário adequado utilizado na extração e a aplicação de técnicas de queda direcional durante o corte favorecem a extração de toras e podem gerar um aumento de até 15 % na eficiência operacional (BARRETO et al., 1998).

Diversos são os impactos econômicos e ambientais associados à exploração madeireira. A aplicação das técnicas legalmente determinadas provoca elevação nos custos pré-exploratórios, pois requerem investimentos para a realização do inventário, corte de cipós, planejamento e construção das obras de infraestrutura. Em comparação à exploração convencional, os custos da exploração autorizada são 2 a 18 % maiores. Porém, estes custos são variáveis entre as diversas regiões manejadas (BOLTZ et al., 2003).

Apesar disso, ganhos em produtividade e reduções no desperdício de madeira nas operações de corte e arraste superam os maiores investimentos para adoção das práticas autorizadas. O mapeamento, o corte de cipós, o planejamento do arraste e a aplicação de técnicas de queda direcional foram responsáveis por 90 % do custo total da exploração. Este investimento proporcionou a redução de 37 % no tempo da máquina e aumento de 27 % na produtividade da operação, além de um benefício financeiro de US\$ 3,7 m<sup>-3</sup>, duas vezes maior que o custo do planejamento (BARRETO et al., 1998).

Os impactos ambientais decorrentes da extração envolvem perda de cobertura vegetal, compactação e remoção do solo, intensificação de processos erosivos, alteração do microclima, aumento do risco de incêndios, alterações no ciclo hidrológico e afetam diretamente a fauna local (SCHULZE; ZWEEDE, 2006). Os danos à vegetação decorrentes da atividade exploratória relacionam-se com a intensidade de exploração (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), com o tamanho, a distribuição e a quantidade de pátios, estradas e trilhas de arraste, com as técnicas empregadas na derrubada das árvores, com o maquinário utilizado na construção de estradas

e no arraste das toras, com as dimensões dos indivíduos derrubados e a densidade da floresta (GULLISON; HARDNER, 1993; ASNER et al., 2002; FELDPAUSCH et al., 2005).

Vários estudos têm demonstrado que a extração é a maior causa da mortalidade de árvores. Esta operação provocou um impacto na vegetação remanescente de no mínimo 30 % (LOZADA; ARENDS, 2000). Altas taxas de mortalidade de indivíduos remanescentes ( $DAP \geq 35$  cm), também foram encontradas (SCHULZE; ZWEEDE, 2006).

Outro impacto ambiental causado pela exploração foi atribuído à quantidade de solo exposto pela implantação da infraestrutura. Diversos estudos mostram que a área impactada pela infraestrutura varia entre regiões e entre sistemas de exploração realizados. No noroeste do Mato Grosso a área afetada por trilhas de arraste foi de 4 % em relação a área total manejada (FELDPAUSCH et al., 2005). No nordeste do Pará, foram impactados 8 % da área total manejada (PEREIRA JR et al., 2002). Valores considerados extremamente altos foram obtidos em áreas manejadas na Bolívia, onde 25 % da área foi danificada por estradas, trilhas de arraste e pátios (JACKSON et al., 2002).

Além dos impactos negativos, a exploração seletiva de madeira tem gerado um processo de degradação na floresta. Estudos apontaram para aumento da vulnerabilidade aos incêndios florestais em áreas exploradas, principalmente se ocorrerem períodos de seca severos. Mantendo os níveis observados de empobrecimento da floresta pela degradação, seria necessário restringir ou substituir as técnicas de exploração tendo em vista a minimização do impacto, além de implementar estratégias mais eficientes para prevenir incêndios florestais (MATRICARDI et al, 2010; NEPSTAD et al., 1999).

## **2.5. ERGONOMIA E SEGURANÇA DO TRABALHO FLORESTAL**

A ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem. O trabalho abrange a execução de máquinas e equipamentos e toda a situação em que ocorre o relacionamento entre o homem e uma atividade produtiva, envolvendo o ambiente físico e os aspectos organizacionais. A ergonomia inicia-se estudando as características do trabalhador para projetar o trabalho que ele consegue executar, preservando a sua saúde (IIDA, 2005).

Diferentes domínios da ergonomia são abordados em função de certas características específicas do sistema. A ergonomia física ocupa-se das características da anatomia humana relacionada com a atividade física. A cognitiva ocupa-se dos processos mentais relacionados com as interações entre as pessoas e outros elementos do sistema. A organizacional ocupa-se da otimização dos sistemas sócio técnicos, abrangendo estruturas organizacionais, políticas e processos. Assim, a ergonomia estuda os diversos fatores que influem no

desempenho do sistema produtivo e procura reduzir as consequências nocivas sobre o trabalhador durante o seu relacionamento com esse sistema (IIDA, 2005).

No contexto florestal, o trabalho é uma das mais extenuantes e perigosas ocupações, expondo frequentemente os trabalhadores a condições que oferecem riscos à saúde e segurança. Desse modo, os requerimentos e princípios ergonômicos devem entrar no planejamento, organização e supervisão do trabalho florestal e guiar o desenho-de-produto, a compra e a manutenção dos equipamentos, ferramentas e infraestrutura. Adicionalmente, o ambiente de trabalho florestal é um local remoto e, por isso, o treinamento aos trabalhadores sobre primeiros socorros e segurança deve ser intensamente difundido por profissionais qualificados (SESSIONS, 2007b).

As condições de vida e de trabalho para os trabalhadores florestais são geralmente pobres na maior parte do mundo e, frequentemente, a eficiência de trabalho é baixa também. Trabalho fisicamente pesado, inadequados métodos e técnicas trabalhistas, ferramentas e equipamentos que causam não só acidentes ocupacionais, doenças e fadiga, mas também, baixa produtividades das atividades (FAO, 1992).

Em um ambiente florestal, os trabalhadores frequentemente utilizam equipamentos e máquinas os quais produzem ruídos, vibração e exaustão de gases. Fisicamente, as atividades são consideradas pesadas, influenciando no desgaste, na frequência cardíaca e nas taxas calóricas necessárias e despendidas pelos trabalhadores. Principalmente em florestas encontradas nos trópicos, os trabalhadores estão expostos, ainda, aos riscos eminentes de acidentes, fatores térmicos críticos e a doenças tropicais (SESSIONS, 2007a).

Dentre os países que detém registros de acidentes, os trabalhos florestais aparecem como um dos primeiros em termos de periculosidade, com altos índices de acidentes e doenças ocupacionais. Portanto, a melhoria da segurança, da saúde e da eficiência é condição fundamental para a prosperidade das iniciativas florestais e a avaliação ergonômica torna-se uma ferramenta muito importante para isso (FAO, 1992).

Tendo em vista a relevância do trabalho florestal na qualidade de vida dos trabalhadores e na eficiência das atividades, esforços têm sido realizados com a publicação de códigos de práticas dentro do manejo florestal sustentável, principalmente relacionados às operações envolvidas na exploração. Os princípios inseridos consideram a força do trabalho como parte da gestão e que os trabalhadores devem estar seguros e saudáveis, realizar seus trabalhos competentemente como o almejado e motivados para fazê-los de forma apropriada e eficiente, para atender aos objetivos do manejo florestal (FAO, 1996).

Os códigos de práticas do trabalho visam à proteção e saúde ocupacional do trabalhador e devem ser pautados nas políticas e procedimentos de saúde ocupacional, independentemente da escala e nível de organização de empresas e trabalhadores. Além disso, devem ser baseados no estabelecimento de uma estrutura de comunicação e cooperação de segurança entre os envolvidos, nos requerimentos mínimos de desenvolvimento das operações florestais, no sistema de registro, relato e monitoramento dos riscos, doenças e acidentes e em uma estrutura de alocação de responsabilidades para assegurar a saúde e a segurança ocupacional (ILO, 1998).

Na prática, as medidas a serem adotadas para a melhoria do trabalho devem ser provenientes da coleta de dados sobre a exposição ao risco à saúde. Estes dados revelam a real situação ocupacional. Em termos técnicos, aplicar os conhecimentos de ergonomia para analisar, diagnosticar e corrigir uma situação real denomina-se análise ergonômica do trabalho – AET (IIDA, 2005).

Os fatores que podem ser aplicados para análise ergonômica do trabalho florestal dependem da coleta de dados e de métodos tecnicamente conhecidos. Uma série de normalizações deve ser seguida para a correta obtenção dos dados qualitativos e quantitativos de tais fatores. No trabalho florestal, a carga de trabalho, a avaliação postural, os níveis de ruídos, a vibração e as condições térmicas deveram ser conhecidos para aplicação da análise ergonômica e parametrizados em função da legislação vigente, como o caso da Norma Regulamentadora (NR-15), que estabelece o enquadramento de trabalhos insalubres (BRASIL, 1996; FUNDACENTRO, 2001; 2002; IIDA, 2005; BRASIL, 2006).

### **3. AVALIAÇÃO DA EXPLORAÇÃO FLORESTAL LEGAL EM DUAS ÁREAS DE MANEJO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

#### **3.1. INTRODUÇÃO**

A exploração florestal é a etapa do manejo florestal onde são iniciadas as ações necessárias para obtenção e movimentação logística da produção de madeira de uma floresta. Nesta etapa, o planejamento operacional é colocado em prática, determinando a área efetiva de exploração, delimitando os compartimentos, implantando as infraestruturas e instalações, e realizando as operações de exploração na floresta, que envolvem o corte e a extração. A exploração é considerada a parte executiva do plano de manejo florestal.

Vários fatores combinados podem interferir no sucesso da exploração florestal, tais como, as condições climáticas, o solo e a topografia local, a localização da área a ser explorada, o treinamento das equipes de campo, as máquinas e os equipamentos utilizados, além das doenças tropicais que podem infectar os trabalhadores no campo. Um planejamento mal elaborado da exploração pode acarretar vários problemas entre esses, encontram-se a degradação ambiental, desperdícios e injúrias aos trabalhadores. Os danos provocados pela exploração podem comprometer ainda o regime de manejo. Portanto, os tratamentos na floresta e no estoque futuro devem ser considerados (SESSIONS, 2007a).

O maior aproveitamento da madeira na exploração depende das atividades e operações realizadas, necessitando do emprego de boas práticas de execução. O corte de cipós e lianas na fase pré-exploratória, as técnicas de corte direcional e traçamento, o planejamento da abertura de trilhas de arraste, a organização de trabalhos com máquinas nas trilhas, evitando a compactação de solo fora dessa, e o treinamento nas atividades e na segurança no trabalho são alguns exemplos destas práticas (FAO, 1996; FAO, 1999a).

Considerando as operações para exploração, o corte proporciona diversos impactos na floresta, altera a cobertura do dossel e aumenta a luminosidade e, pode causar danos às árvores próximas às selecionadas para o corte e à regeneração. Quando executado de maneira incorreta, pode comprometer o aproveitamento da madeira e colocar em risco a segurança dos trabalhadores (NOGUEIRA et al., 2011).

A operação de arraste envolve o deslocamento das toras dos locais de corte até os pátios de estocagem, empregando geralmente, tratores florestais. Os maiores danos desta operação estão relacionados à abertura da floresta, exposição do solo para implantação de trilhas de arraste, compactação do solo e danos na floresta remanescente. Melhores práticas

necessitam de planejamento prévio sobre arraste nas trilhas, buscando caminhos mais curtos e de menor impacto dentro da floresta. Deve ser evitado o arraste de toras e as manobras das máquinas fora das trilhas e, por isso, técnicas de guinchamento das toras podem auxiliar parte desta operação (AMARAL et al., 1998; FAO, 1999a).

Outro fator importante na exploração são os custos envolvidos. Os primeiros custos ocorrem na realização do mapeamento das áreas a serem exploradas, no inventário florestal e no planejamento de trilhas de arraste em campo. Para o início das operações de exploração são demandados custos para a implantação da infraestrutura de estradas, trilhas e pátios de estocagem e adicionalmente, um dos mais importantes itens refere-se aos custos envolvidos com o trabalho, máquinas e equipamentos (SESSIONS, 2007a). Durante a exploração a alta eficiência das operações é desejável, tendo-se em vista que o custo para a sua execução pode dobrar em relação ao custo do planejamento (BARRETO et al., 1998).

Grande parte da variação de eficiência das operações entre duas diferentes empresas florestais, encontra-se na organização, treinamento e supervisão da força de trabalho. A exploração de madeira nos trópicos é altamente dependente da habilidade, capacidade e motivação dos trabalhadores. Enquanto algumas atividades são primariamente manuais, outras são desempenhadas com máquinas e equipamentos, sendo os trabalhos florestais altamente perigosos e desgastantes, requerendo cuidados específicos. Saúde e segurança dos trabalhadores são extremamente importantes para a eficiência das operações (SESSIONS, 2007a).

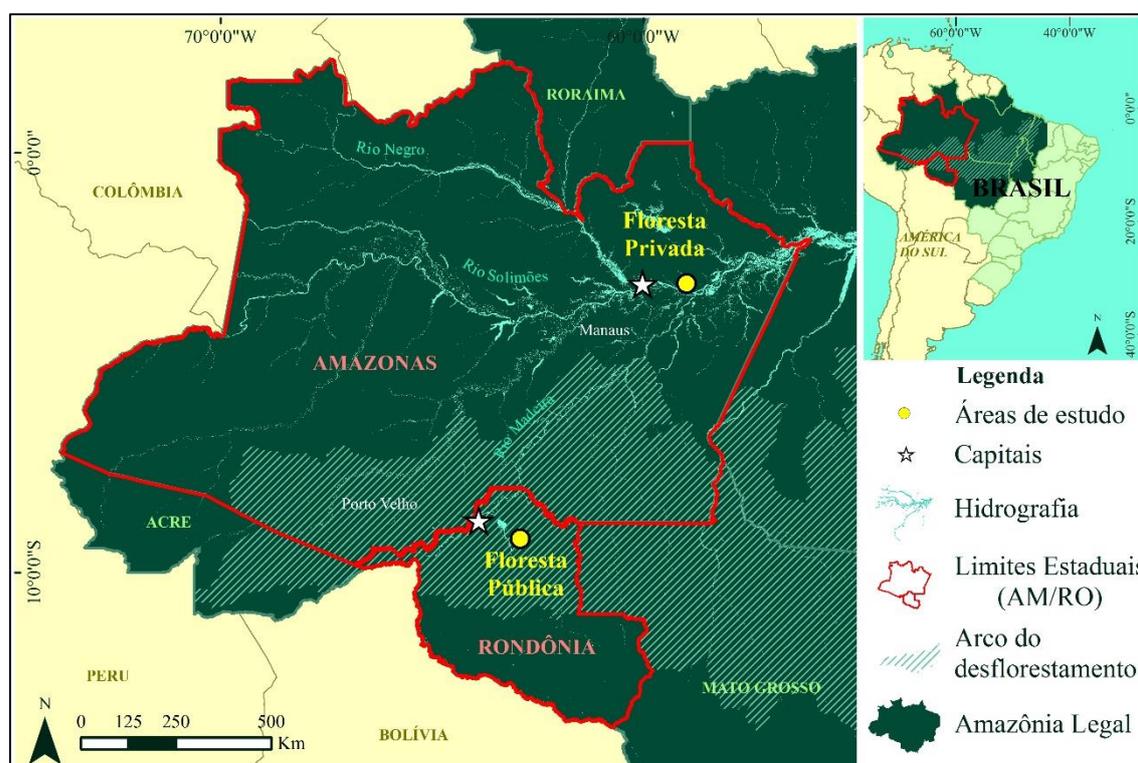
Portanto, para um melhor planejamento e execução da exploração, devem ser conhecidos os diversos fatores envolvidos no processo. Assim sendo, o objetivo deste capítulo foi avaliar dois sistemas de operações de exploração florestal autorizada, considerando os aspectos operacionais e ergonômicos, os custos envolvidos e a qualidade das técnicas empregadas, visando gerar informações para minimizar os danos na área da floresta remanescente e propor melhorias das atividades de exploração.

## 3.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1. Área de estudo

Na região geopolítica da Amazônia Legal, duas áreas submetidas à exploração legal de madeira foram selecionadas para as coletas de dados em campo, uma floresta privada no Estado do Amazonas-AM e outra de domínio público no Estado de Rondônia-RO. Essas áreas foram selecionadas por empregarem diferentes sistemas de exploração florestal.

No Estado do Amazonas, a área florestal pertencia à empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda., empresa do grupo *Precious Woods*. Em Rondônia, a área escolhida foi a Floresta Nacional do Jamari (FLONA do Jamari), que é uma Unidade de Conservação de uso sustentável e destinada à concessão de exploração de florestas públicas (Figura 3.1).



Fonte: <http://siscom.ibama.gov.br/shapes>, acesso em 01/06/2012; Sistema de coordenadas geográficas; Datum SAD/1969

**Figura 3.1.** Localização das áreas de estudo nos estados do Amazonas e Rondônia e a Amazônia Legal.

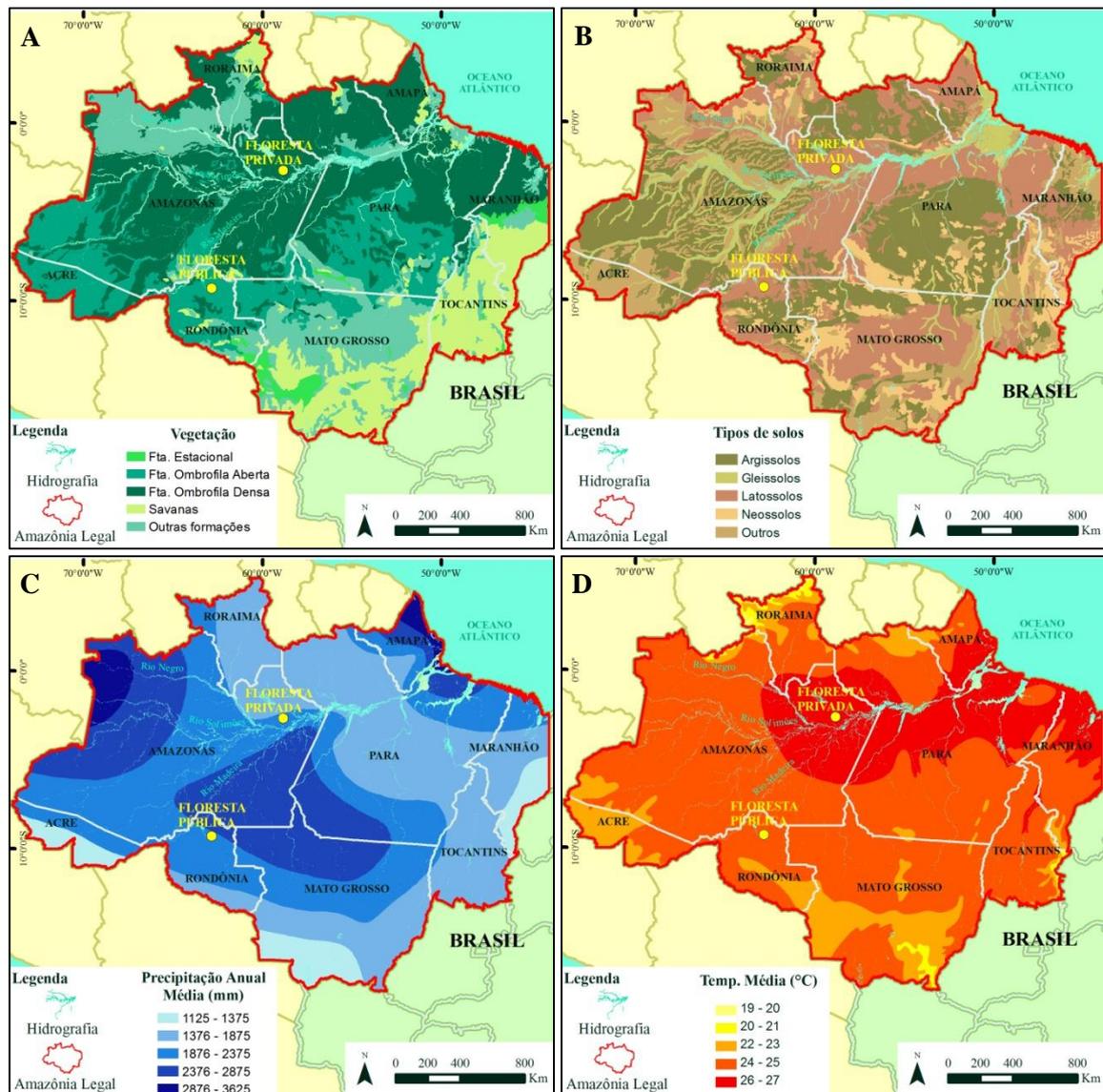
### 3.2.2. Floresta Amazônica Brasileira

A criação da área geopolítica da Amazônia Legal foi estabelecida pela Lei nº 1.806, de 16 de janeiro de 1953. Posteriormente, com a Lei nº 5.173, de 27 de outubro de 1966 e a Lei Complementar nº 31, de 11 de outubro de 1977, foi estabelecida a expansão da Amazônia Legal para fins de planejamento regional. A Amazônia Legal ocupa cerca de 5 milhões de Km<sup>2</sup> e que além de cobrir o bioma Amazônico, inclui áreas do bioma Cerrado e do

Pantanal, abrangendo em sua totalidade os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins e, parcialmente, o Estado do Maranhão a oeste do meridiano de 44° (BRASIL, 2012).

Dentro da região da Amazônia Legal, está o arco do desflorestamento, que se estende do Estado do Acre até o Estado do Maranhão (Figura 3.1). Essa área é caracterizada pela intensa perda de vegetação nativa causada pelo avanço das fronteiras agropecuárias e pela exploração ilegal de madeira. Entre 1988 e 2013, a taxa acumulada de desmatamento anual na Amazônia Legal foi superior a 402.000 km<sup>2</sup>, concentrada em sua maioria no arco do desflorestamento (INPE, 2013).

As vegetações mais características presentes na Amazônia Legal são as Florestas Ombrófilas Densa e Aberta (florestas pluviais tropicais). Além disso, são encontradas tipologias de vegetação típicas de savana, campinaranas, formações pioneiras, entre outras (Figura 3.2). O bioma Amazônia abriga vasta quantidade de estoques de madeiras comerciais, explorados principalmente nas Florestas Ombrófilas (IBGE, 2004; SFB, 2010).



Base de dados: <http://siscom.ibama.gov.br/shapes>, acesso em 01/06/2012; <http://www.cnps.embrapa.gov.br>, acesso em 01/06/2012. Sistema de coordenadas geográficas; Datum SAD/1969

**Figura 3.2.** Características ambientais da região da Amazônia Legal: A) Vegetação; B) Solo; C) Precipitação média anual; D) Temperatura média anual.

A Floresta Ombrófila Densa caracteriza-se pela ocorrência de fanerófitos, lianas e epífitas em abundância. A estrutura vertical é caracterizada por macro e mesofanerófitos, com classes de alturas variando de 20 a 30 m e de 30 a 50 m, respectivamente. Com característica ombrotérmica, sua ocorrência é condicionada a temperaturas elevadas (médias de 25°C) e a altas precipitações, essas bem distribuídas durante o ano, determinando uma situação bioecológica sem período biologicamente seco (IBGE, 1992).

As florestas ombrófilas densas apresentam cinco faciações segundo a hierarquia topográfica, que refletem fisionomias diferentes de acordo com as variações ecotípicas das faixas altimétricas (IBGE, 1992): Floresta Ombrófila Densa Aluvial - não varia

topograficamente, ocupa regiões ao longo de corpos d'água, é constituída por maso (alto porte), meso e microfanerófitos de rápido crescimento e apresenta dossel emergente;

Floresta Ombrófila de Terras Baixas ocupa planícies costeiras além de faixas altimétricas entre 5 a 100 m; (c) Floresta Ombrófila Densa Submontana - situada nas encostas dos planaltos variando de 30 a 600 m de altitude e caracteriza-se por indivíduos de alto porte (30 a 50 m de altura); (d) Floresta Ombrófila Densa Montana - situada no alto dos planaltos e serras entre 500 e 2000 m de altitude, apresenta distribuição nas regiões sul e norte do Brasil, com presença de indivíduos mesofanerófitos (até 30 m) e estrutura de dossel uniforme (20 m); e (e) Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana - formação arbórea mesofanerófito de aproximadamente 20 m que ocupa cume de serras, acima dos limites estabelecidos para formação Montana.

A Floresta Ombrófila Aberta é considerada um tipo de transição da Floresta Ombrófila Densa que circunda a porção sul da bacia amazônica. Sua característica ombrotérmica apresenta gradientes climáticos com mais de 60 dias secos. Apresenta quatro faciações que alteram a fisionomia ecológica da Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 1992): (a) Floresta de Palmeiras - revestimentos florestais com palmeiras, ocorrendo a presença de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) e inajá (*Maximilliana regia* Mart.); (b) Floresta de Bambu - ocorre na parte ocidental da Amazônia com a presença de taquara (*Guadua superba* Huber); (c) Floresta de Sororoca - revestimentos florestais em depressões com ocorrência de indivíduos de sororoca (*Phenakospermum Guyannense* Rich.), constituindo grandes agrupamentos em todas as regiões da Amazônia; e (d) Floresta com cipó - ocorre em depressões rasas de terrenos pré-cambrianos, comuns no Pará, são densamente povoadas por lianas lenhosas que envolvem poucos macrofanerófitos de alto porte;

Levando em consideração as variações de latitude e longitude, a Floresta Ombrófila Aberta pode ser dividida em três tipos de vegetação (IBGE, 1992): (a) Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas - ocorre entre as latitudes 4° norte a 16° sul e em altitudes variando de 5 a 100 m, apresentam a faciação com palmeira, principalmente babaçu, estendendo-se do Estado do Piauí, Maranhão até o Pará; (b) Floresta Ombrófila Aberta Submontana - ocorre entre as latitudes norte 4° a sul 16° e em altitudes variando de 100 a 600 m, apresentando as quatro faciações na região Amazônica; e (c) Floresta Ombrófila Aberta Montana: ocorre entre 4° de latitude norte e 16ª de latitude sul e altimetrias de 600 a 2000 m e apresenta faciações de palmeira e principalmente de cipó.

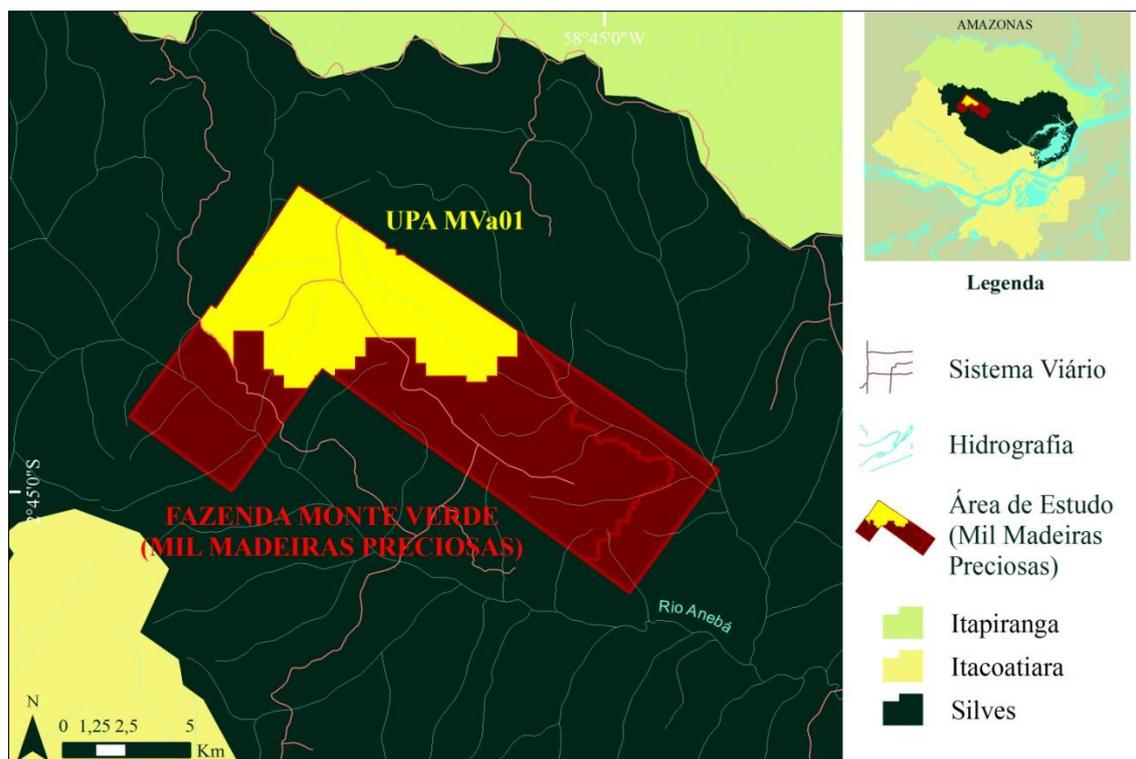
Em relação aos tipos de solos encontrados na Amazônia Legal, as proporções mais expressivas são os argissolos, seguidos dos latossolos e neossolos (Figura 3.2). Os

argilossolos são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B. Os latossolos caracterizam-se por solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresentar mais que 150 cm de espessura. Os neossolos são solos pouco evoluídos constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2009). A Amazônia Legal está inserida quase em sua totalidade no clima Equatorial Úmido e Super Úmido. As precipitações variam em média de 1125 a 3025 mm por ano e as temperaturas médias anuais variam de 19 a 27 °C. As maiores temperaturas estão distribuídas ao longo da calha do rio Amazonas (IBGE, 2002) (Figura 3.2). Segundo a classificação de Köppen, o clima é o equatorial úmido (Af/Am).

### **3.2.3. Caracterização das áreas de manejo florestal**

No Estado do Amazonas, a empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda. é proprietária de todas as suas áreas de manejo florestal, distribuídas entre Municípios de Itacoatiara, Silves e Itapiranga. A sede da empresa localiza-se no Município de Itacoatiara, mesmo local de sua serraria, onde ocorre o desdobro e produção de peças de madeira para a comercialização nacional e internacional.

A área selecionada para a coleta de dados em campo foi a unidade de manejo florestal (UMF) denominada Fazenda Monte Verde (MV), coordenadas centrais 02°40'36" S e 58°50'34" W, Município de Silves, distante, aproximadamente, 70 km da sede da empresa (serraria) e 250 km da capital estadual Manaus. Os estudos foram conduzidos em um bloco de exploração, com área de 1.222,07 ha, na unidade de produção anual denominada UPA MV01a (Figura 3.3), que ocupava uma área total de 5.020,98 ha.



Base de dados: <http://siscom.ibama.gov.br/shapes>, acesso em 01/06/2012; Sistema de coordenadas geográficas; Datum SAD/1969

**Figura 3.3.** Localização da UPA MV01a no Município de Silves, Amazonas.

A tipologia da vegetação analisada caracterizou-se por Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, com presença de solo local classificado como LAd3 (Latosolo Amarelo Distrófico mais Argissolo Amarelo Distrófico), com estrutura em blocos, fraca ou moderada e/ou cerosidade pouca e moderada, ambos abaixo do horizonte B latossólico (minerais constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização) e dentro de 200 cm da superfície do solo. As altitudes variam de 20 a 60 m, aproximadamente e o clima é do tipo Equatorial Úmido, com média de temperatura anual de 27 °C, apresentando um a dois meses secos, com precipitação variando de 2.000 a 2.250 mm por ano (EMBRAPA, 2009; IBGE, 2002).

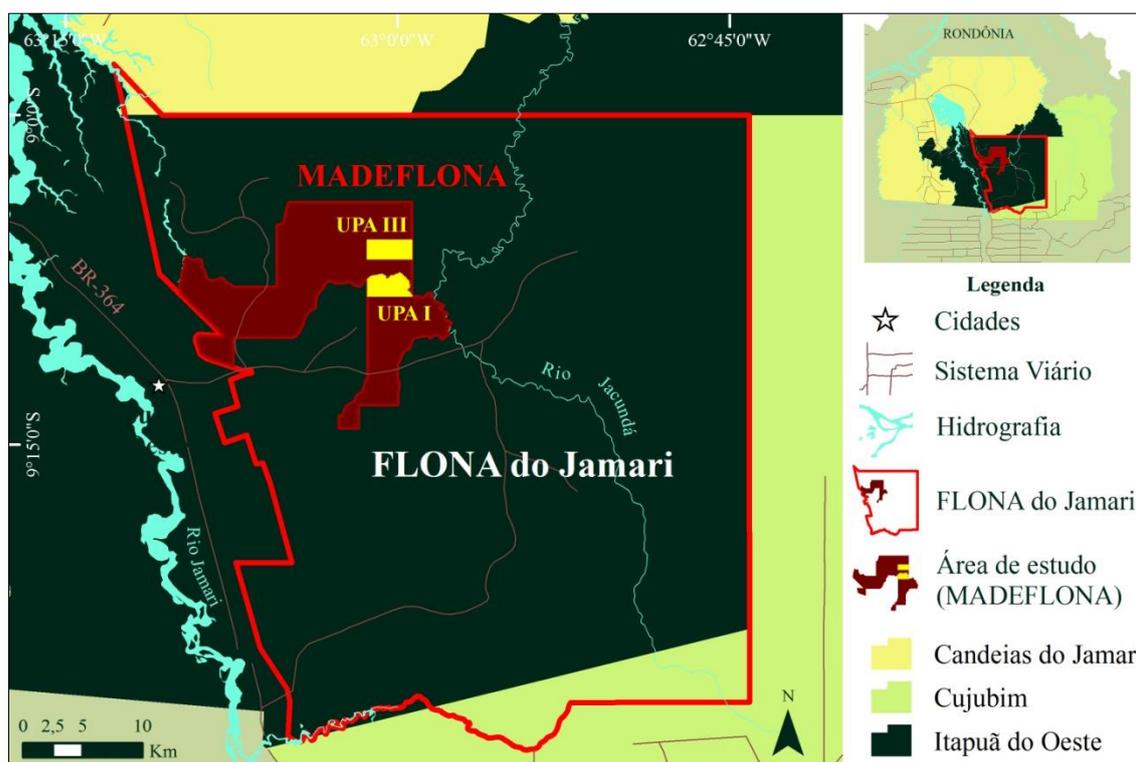
A exploração de madeira na UPA MV01a objetivou atender demandas próprias para desdobro na serraria da empresa ou comercialização sem desdobro de toras para postes. Para a execução da exploração, a UPA foi dividida em blocos com área aproximada de 1600 ha e cada bloco foi subdividido em unidades de trabalho (UT) de 100 ha. Contidas nas UTs, unidades de campo de 10 ha (250 x 400 m) foram delimitadas. O diâmetro mínimo de corte (DMC) considerado foi de 50 cm, conforme a legislação vigente. Exceção ocorreu para as seguintes espécies destinadas à comercialização como poste: (a) abiurana-ferro (*Chrysophyllum prieurii*); (b) matamatá-preto (*Eschweilera coriacea*); e (c) acariquara

(*Minquartia guianensis*). Para essas espécies o DMC utilizado foi de 30 cm, aprovado legalmente por questões técnicas e ecológicas.

A partir do inventário florestal 100 % (censo) realizado na UPA, foram registradas 78 espécies de interesse para o manejo florestal e destas, 47 foram selecionadas para o corte em função do mercado consumidor. A intensidade de corte adotada pela empresa no plano de manejo florestal aprovado foi de  $29,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , o que equivaleu a  $5,41 \text{ árvores ha}^{-1}$ . Na área de estudo a intensidade planejada de exploração foi de  $25,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

No Estado de Rondônia, a FLONA do Jamari foi criada pelo Decreto Lei nº 90.224, de 25 de setembro de 1984. A área total da FLONA é de 225.799,74 ha, abrangendo parte dos Municípios de Candeias do Jamari, Itapuã do Oeste e Cujubim. Foram concedidas três unidades de manejo florestal sustentável.

Utilizaram-se os dados da unidade de manejo florestal concedida à empresa MADEFLONA (UMF I), que está localizada no Município de Itapuã do Oeste a 100 km de Porto Velho, nas coordenadas centrais  $6^{\circ}13'21'' \text{ S}$  e  $62^{\circ}56'49 \text{ W}$ . Os dados foram coletados na UPA I, explorada em 2010 e, na UPA III, explorada em 2012 (Figura 3.4).



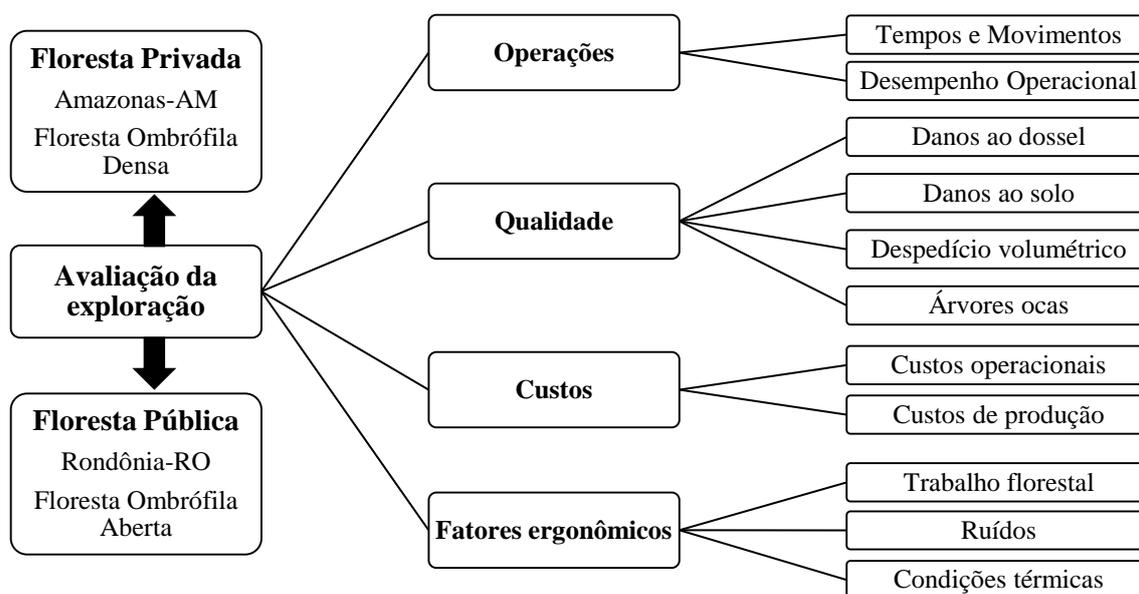
**Figura 3.4.** Localização da FLONA do Jamari localizada nos Municípios de Itapuã do Oeste, Candeias do Jamari e Cujubim, no Estado de Rondônia.

A tipologia da vegetação encontrada nas áreas da FLONA do Jamari caracteriza-se por Floresta Ombrófila Aberta Submontana, com predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) bem drenado e argiloso. As altitudes variam, aproximadamente, de 60 a 240 metros e o clima é o Equatorial Úmido, com média anual de temperatura maior que 25 °C, apresentando três meses secos, e precipitação média superior a 2.250 mm (EMBRAPA, 2009; IBGE, 2002).

A empresa MADEFLONA explora suas áreas para atender demanda própria para a sua serraria visando a comercialização de produtos e subprodutos de madeira. A UPA I possuía área total de 595,82 ha e foi subdividida em unidades de trabalho (UT) com área média de 100 ha, geralmente orientadas no sentido norte/sul. De acordo com o inventário florestal 100 % realizado na UPA I, foram selecionadas 38 espécies para a exploração florestal, dentre as 139 registradas na área. A intensidade de corte definida para a área foi de 25,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, conforme definição do Serviço Florestal Brasileiro.

A UPA III possuía área total de 583,00 ha e o mesmo planejamento de UT foi aplicado. A intensidade de exploração prevista foi de 25,7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, composta por 56 espécies potenciais para a exploração florestal. O diâmetro mínimo de corte estabelecido para todas as espécies foi de 50 cm.

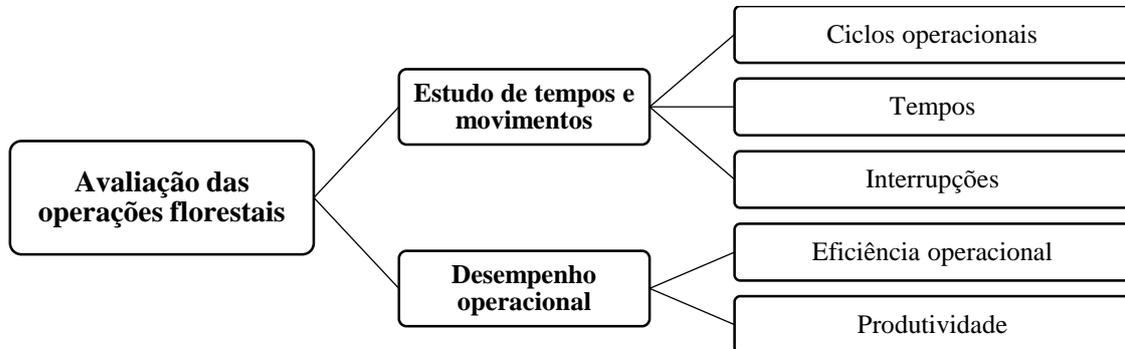
Esse estudo contemplou a avaliação dos aspectos operacional, da qualidade, dos custos e dos fatores ergonômicos envolvidos nas atividades de exploração de florestas em regime de manejo florestal sustentável. Os itens avaliados em cada aspecto estão presentes nas Figura 3.5. Por indisponibilidade de dados, a avaliação dos custos foi realizada apenas para a floresta privada.



**Figura 3.5.** Aspectos avaliados na exploração das florestas privada e pública.

### 3.2.4. Avaliação técnica das operações de exploração florestal

Esta avaliação contemplou estudos de tempos e movimentos, bem como a determinação do desempenho para as operações de exploração florestal. Na Figura 3.6 é apresentado um organograma dos estudos e determinações realizadas.



**Figura 3.6.** Estudos desenvolvidos na avaliação técnica da exploração florestal

Foi realizado um estudo de tempos e movimentos para a determinação dos ciclos de movimentação padrão das operações e identificação dos elementos componentes dos movimentos dos operadores durante a realização da exploração florestal, segundo a metodologia sugerida por Barnes (1977). Para a determinação do número de ciclos necessários e de seus elementos, foram observadas, em campo, as atividades padrões desenvolvidas durante a jornada de trabalho, e empregada a equação 3.1 preconizada por Pfeiffer (1967), considerando o nível de probabilidade de 95 % e limite de erro de 20 %, devido a heterogeneidade da floresta amazônica:

$$N = \frac{cv^2 \times t^2}{(LE)}$$

(Equação 3.1)

em que, N = intensidade amostral ou número de ciclos; t = valor t de Student, obtido em função do grau de liberdade; cv = coeficiente de variação (%); e, LE = Limite de erro estabelecido (%).

O erro obtido após a coleta de dados foi calculado segundo a equação 3.2 a seguir:

$$E = \frac{t \times s_{\bar{x}}}{M} \times 100$$

(Equação 3.2)

em que, E = erro obtido na coleta (%);  $s_{\bar{x}}$  = erro padrão da média (minutos); t = valor t de Student, obtido em função do grau de liberdade; e, M = valor médio das observações (minutos).

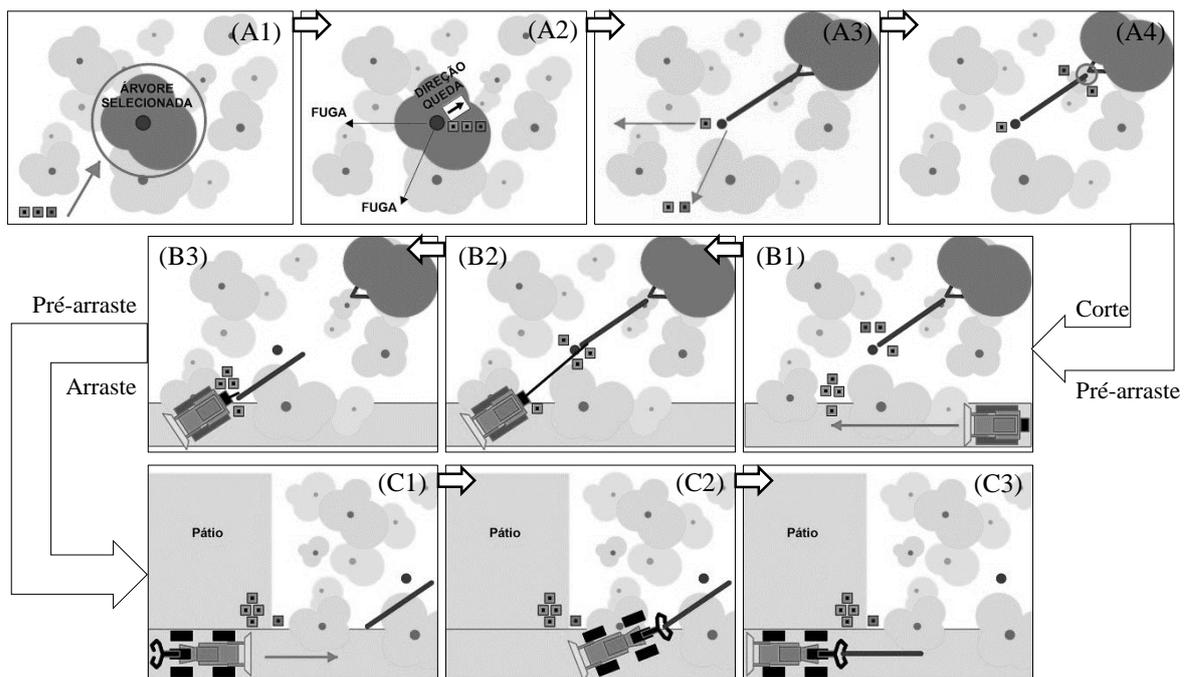
Para a Floresta privada foram acompanhadas as operações de corte, pré-arraste e arraste, as quais ocorreram cronologicamente nesta ordem. A força de trabalho em campo era composta por seis equipes de corte, com três funcionários cada (líder, operador de motosserra e auxiliar), três equipes no pré-arraste, formadas por oito funcionários cada (1 líder, 2 operadores de motosserra, 4 assistentes e 1 operador de máquinas) e três equipes com um operador de máquinas (*skidder*) cada. As equipes de cada operação trabalhavam simultaneamente e em diferentes áreas durante a exploração florestal.

As etapas da exploração florestal apesar de interligadas sequencialmente em termos de atividades desenvolvidas, tiveram um intervalo médio de ocorrência de cinco dias. Esse fato foi decorrente de questões técnicas da empresa, tais como a perda de umidade da madeira após o corte para o início do pré-arraste, a logística da movimentação de equipes, a segurança no trabalho e a demanda na serraria. Na Floresta privada os elementos do ciclo operacional de cada etapa da exploração florestal, ilustrados na Figura 3.7, foram:

- a) Etapa de corte florestal: o ciclo operacional do corte florestal foi dividido nos elementos *localização*, *planejamento*, *derrubada* e *destopamento*. As atividades inerentes à *localização* envolveram a busca das árvores selecionadas, a identificação em relação à numeração e espécie, e a realização do teste do oco com a motosserra ou por meio da resposta sonora a partir de impactos no fuste. *Planejamento*, iniciado em árvores sem presença de oco, envolveu as operações de limpeza do fuste na região do corte, a abertura das trilhas de fuga, o abastecimento e afiação da motosserra, a definição da direção de queda e a conferência da planilha e mapa de corte. A *derrubada* envolveu as atividades (boca de corte, corte de queda, uso de cunha direcional etc.) do corte propriamente dito da árvore com a motosserra. O *destopamento* caracterizou-se pela remoção da copa segundo as instruções de aproveitamento do fuste.
- b) Etapa de pré-arraste (guinchamento): a operação de pré-arraste teve seu ciclo subdividido nos elementos *deslocamento*, *cabo vazio* e *cabo carregado*. O *deslocamento* constituiu-se na movimentação do trator de esteira, ao longo das trilhas de arraste, entre os pontos de guinchamento de toras e as manobras necessárias para possibilitar o estiramento do cabo até a tora. Após o completo posicionamento do trator, estando esse parado, iniciou-se o elemento *cabo vazio*, o qual referiu-se as atividades para esticar o cabo e conectá-lo à tora. O elemento *cabo carregado* iniciou-se com o recolhimento do cabo trazendo a tora até à margem da trilha e finalizando com a retirada do cabo da tora. A posição da tora em relação à trilha foi

inclinada em ângulo de 35° a favor do movimento carregado. Ressalta-se que somente uma tora foi guinchada por ciclo e foram utilizados tratores de esteira, marca Caterpillar modelo D4H, equipados com dispositivo mecânico de guincho com alcance de até 70 m.

- c) Etapa de arraste: a operação de arraste ocorreu em função das atividades do *skidder*. Os elementos do ciclo foram *viagem vazia*, *carregamento* e *viagem carregada* (Figura 3.3). A *viagem vazia* envolveu o deslocamento do *skidder* ao longo das trilhas de arraste, saindo dos pátios até as toras a serem arrastadas. O *carregamento* iniciou-se quando da chegada do *skidder* na tora selecionada, realizando-se as atividades de manobra e acoplamento da tora por meio da garra, içando-a pela sua ponta localizada na margem da trilha. Com a tora içada, iniciou-se a *viagem carregada* com a movimentação do *skidder* ao longo da trilha, arrastando a tora até o pátio de estocagem. Esta operação foi realizada por tratores *skidders* Caterpillar modelo 525C, equipados com garra de acionamento hidráulico para o engate de toras.

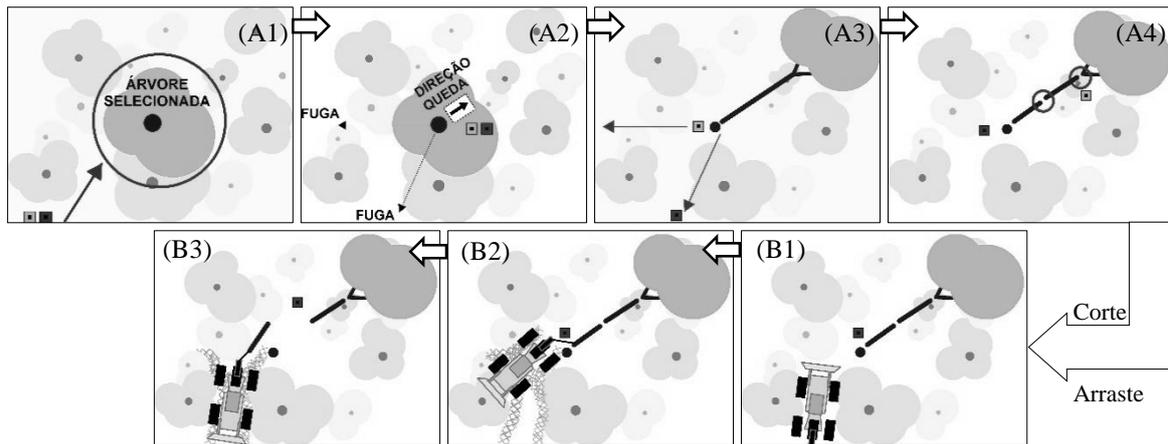


**Figura 3.7.** Fluxo das atividades de exploração na floresta privada. Elementos do ciclo operacional do corte: *localização da árvore* (A1), *planejamento* (A2), *derrubada* (A3) e *destopamento* (A4). Elementos do ciclo operacional pré-arraste: *deslocamento* (B1), *cabo vazio* (B2) e *cabo carregado* (B3). Elementos do ciclo operacional do arraste: *viagem vazia* (C1), *carregamento* (C2) e *viagem carregada* (C3).

Na floresta pública o sistema de exploração adotado empregou as operações de corte e arraste. Para o corte haviam três equipes, compostas por dois funcionários cada (1 líder/operador de motosserra e 1 auxiliar) e o arraste foi realizado por um trator *skidder*,

tendo uma equipe com dois funcionários (1 operador de *skidder* e 1 auxiliar). Os elementos do ciclo operacional de cada etapa da exploração florestal, ilustrados na Figura 3.8 foram:

- a) Etapa de corte florestal: o ciclo operacional do corte foi dividido nos elementos operacionais *localização*, *planejamento*, *derrubada* e *traçamento*. A *localização* caracterizou-se pela busca das árvores selecionadas para explorar, a identificação em relação à numeração e espécie, e a realização do teste do oco. O *planejamento* envolveu a limpeza do fuste na região do corte, a abertura das trilhas de fuga, o abastecimento e afiação da motosserra, a determinação da direção de queda e a conferência da planilha e mapa de corte. A *derrubada* constituiu-se das atividades (boca de corte, corte de queda, uso de cunha direcional etc.) do corte da árvore propriamente dito, com o uso da motosserra. O *traçamento* envolveu a remoção da copa e seccionamento do fuste em toras, dependendo da espécie e comprimento da mesma, sendo os critérios de divisão em toras estabelecidos pela empresa.
- b) Etapa de arraste: no arraste o ciclo operacional foi dividido nos elementos *viagem vazio*, *carregamento* e *viagem carregado*. Além do operador do trator, outro funcionário era responsável por fazer o acoplamento do cabo nas toras, o qual ficava posicionado em solo próximo à tora e auxiliava o operador na localização das próximas toras a arrastar. A *viagem vazia* caracterizou-se pela movimentação do *skidder* ao longo das trilhas de arraste, saindo do pátio de estocagem até às toras a serem arrastadas. O *carregamento* iniciava-se quando a tora era localizada pelo operador, que realizava a movimentação de manobra para posicionamento da parte traseira do trator, e finalizava-se quando o auxiliar conectava o cabo do *skidder* à tora. Acoplada a tora, iniciava-se a *viagem carregada* arrastando-a até o pátio determinado. O arraste foi realizado com o trator *skidder Miller TS-22*, equipado com lâmina frontal e cabo para engate, sendo arrastada apenas uma tora por ciclo.



**Figura 3.8.** Fluxo das atividades de exploração na floresta pública. Elementos do ciclo operacional do corte: *localização da árvore* (A1), *planejamento* (A2), *derrubada* (A3) e *traçamento* (A4). Elementos do ciclo operacional do arraste: *viagem vazia* (B1), *carregamento* (B2) e *viagem carregado* (B3). Os símbolos quadrados representam o posicionamento e quantidade de trabalhadores em cada elemento operacional.

Os tempos de cada elemento do ciclo operacional das etapas da exploração florestal foram registrados com o auxílio de um cronômetro portátil da marca EXTECH modelo 365535. Foram registrados em campo os tempos de cada elemento utilizando o método repetitivo, iniciando-se do zero a marcação do tempo ao fim de cada elemento. Isso permitiu avaliar as interrupções por elemento (BARNES, 1977). Os tempos foram obtidos em minuto, em escala decimal.

O tempo representativo do elemento foi dado pela média aritmética dos registros. Ao tempo médio de cada elemento foi descontado o índice de avaliação ( $I_a$ ), também denominado fator de ritmo, que considera o esforço que pode ser exercido continuamente durante as horas usuais de serviço por um homem de constituição física e aptidões normais, sem provocar o aparecimento de efeitos prejudiciais à saúde. Como não foram permitidas interferências no ritmo de trabalho durante as operações, o ritmo foi considerado normal, 100% ou igual a 1 (MACHLINE, 1990).

Basicamente, os tempos obtidos caracterizam-se pelos tempos *normal* e *padrão*. O *normal*, conceitualmente, seria o tempo médio do ciclo sem interrupções, retratando uma condição desejada. Quando as interrupções foram consideradas, o tempo *padrão* caracterizou-se pelo tempo médio do ciclo considerando paralisações ocasionais nas atividades. Como interrupções, entenderam-se pelo o tempo no qual demandam-se paralisações nas atividades por motivos técnicos, de segurança ou não inerentes a elas (BARNES, 1977).

O tempo *normal* (TN) representou o tempo que um operador treinado e qualificado, trabalhando num ritmo normal, levaria para completar um ciclo da operação (BARNES, 1977):

$$TNe = TMe \times I_a \quad (\text{Equação 3.3})$$

em que, TNe = tempo normal do elemento (minutos); TMe = tempo médio do elemento (minutos); e,  $I_a$  = índice de avaliação igual a 1, representando ritmo normal.

O tempo *normal* não inclui as tolerâncias dadas por interrupções. As interrupções foram consideradas como o tempo de paralisação da atividade por motivos externos. O tempo *padrão* (TP) considera o tempo normal e as interrupções (BARNES, 1977):

$$TPe = TNe \times \left( \frac{1}{1 - Tle} \right) \quad (\text{Equação 3.4})$$

em que, TPe = tempo padrão do elemento (minutos); TNe = tempo normal do elemento (minutos); e, Tle = tempo de interrupção no elemento (minutos).

A interrupção (Tle) expressou uma proporção e foi calculada utilizando o tempo total e o de paralisação de cada elemento, em minutos:

$$Tle = \frac{TPar}{TTE} \quad (\text{Equação 3.5})$$

em que, TPar = soma dos tempos de paralisação do elemento (minutos); TTE = tempo total do elemento (minutos);

O tempo padrão do ciclo (TP) foi obtido pela soma dos tempos padrões dos respectivos elementos do ciclo:

$$TP = \sum_{i=1}^n \left( \frac{TNe_i}{1 - Tle_i} \right) \quad (\text{Equação 3.6})$$

em que, TP = tempo padrão do ciclo operacional (minutos);  $TNe_i$  = tempo normal do elemento  $i$  ( $i = 1, 2, 3 \dots n$ ), sendo  $n$  o número de elementos do ciclo (minutos); e,  $Tle_i$  = tempo de interrupção no elemento  $i$ , ( $i = 1, 2, 3 \dots n$ ), sendo  $n$  o número de elementos do ciclo (minutos).

### *Interrupções*

A análise das interrupções foi em nível dos elementos e dos ciclos operacionais, levando em consideração a frequência em que acontecerão e os fatores motivadores para sua ocorrência. Primeiramente, foram verificadas as frequências por elemento. Em seguida, contabilizaram-se os ciclos com ocorrência de interrupções e verificadas as frequências por ciclo:

$$f = \frac{\text{Número de interrupções}}{\text{Número total}} \times 100$$

(Equação 3.7)

em que,  $f$  = frequência de interrupções do elemento ou do ciclo (%); Número de interrupções = quantidade de repetições de interrupções por elemento ou ciclo; Número total = quantidade total do elemento ou dos ciclos registrados.

A partir da identificação da ocorrência das interrupções, foram listadas e destacadas as causas motivadoras mais importantes. As interrupções foram classificadas em atrasos mecânicos, atrasos de operadores e outros atrasos (SPINELLI; VISSER, 2008). Os resultados de tempos obtidos em cada área de estudo foram comparados entre si e em relação aos outros estudos (FAO, 1997).

#### 3.3.1.1. Desempenho operacional

##### *Eficiência operacional*

A eficiência operacional é a porcentagem do tempo efetivamente trabalhada, em relação ao tempo total programado para o trabalho (LOPES, 2007). O tempo efetivo correspondeu ao tempo cronometrado em campo durante o período de coleta nas áreas exploradas. Para cada frente de trabalho, foi obtida a eficiência operacional:

$$EO = \frac{He}{(He+Hp)} \times 100$$

(Equação 3.8)

em que,  $EO$  = eficiência da operação (%);  $He$  = tempo de trabalho efetivo (horas); e,  $Hp$  = horas paradas (horas), corresponde às horas sem atividades (refeições e interrupções mecânicas e operacionais) durante a jornada de trabalho.

### Produtividade

A determinação da produtividade levou em consideração tempo total efetivo cronometrado durante o período de coleta e o volume total das toras exploradas no respectivo período. Para cada frente de trabalho foi obtida sua respectiva produtividade:

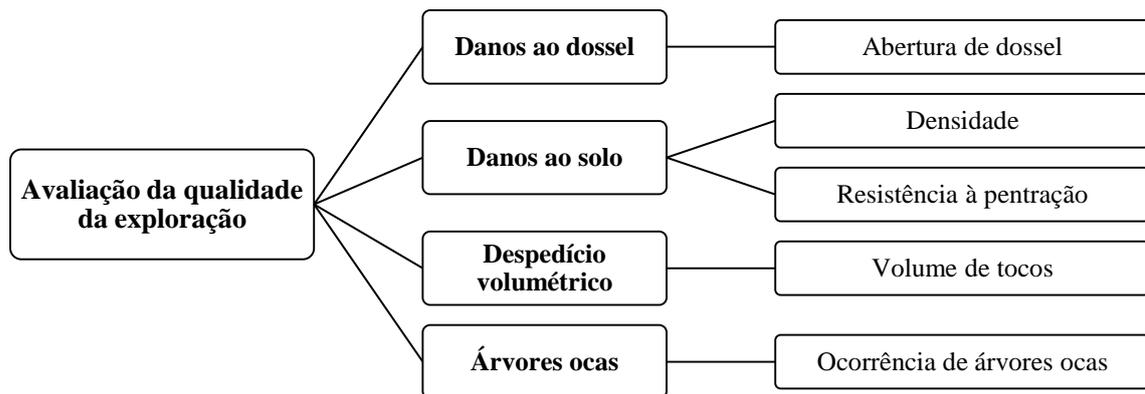
$$\text{Prod} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{h_e}$$

(Equação 3.9)

em que, Prod = produtividade da operação ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ );  $i$  = número da árvore amostrada ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ );  $V_i$  = volume individual da tora  $i$  ( $\text{m}^3$ ); e,  $h_e$  = tempo efetivo de trabalho no período da coleta (horas).

### 3.2.5. Qualidade da exploração florestal

Como indicadores da qualidade da exploração, foram analisados danos ao dossel e ao solo da floresta, assim como o desperdício expressado pelo volume de tocos após o corte e a ocorrência de ocos nas árvores exploradas (Figura 3.9).

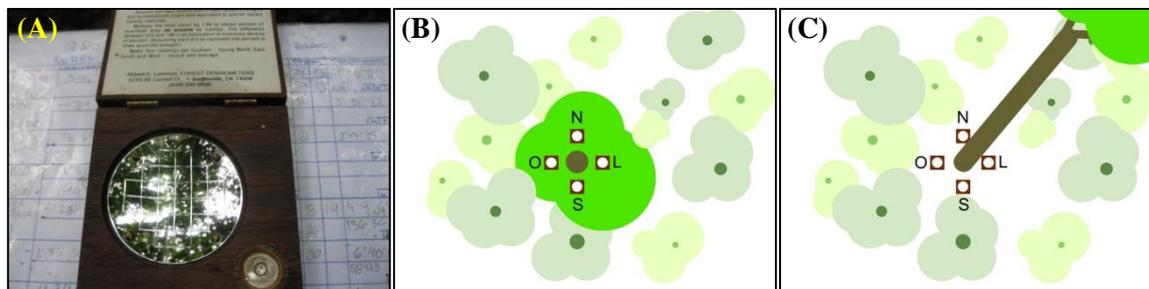


**Figura 3.9.** Organograma dos estudos desenvolvidos na avaliação da qualidade da exploração.

#### 3.3.1.2. Danos ao dossel

Foi verificada a abertura do dossel, antes e após a operação de corte, utilizando-se o densiômetro esférico (Figura 3.6). Para obter o valor da abertura do dossel foram efetuadas quatro medidas orientadas nas posições norte, leste, sul e oeste. Os quadrados no espelho côncavo do equipamento (24 quadrados) preenchidos pela projeção do dossel em cada medida foram contados e anotados em formulário de campo. Somando-se os valores das quatro medidas, multiplicou-se o resultado pelo número 1,04 para obter o valor de abertura em porcentagem, podendo variar de 0 a 100 %.

As medidas foram tomadas com o densiômetro posicionado horizontalmente a altura do peito e distante no máximo 50 cm do fuste ou toco. A orientação foi balizada utilizando-se uma bússola eletrônica (Figura 3.10). Os dados de abertura de dossel antes e após o corte foram comparados por meio do teste F (nível de probabilidade de 95%).



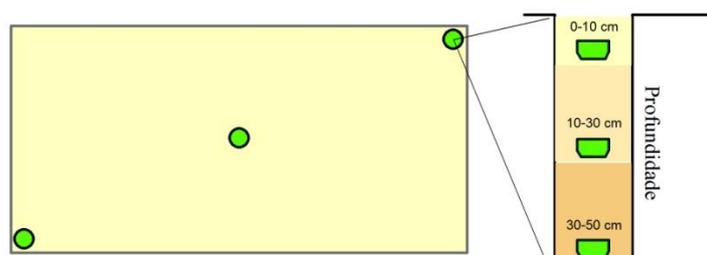
**Figura 3.10.** Coleta de dados da abertura de dossel: (A) Densiômetro côncavo; (B) Leituras na base da árvore antes do corte; (C) Leituras na base da árvore (toco) após o corte.

### 3.3.1.3. Danos ao solo

Para a avaliação dos impactos causados pela exploração foram empregados os parâmetros de densidade e resistência à penetração do solo. Foram amostradas áreas de floresta sem movimentação de tratores, em parcelas permanentes florestais, e com movimentação de tratores, em trilhas de arraste e pátios de estocagem de madeira. De maneira geral, compararam-se áreas exploradas a não exploradas.

#### *Densidade do solo (DS)*

A avaliação da densidade do solo (DS) foi realizada em campo utilizando o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2007). Obtiveram-se as densidades nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm. Os procedimentos de campos foram realizados em parcelas permanentes em áreas exploradas e em áreas sem exploração, essa última serviu como densidade testemunha do solo da floresta. A amostragem foi realizada com três repetições por parcela permanente, diagonalmente, duas nas extremidades e uma no centro, independente das dimensões das parcelas adotadas por cada empresa (Figura 3.11).



**Figura 3.11.** Método de amostragem da densidade do solo na parcela permanente.

Para cada profundidade, o anel volumétrico (volume conhecido) foi introduzido ao solo por meio de força aplicada via impactos. Após a inserção, o anel volumétrico foi removido e do seu interior, retirado o solo e colocado em cápsulas de alumínio devidamente vedadas para evitar perda de umidade. O solo úmido de cada cápsula foi pesado e colocado em estufa a 106,7 °C durante 48 horas (EMBRAPA, 2007). Após secagem foi realizada nova pesagem para determinação do teor de umidade, ou seja:

$$U\% = \frac{Pu - Ps}{Ps}$$

(Equação 3.10)

em que, U% = umidade do solo, em porcentagem; Pu = peso úmido do solo, em gramas; e, Ps = peso seco do solo, em gramas.

A densidade do solo foi obtida na base seca, ou seja, o peso seco do solo para cada profundidade foi dividido pelo volume do anel volumétrico (EMBRAPA, 2007), isto é:

$$DS = \frac{Ps}{Vc}$$

(Equação 3.11)

em que, DS = densidade do solo, em g cm<sup>-3</sup>; Ps = peso seco do solo, em gramas; e, Vc = volume do anel volumétrico (77,72 cm<sup>3</sup>).

#### *Resistência à penetração do solo (RPS)*

Para coletar dados de resistência à penetração foi utilizado o equipamento penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf, com alcance de até 50 cm de profundidade no solo, altura de queda do êmbolo de 20,0 cm e área de ponteira de 1,27 cm. Com os registros do número de golpes para alcançar a profundidade de 50 cm, utilizou-se a equação proposta por Stolf (1991) para determinação do valor de resistência à penetração do solo:

$$RPS = 5,67 + 3,43 \times N$$

(Equação 3.12)

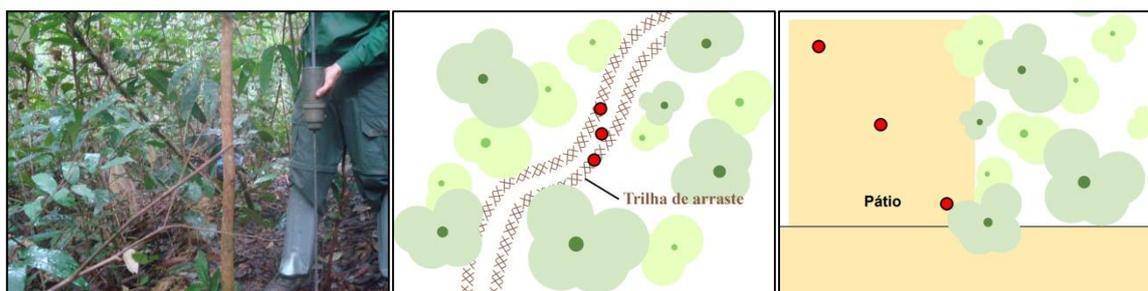
em que, RP = resistência do solo a penetração (kgf cm<sup>-2</sup>); e, N = número de impactos para atingir 5 cm de profundidade no solo (impactos dm<sup>-1</sup>).

Em seguida, os valores de RP foram convertidos para a unidade MPa (Megapascal) multiplicando-se o resultado obtido em kgf cm<sup>-2</sup> pela constante 0,098 (STOLF, 1991).

Foram estabelecidos três pontos de coleta ao longo de trilhas das arraste, sendo dois pontos tomados nas faixas dos rodados do trator e outro no eixo da trilha, visando verificar

a existência de diferenças de compactação do solo nas diferentes seções da trilha. Foram amostradas três trilhas de arraste escolhidas aleatoriamente.

Além das trilhas, três pátios de estocagem de madeira foram selecionados aleatoriamente. Em cada pátio, três pontos foram amostrados: o primeiro na porção frontal do pátio (margem de estradas) onde ocorre a movimentação de *skidder* e pás-carregadoras de toras; no meio do pátio, local de ocorrência de manobras das pás-carregadoras de toras; e, no fundo do pátio, local de empilhamento das toras. Como testemunha, adotaram-se os valores de resistência à penetração em parcelas permanentes de áreas livres de exploração (Figura 3.12).



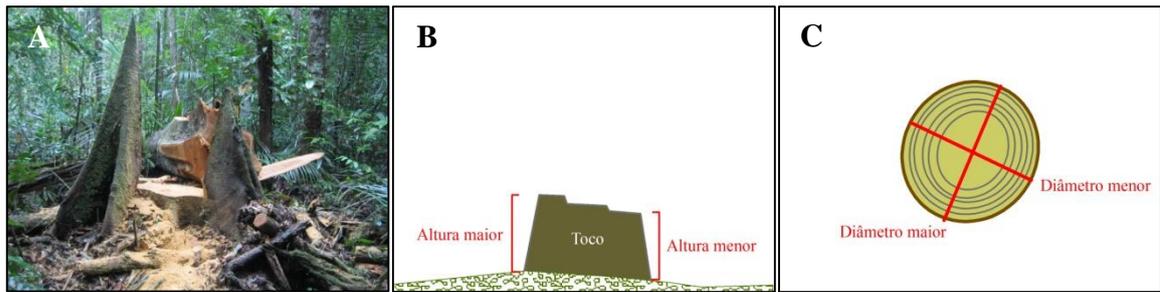
**Figura 3.12.** Coleta de dados de compactação do solo: (A) Penetrômetro em utilização; (B) Detalhe da amostragem em trilhas de arraste (pontos vermelhos); (C) Amostragem em pátio de estocagem de madeira (pontos vermelhos).

Inicialmente, foram comparados os dados provenientes das trilhas e pátios com os locais tidos como testemunha, utilizando o teste F e o contraste de médias Tukey, ambos com 95% de probabilidade.

#### 3.3.1.4. Desperdício volumétrico

O desperdício volumétrico foi o volume dos tocos remanescentes das árvores cortadas. O volume de cada toco foi obtido em campo por meio de duas medidas da altura e duas do diâmetro do toco (Figura 3.13).

As medidas de diâmetro consideraram o maior (D1) e menor (D2) comprimento do diâmetro medidos do toco. As alturas foram medidas levando em consideração a base da serapilheira até a região do corte, uma medida de maior (A1) e outra de menor altura (A2). O valor referência do diâmetro e da altura do toco foi a média aritmética de suas medidas. Para as espécies que apresentaram sapopemas, desprezaram-se a altura das mesmas na medição. (Figura 3.13).



**Figura 3.13.** Coleta de dados do desperdício: (A) Toco (com sapopema) após corte; (B) Alturas medidas; (C) Diâmetros medidos.

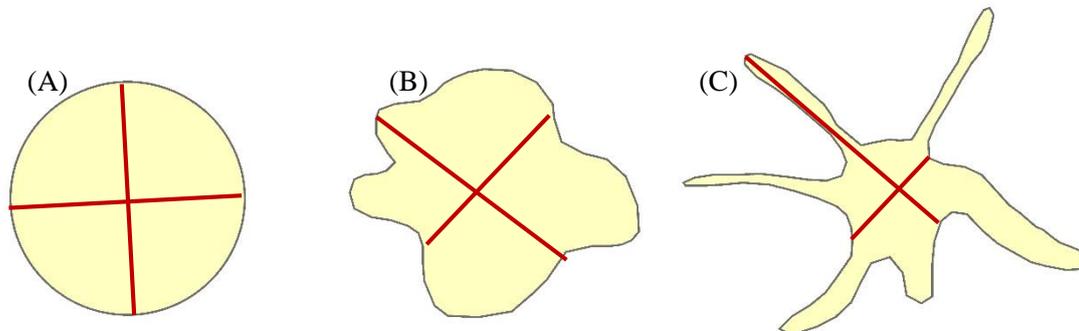
O volume dos tocos foi calculado conforme apresentado na equação 3.13:

$$V_t = \frac{\pi \times ((D_1 + D_2) / 2)^2}{4} \times ((A_1 + A_2) / 2)$$

(Equação 3.13)

onde,  $V_t$  = volume do toco ( $m^3$ );  $D_1$  = Diâmetro maior do toco (m);  $D_2$  = Diâmetro menor do toco (m);  $A_1$  = Altura maior do toco (m);  $A_2$  = Altura menor do toco (m).

Foram registrados também durante a medição dos tocos, como informação qualitativa, três classes de formato basal: cilíndrico/elíptico, irregular (acanalado) e com sapopemas (Figura 3.14). O enquadramento foi em campo e registrado em formulários e contabilizado o número de registros por classe.



**Figura 3.14.** Forma da base do toco. Seção transversal do fuste: (A) cilíndrico; (B) irregular e (C) com sapopemas. As linhas em vermelho representam algumas das maneiras de obtenção do diâmetro dos tocos, utilizando sempre duas medidas ( $D_1$  e  $D_2$ ). Para o com sapopema, mediram-se o maior comprimento incluindo a sapopema e o menor diâmetro sem sapopemas. O diâmetro para todos os tipos foi a média aritmética dessas duas medidas (representadas pelas linhas vermelhas)

### 3.3.1.5. Árvores ocas

A avaliação consistiu na verificação em campo da ocorrência de árvores ocas durante a operação de corte. De posse dos dados registrados, foi calculada a frequência de ocorrência

de árvores ocas, levando em consideração, o número de árvores cortadas por jornada de trabalho:

$$f_{oca} = \frac{AO}{N} \times 100$$

(Equação 3.14)

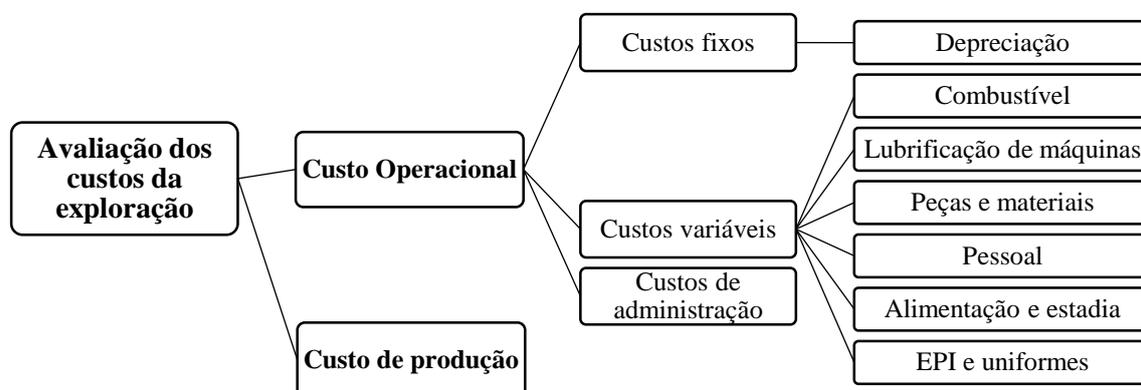
em que,  $f_{oca}$  = frequência da ocorrência de árvores com presença de oco, em porcentagem; AO = quantidade de árvores ocas registradas durante a operação de corte; e, N = quantidade total de árvores abatidas na jornada de trabalho.

Além disso, o volume das árvores ocas foi contabilizado com base no inventário florestal. Com isso, foi possível determinar a quantidade de volume perdido pela exploração em relação a intensidade planejada.

### 3.2.6. Custos da exploração florestal

A avaliação do custo da exploração florestal foi considerada para as operações de corte, pré-arraste e arraste e apenas na floresta privada. Foram obtidos os custos operacionais e os custos de produção de máquinas utilizadas nas operações (Figura 3.15). Todos os custos foram expressos na moeda corrente brasileira (LOPES, 2007).

Nos custos operacionais, foram incluídos os custos de administração, variáveis e fixos. Os custos operacionais foram considerados para a operação individualmente (para uma equipe) e para a exploração como um todo (soma dos custos de todas as operações). Os custos de produção levaram em consideração os custos operacionais e a produtividade das máquinas (motosserra e tratores florestais) em cada operação e para a exploração como um todo (ASAE, 2001; LOPES, 2007; MIYATA, 1980).



**Figura 3.15.** Organização dos tópicos avaliados na avaliação dos custos da exploração.

### 3.3.1.6. Custos fixos

#### *Depreciação*

A depreciação de máquinas (motosserras e tratores florestais) utilizadas nas operações foi obtida pelo método da depreciação linear, conforme expressão:

$$Dp = \frac{Vi-Vf}{N \times hea}$$

(Equação 3.15)

em que,  $Dp$  = depreciação linear da máquina (R\$  $he^{-1}$ );  $Vi$  = valor de aquisição da máquina (R\$);  $Vf$  = valor residual da máquina (R\$);  $N$  = vida útil estimada (anos);  $e$ ,  $hea$  = horas efetivas de uso anual (horas  $ano^{-1}$ ).

### 3.3.1.7. Custos variáveis

Para aquisição dos custos variáveis, foram solicitadas junto às empresas das áreas exploradas o histórico mensal desses custos. Com os valores mensais médios, o valor do custo foi padronizado para a hora trabalhada, ou seja, os custos mensais foram divididos pelo número de horas trabalhadas por mês.

#### *Combustível*

Custos com combustíveis foram fornecidos pela empresa para uma base mensal de consumo. Assim, o consumo de motosserras (gasolina + óleo) e tratores florestais (óleo diesel) foi dividido pela quantidade de horas trabalhadas no mês, retornando o valor consumido por hora efetiva (R\$  $h^{-1}$ ). Para cada frente de exploração (corte e extração), valores de custos com combustível foram expressos em função da quantidade de equipes e número de máquinas utilizadas, conforme a expressão:

$$CC = \frac{Qm}{he} \times Pc$$

(Equação 3.16)

em que,  $CC$  – custo com combustível (R\$  $h^{-1}$ );  $Qm$  – quantidade mensal de combustível consumido pela máquina (l);  $Pc$  – preço do litro de combustível (R\$  $l^{-1}$ );  $e$ ,  $he$  = horas efetivas de uso anual.

### *Lubrificação*

Os custos referentes ao consumo de óleos lubrificantes e hidráulicos e graxas utilizadas pelas máquinas foram calculados levando em consideração a quantidade de combustível utilizada, aplicando-se o fator de ajuste de 15%, conforme a expressão:

$$CL=CC \times FA$$

(Equação 3.17)

em que, CL - custo de lubrificação por hora (R\$ h<sup>-1</sup>); CC - custo com combustível (R\$ h<sup>-1</sup>); e, FA - fator de ajuste de 15% (ASAE, 2001).

### *Peças e materiais*

Disponibilizados pelas empresas, os custos com peças e matérias foram contabilizados e padronizados para a hora efetiva (R\$ h<sup>-1</sup>). Foram levados em consideração peças como sabres, correntes, limas de afiação e chaves de motosserras, pneus e esteiras de tratores florestais e materiais utilizados nas operações (cunhas, marretas, castanhas para cabos de aço, chaves etc). Cada operação teve um valor de custo de peças e materiais em função das quantidades de máquinas utilizadas.

### *Pessoal*

Custos com salários diretos acrescidos dos encargos sociais do pessoal envolvido foram contabilizados para cada operação em função de cargos e número de funcionários. Os valores foram deduzidos em horas trabalhadas (R\$ h<sup>-1</sup>).

### *Alimentação e estadia em acampamento florestal*

Custos de alimentação e estadia foram relacionados com a compra ou preparo de refeições para os funcionários durante a jornada de trabalho e despesas com o acampamento florestal, sendo contabilizados em função do número e quantidade de funcionários.

### *EPIs e uniformes*

Custos com aquisição de uniformes e equipamentos de proteção individual - EPIs foram contabilizados. Estes custos foram obtidos junto às empresas, e deduzidos por hora trabalhada (R\$ h<sup>-1</sup>).

### *Custo de administração*

Custos relacionados com os trabalhos no acampamento florestal (almoxarifado, enfermaria, zeladoria e energia), no escritório e na supervisão das atividades de campo foram indicados como equivalentes à 5 % do valor total dos custos de exploração, segundo os manejadores. Esse valor foi transformado para a base horária (R\$ h<sup>-1</sup>).

#### 3.3.1.8. Custos operacionais

##### *Operações*

O custo operacional foi obtido pela soma dos custos fixos, variáveis e de administração de cada uma das máquinas e equipamentos utilizados nas operações. Assim, para cada operação (corte, pré-arraste e arraste) foram obtidos os valores de custos totais, seguindo a expressão:

$$CTO=(CF+CV+CA)\times Neq$$

(Equação 3.18)

em que, CTO = custo total da operação (R\$ h<sup>-1</sup>); CF = custos fixos (R\$ h<sup>-1</sup>); CV = custos variáveis (R\$ h<sup>-1</sup>); CA = custo de administração (R\$ h<sup>-1</sup>); e, Neq = quantidades de equipes na operação.

##### *Exploração*

Com base no somatório dos valores de custos por operação, foi obtido o custo do sistema de exploração florestal empregado, conforme a expressão:

$$CEX=CTo+CTPr+CTAr$$

(Equação 3.19)

em que, CEX = custo da exploração florestal (R\$ h<sup>-1</sup>); CTC<sub>o</sub> = custo total da operação de corte (R\$ h<sup>-1</sup>); CTPr = custo total da operação de pré-arraste (R\$ h<sup>-1</sup>); e, CTAr = custo total da operação de extração (R\$ h<sup>-1</sup>);

#### 3.3.1.9. Custos de produção

##### *Operações*

O custo de produção das atividades de exploração florestal foi obtido pela divisão do custo operacional (R\$ h<sup>-1</sup>) pela produtividade da operação (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>). Esse valor correspondeu ao custo do metro cúbico obtido por determinada operação, sendo expresso em R\$ m<sup>-3</sup>:

$$CPO=\frac{CTO\times Neq}{Prod}$$

(Equação 3.20)

em que, CPO = custo de produção da operação (R\$ m<sup>-3</sup>); CTO = custo total da operação (R\$ m<sup>-3</sup>); Prod = produtividade média da operação (R\$ m<sup>-3</sup>); e, Neq = quantidades de equipes na operação.

### Exploração

Somando-se os custos de produção das operações foi obtido o valor do custo de produção conforme o sistema de exploração empregado nas áreas. O custo de produção da exploração correspondeu ao custo do metro cúbico posto no pátio de estocagem, seguindo a expressão:

$$CPEX=CPCo+CPPr+CPAr$$

(Equação 3.21)

em que, CPEX = custo da exploração florestal (R\$ m<sup>-3</sup>); CPCo = custo de produção da operação de corte (R\$ m<sup>-3</sup>); CPPr = custo de produção da operação de pré-arraste (R\$ m<sup>-3</sup>); e, CPAr = custo de produção da operação de arraste (R\$ m<sup>-3</sup>),

### 3.2.7. Fatores ergonômicos da exploração florestal

Na avaliação ergonômica foram abordados aspectos relacionados às características do trabalho florestal, ao ruído, às condições térmicas durante a jornada de trabalho das operações florestais. Os dados foram coletados durante as atividades em ambas as áreas de floresta (pública e privada), com o cuidado de não interferir nas atividades desenvolvidas pelos trabalhadores (Figura 3.16).

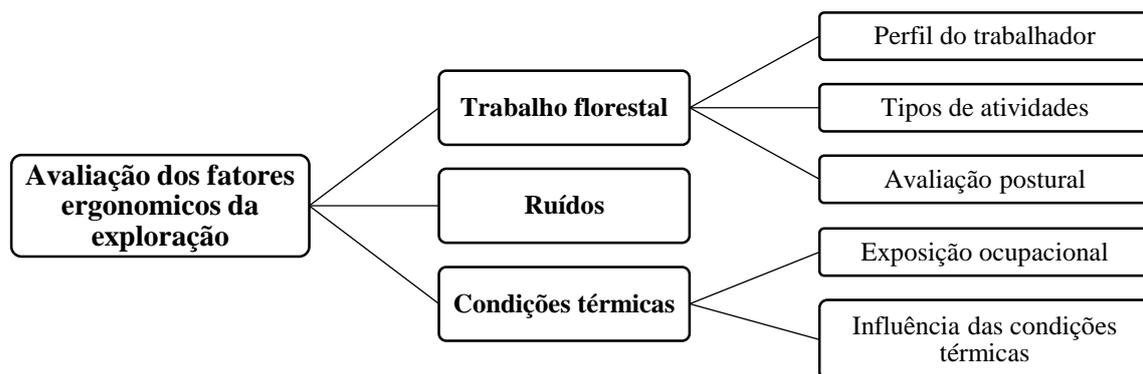


Figura 3.16. Organização dos estudos desenvolvidos na avaliação dos fatores ergonômicos

### 3.3.1.10. Trabalho florestal

#### Perfil do trabalhador

O perfil dos trabalhadores foi obtido por meio de entrevista na forma de questionário (Figura 3.17). A amostragem foi baseada no máximo possível de entrevistas. Os tópicos abordados foram relacionados às características sociais, econômicas, físicas, aos hábitos de vida, ao histórico de saúde e às características do trabalho.

|                                |                           |     |                             |           |                 |                      |                                |                   |                      |                   |                |                     |                  |                  |     |    |
|--------------------------------|---------------------------|-----|-----------------------------|-----------|-----------------|----------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------|---------------------|------------------|------------------|-----|----|
| Nome<br>(opcional)             |                           |     |                             |           |                 |                      |                                |                   |                      |                   |                | Idade               |                  |                  |     |    |
| Naturalidade                   |                           |     |                             |           |                 |                      |                                |                   |                      |                   |                | Estado              |                  |                  |     |    |
| <b>Dados Pessoais</b>          | Estado Civil              |     |                             | Filhos    |                 |                      | Dependentes fin.               |                   |                      | Residência        |                |                     | Origem           |                  |     |    |
|                                | Sol                       | Cas | Ama                         | Ñ         | S:              |                      | Ñ                              | S:                |                      | Alu               | Pro            | Out                 | Rur              | Urb              | Ind |    |
|                                | Cúrtis                    |     |                             | Religião  |                 |                      | Escolaridade (série)           |                   |                      |                   |                |                     |                  |                  |     |    |
|                                | Bra                       | Neg | Mes                         | Cat       | Eva             | Out                  | Ñ                              | 1º                | 2º                   | 3º                | 4º             | 5º                  | 6º               | 7º               | 8º  |    |
|                                | Problema visão            |     |                             | Ócu<br>ÑO | Percepção cores |                      | Problema auditivo              |                   | Lateral              |                   | Tipo sanguíneo |                     |                  |                  | +   |    |
|                                | Ñ                         | SP  | SL                          | S         | Ñ               | S                    | Ñ                              | S                 |                      | D                 | C              | A                   | B                | O                | AB  | Ñ  |
| <b>Hábitos</b>                 | Vícios e costumes         |     |                             |           |                 | Período de Sono (hs) |                                |                   |                      |                   |                |                     | Atividade Física |                  |     |    |
|                                | BD                        | BF  | F                           | J         | Ñ               | Ins                  | -5                             | 5                 | 6                    | 7                 | 8              | +8                  | F                | R                | Ñ   |    |
| <b>Saúde</b>                   | Doenças (mosquitos)       |     |                             |           |                 | Animais peçonhentos  |                                | Alergia           |                      | Lesão superficial |                | Ataques             |                  | Ñ                |     |    |
|                                | Lei                       | Den | FeA                         | Mal:      | Ñ               | S                    | Ñ                              | S                 | Ñ                    | S                 | Ñ              | For                 | Abe              | O                |     |    |
| <b>Trabalho</b><br><br>Função: | Idade do 1º trabalho      |     | Tempo na função             |           |                 | Tempo na empresa     |                                |                   | Registro em carteira |                   | Salário*       |                     | Carga horária    |                  |     |    |
|                                |                           |     |                             |           |                 |                      |                                |                   | S                    |                   | Ñ              |                     | Sat              |                  |     | N: |
|                                | Treinos                   |     | Experiência trab. florestal |           |                 | Renda extra          |                                | Acidente trabalho |                      |                   | Satisfação     |                     |                  |                  |     |    |
|                                | S                         | Ñ   | Ñ                           | S:        |                 | S                    | Ñ                              | Ñ                 | S:                   |                   | Ñsal           | ÑRis                | Ñesf             | ÑO               | Sat |    |
|                                | Desconfortos              |     |                             |           |                 | Dores                |                                |                   |                      | Freq              |                | Rar                 |                  | Sono após almoço |     |    |
|                                | Cal                       | Sed | Can                         | Ruí       | EPI             | O                    | Cab                            | Pes               | Omb                  | Bra               | Mão            | Ñ                   |                  |                  |     |    |
|                                | Alimentação               |     |                             |           |                 |                      |                                |                   |                      |                   |                | Qualidade Refeições |                  |                  |     |    |
|                                | Serviço                   |     |                             |           |                 |                      | Folga                          |                   |                      |                   |                |                     |                  |                  |     |    |
|                                | C                         | LM  | AL                          | LT        | J               | LN                   | C                              | LM                | AL                   | LT                | J              | LN                  | Ruí              | Raz              | Sat |    |
|                                | Operação de maior esforço |     |                             |           |                 |                      | Operação de maior concentração |                   |                      |                   |                |                     | EPIs             |                  |     |    |
| Inv                            | Infra                     | Cor | Arr                         | Pát       | O               | Inv                  | Infra                          | Cor               | Arr                  | Pát               | O              | Ruí                 | Raz              | Sat              |     |    |
| Obs.:                          |                           |     |                             |           |                 |                      |                                |                   |                      |                   |                |                     |                  |                  |     |    |

Figura 3.17. Formulário socioeconômico utilizado no perfil do trabalhador.

#### Tipos de atividades

De acordo com o enquadramento funcional dos trabalhadores envolvidos nas operações de exploração, foram avaliados os tipos de atividades em função dos movimentos desempenhados e das taxas metabólicas correspondentes, de acordo com a Norma de Higiene Ocupacional número 06 - NHO06 (FUNDACENTRO, 2002). Os movimentos foram registrados durante as atividades e enquadradas como trabalho leve, moderado ou

pesado, consoantes à Norma Regulamentadora número 15 – NR15 (BRASIL, 1996) (Tabela 3.1).

**Tabela 3.1.** Tipo de atividade e taxa metabólica.

| <b>Tipo de atividade</b>  | <b>Taxa Metabólica (Kcal/h)</b> |
|---|---------------------------------|
| Sentado em repouso  | 100                             |
| <i>TRABALHO LEVE</i>  |                                 |
| Sentado, movimentos moderados com braços e tronco                         | 125                             |
| Sentado, movimentos moderados com braços e pernas                         | 150                             |
| De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços | 150                             |
| <i>TRABALHO MODERADO</i>  |                                 |
| Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas                         | 180                             |
| De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação       | 175                             |
| De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação   | 220                             |
| Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar                   | 300                             |
| <i>TRABALHO PESADO</i>  |                                 |
| Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos             | 440                             |
| Trabalho fatigante  | 550                             |

Adaptado: NR15, Anexo nº 3, Ministério do Trabalho

#### *Avaliação postural*

Para avaliação biomecânica dos operadores, foi aplicado o sistema OWAS (*Ovako Working Posture Analysing System*), que se refere a um sistema prático de registro de postura durante as atividades desenvolvidas (KARHU; KANSI; KUORINKA, 1977). Este sistema leva em consideração a posição do dorso (4 posições típicas), dos membros inferiores (7 posições típicas), dos membros superiores (3 posições típicas) e da carga aplicadas em posições típicas inerentes às atividades (IIDA, 2005). A avaliação postural baseou-se na identificação numérica de cada postura e na operação realizada (Tabela 3.2). Por exemplo, uma postura com dorso inclinado (2), dois braços para baixo (1), uma perna ajoelhada (5) e peso de até 10 kg (1), realizada na operação de Corte, foi representada pelo código “2151Corte. As posturas foram registradas por fotografias durante as operações.

**Tabela 3.2.** Sistema OWAS para registro da postura.

| <b>Dorso</b>              | <b>1</b><br>Reto                   | <b>2</b><br>Inclinado               | <b>3</b><br>Reto e torcido          | <b>4</b><br>Inclinado            |
|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Membros superiores</b> | <b>1</b><br>Dois braços para baixo | <b>2</b><br>Um braço para cima      | <b>3</b><br>Dois braços para cima   | -                                |
| <b>Membros inferiores</b> | <b>1</b><br>Duas pernas retas      | <b>2</b><br>Uma perna reta          | <b>3</b><br>Duas pernas flexionadas | <b>4</b><br>Uma perna flexionada |
|                           | <b>5</b><br>Uma perna ajoelhada    | <b>6</b><br>Deslocamento com pernas | <b>7</b><br>Duas pernas suspensas   | -                                |
| <b>Carga ou Força</b>     | <b>1</b><br>Até 10kg               | <b>2</b><br>Entre 10 a 20kg         | <b>3</b><br>Superior a 20kg         | -                                |

Adaptado: (IIDA, 2005)

A partir da identificação de posturas típicas, essas foram classificadas em função do nível de desconforto e grau de risco de lesões (IIDA, 2005):

- a) Classe 1: postura normal, que dispensa cuidados, a não ser em casos excepcionais;
- b) Classe 2: postura que deve ser verificada durante revisões dos métodos de trabalho;
- c) Classe 3: postura que deve merecer atenção a curto prazo;
- d) Classe 4: postura que deve merecer atenção imediata.

As classes foram combinadas com as variáveis dorso, membros inferiores, membros superiores e carga, conforme mostrado na Tabela 3.3 (IIDA, 2005)

**Tabela 3.3.** Sistema OWAS: Classificação das posturas pela combinação das variáveis.

| Dorso | Braços | 1 |   |   | 2 |   |   | 3 |   |   | 4 |   |   | 5 |   |   | 6 |   |   | 7 |   |   | Pernas<br>Cargas |
|-------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------------------|
|       |        | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |                  |
| 1     | 1      | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |                  |
|       | 2      | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |                  |
|       | 3      | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2                |
| 2     | 1      | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |                  |
|       | 2      | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 |                  |
|       | 3      | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 |                  |
| 3     | 1      | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |                  |
|       | 2      | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |                  |
|       | 3      | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 |                  |
| 4     | 1      | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 |                  |
|       | 2      | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 |                  |
|       | 3      | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 |                  |

Adaptado: (IIDA, 2005)

### 3.3.1.11. Ruídos

O ruído pode ser entendido como um estímulo auditivo que não contém informações úteis para a atividade em execução. Os ruídos influenciam no desempenho das atividades. Ruídos entre 70 e 90 dB dificultam a comunicação e concentração e, acima de 90 dB, provocam reações fisiológicas prejudiciais, aumentando o estresse e a fadiga. (IIDA, 2005).

Os dados coletados consistiram nos parâmetros nível de ruído e dose de exposição de fontes emissoras. O nível de ruído representa o valor em decibéis da pressão sonora emitida num determinado instante. A dose é o parâmetro utilizado para a caracterização da exposição ocupacional ao ruído, expresso em porcentagem da energia sonora. Os limites de tolerância para ruídos e doses em ambiente de trabalho são estabelecidos pela NR15 (BRASIL, 1996). A Norma expõe que os níveis superiores a 115 dB(A) oferecem risco grave ou eminente sem proteção adequada (Tabela 3.4). A máxima exposição de um jornada de trabalho de oito horas é de 85 dB(A), que representa uma dose de exposição de 100% (Tabela 3.5). A atuação recomendada para proteção de funcionários em relação à dose diária

envolvida nas atividades foi baseada na Norma de Higiene Ocupacional NHO01 (FUNDACENTRO, 2001).

**Tabela 3.4.** Tempo máximo de exposição permissível ao ruído contínuo ou intermitente.

| Nível de ruído dB(A) | Exposição máxima diária permissível por dia |
|----------------------|---|
| 85                   | 8 horas                                     |
| 90                   | 4 horas                                     |
| 100                  | 1 hora                                      |
| 105                  | 30 min                                      |
| 110                  | 15 min                                      |
| 115                  | 7 min                                       |

Adaptado: (IIDA, 2005)

**Tabela 3.5.** Atuação recomendada em função da dose diária ou do nível de exposição normalizado encontrados nas condições de exposição.

| Dose diária (%) | Nível de exposição normalizado <sup>1</sup> | Atuação recomendada   |
|-----------------|---|---|
| 0 a 50          | até 82                                      | No mínimo manutenção da condição existente                                  |
| 50 a 80         | 82 a 84                                     | Adoção de medidas preventivas   |
| 80 a 100        | 84 a 85                                     | Adoção de medidas preventivas e corretivas visando a redução da dose diária |
| Acima de 100    | >85   | Adoção imediata de medidas corretivas                                       |

Adaptado: (FUNDACENTRO, 2001)

<sup>1</sup>Nível de exposição, convertido para uma jornada de trabalho padrão de oito horas diárias, para fins de comparação com o limite de exposição

O medidor integrador de uso pessoal utilizado para registro em campo foi o dosímetro modelo 407355 da marca *EXTECH*. O equipamento coleta dados de ambos os parâmetros (nível de ruído e dose) simultaneamente e os armazena-os em sua memória interna. O equipamento permite a transferência dos dados em forma de relatório de dose (%) e níveis de ruído (dB) durante determinado período. O equipamento foi acoplado junto ao operador com seu dispositivo de recepção (microfone) instalado o mais próximo do ouvido (gola da camisa). Os métodos de coleta seguiram recomendações da NHO01 (FUNDACENTRO, 2001).

Nesse estudo, foram coletados dados de ruídos emitidos por motosserra (corte) e por tratores florestais durante as operações de exploração florestal. De acordo com os níveis de ruídos emitidos foram sugeridos os tipos de equipamentos adequados de proteção aos trabalhadores baseando-se nas recomendações da NR06 (BRASIL, 2006).

### 3.3.1.12. Condições térmicas

Para o levantamento das condições térmicas de trabalho foi utilizado o medidor de estresse térmico portátil modelo HT30 da marca *EXTECH*. Em campo foram obtidos com

esse aparelho os valores do índice de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG). O IBUTG é o índice que revela o nível de exposição ao calor, normatizado pela NR15 (BRASIL, 1996).

#### *Exposição ocupacional ao calor*

O IBUTG fornece parâmetro para o período efetivo de atividade e descanso, com base nas condições térmicas do ambiente de trabalho. A exposição ao calor é regulamentada pela NR15, que leva em consideração os valores de IBUTG e a taxa metabólica e/ou tipo de atividade desenvolvida (Tabelas 3.6 e 3.7).

**Tabela 3.6.** Regime de trabalho intermitente em função do IBUTG e tipo de atividade.

| Regime de trabalho Intermitente com descanso no próprio local de trabalho (por hora) | Tipo da Atividade |                  |                  |
|--|-------------------|------------------|------------------|
|  | Leve              | Moderada         | Pesada           |
| Trabalho contínuo  | até 30,0          | até 26,7         | até 25,0         |
| 45 minutos trabalho 15 minutos descanso  | 30,1 a<br>30,6    | 26,8 a<br>28,0   | 25,1 a<br>25,9   |
| 30 minutos trabalho 30 minutos descanso  | 30,7 a<br>31,4    | 28,1 a<br>29,4   | 26,0 a<br>27,9   |
| 15 minutos trabalho 45 minutos descanso  | 31,5 a<br>32,2    | 29,5 a<br>31,1   | 28,0 a<br>30,0   |
| Não é permitido o trabalho sem a adoção de medidas adequadas de controle             | acima de<br>32,2  | acima de<br>31,1 | acima de<br>30,0 |

Fonte: NR15, Anexo 3, Ministério do Trabalho

**Tabela 3.7.** Limite de exposição ocupacional ao calor

| Taxa Metabólica (Kcal/h) | Máximo IBUTG | Taxa Metabólica (Kcal/h) | Máximo IBUTG |
|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| 175                      | 30,5         | 350                      | 26,5         |
| 200                      | 30           | 400                      | 26           |
| 250                      | 28,5         | 450                      | 25,5         |
| 300                      | 27,5         | 500                      | 25           |

Fonte: NR15, Anexo 3, Ministério do Trabalho (BRASIL, 1996)

A obtenção dos dados durante a jornada de trabalho seguiu, aproximadamente, os horários de 7:00, 9:30; 12:00; 13:00, 15:00 e 17:00 horas. De maneira geral, monitoraram-se as condições térmicas tentando captar as variações ao longo do dia. Além desses, dados aleatórios foram coletados fora da jornada de trabalho para compor informações das variações diárias de temperatura.

Visando a consulta rápida em campo, foi criado um gráfico informativo para determinação prévia do regime de trabalho ao longo do dia. Primeiramente, de posse de todas as observações de IBUTG registradas durante a coleta, os dados foram agrupados em intervalos de classe (uma hora) durante a jornada de trabalho e, para cada classe, obteve-se

o valor médio. Assim, criou-se a curva de comportamento térmico padrão estimada em função do valor médio de IBUTG e da hora da jornada de trabalho.

Conhecendo a equação da curva de comportamento térmico, foi possível determinar o acréscimo e o decréscimo (incrementos) do IBUTG ao longo da jornada de trabalho. Com base na temperatura da primeira classe de hora, em intervalos crescentes e regulares (0,5 °C) entre as temperaturas de 23 °C e 29 °C para a primeira hora de trabalho, foram replicadas uma série de curvas, uma para cada temperatura inicial, plotadas em um gráfico informativo. Na prática, um funcionário responsável poderá obter o valor de IBUTG antes da primeira hora de trabalho e, verificando o comportamento térmico estimado para o dia, determinar o regime de trabalho.

A série de curvas foi estimada baseando-se na variação do incremento do IBUTG estimado ao longo das classes de horas. Esta variação de incremento foi obtida conforme a expressão:

$$T_i = T_0 \times \left( 1 + \left( \frac{T_{e(i+1)} - T_{e0}}{T_{e0}} \right) \right)$$

(Equação 3.22)

em que,  $T_i$  = temperatura IBUTG na hora de trabalho  $i$ , ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ), em °C;  $T_0$  = temperatura IBUTG na hora de trabalho 0, início da jornada, em °C;  $T_{e_i}$  = temperatura IBUTG da curva estimada na hora  $i$ , ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ), em °C; e,  $T_{e_0}$  = temperatura IBUTG da curva estimada na hora 0, início da jornada, em °C.

A curva foi estimada usando a função do modelo de regressão que mais explicou ao comportamento dos dados, verificado pelo maior valor de  $R^2$ . As estimativas foram realizadas no programa *EXCEL 2013*.

### 3.3. RESULTADOS

#### 3.3.1. Estudo de tempos e movimentos

##### 3.3.1.1. Erro amostral

Para o estudo de tempos e movimentos, primeiramente determinaram-se os ciclos e os respectivos elementos de cada operação acompanhado o trabalho das equipes de exploração em campo. Na floresta privada, os ciclos (operações) foram o corte, o pré-arraste e o arraste. Na floresta pública, o corte e o arraste foram os ciclos estudados. Os resultados estatísticos relacionados à coleta de dados encontram-se na Tabela 3.8. Os cálculos estatísticos foram em nível de probabilidade de 95%.

De maneira geral, o coeficiente de variação foi alto nas diferentes operações nas duas áreas de estudo. Durante tomada dos tempos, verificou-se que mesmo para aquelas operações que envolveram maior esforço amostral, ocorreram grandes variações de tempo nos últimos ciclos amostrados. Em termos práticos, os tempos foram irregulares.

Na floresta privada foram amostradas 9 jornadas de trabalho no corte, 6 no pré-arraste e 5 no arraste. Na floresta pública, foram amostradas 4 jornadas diárias no corte e 2 no arraste. Para a operação de corte na floresta pública, verificou-se que para a precisão requerida de 20 %, seriam necessários a coleta de, no mínimo, 70 ciclos ou aproximadamente 2,5 jornadas de trabalho.

**Tabela 3.8.** Resultados estatísticos para a amostragem dos tempos das operações.

| Estatística amostral          | Floresta privada |             |         | Floresta pública |         |
|-------------------------------|------------------|-------------|---------|------------------|---------|
|                               | Corte            | Pré-arraste | Arraste | Corte            | Arraste |
| Número de ciclos              | 211              | 159         | 42      | 44               | 93      |
| Tempo médio (min.)            | 18,7             | 7,7         | 10,6    | 29,7             | 4,7     |
| Desvio padrão (min.)          | 12,5             | 8,3         | 6,2     | 24,5             | 3,2     |
| Intervalo de confiança (min.) | ±1,7             | ±1,3        | ±1,9    | ±7,4             | ±0,7    |
| Coeficiente de variação       | 67,1%            | 107,6%      | 58,4%   | 82,4%            | 69,5%   |
| Erro amostral                 | 9,1%             | 16,9%       | 18,1%   | 25,1%            | 14,3%   |

#### *Floresta privada*

Ao total foram obtidos os tempos de 211 ciclos de corte, 159 ciclos de pré-arraste e 42 ciclos de arraste (Tabela 3.8). O arraste foi considerado como o mais dispendioso para aquisição de dados de tempos em virtude do difícil acompanhamento dos tratores *Skidders*.

Para o ciclo de corte, o erro obtido foi de 9,24 %, para o pré-arraste, o número de ciclos amostrados gerou um erro de 17,07 % e, para a operação de arraste, a coleta gerou um erro de 18,2 % (Tabela 3.8). Esses valores atenderam, assim, a suficiência amostral estabelecida como no máximo de 20 %.

### *Floresta pública*

Na operação de corte foram coletados 44 ciclos operacionais e na de arraste foram 93 ciclos. Considerando o erro máximo estipulado, a coleta dos ciclos do arraste atingiu erro amostral dentro desse limite estipulado, com 14,41 %, porém o erro amostral para a operação de corte foi de 24,86 % (Tabela 3.8). O alto erro encontrado no corte se deu em virtude de problemas de saúde com um dos funcionários e problemas mecânicos com motosserras de uma das equipes em coleta, além de incidente registrado com um dos membros da equipe de coleta durante às atividades. Esses fatores restringiram o registro de números expressivos de ciclos, mesmo assim, os dados de tempos do corte foram expostos e analisados.

#### 3.3.1.2. Tempos

##### *Floresta privada*

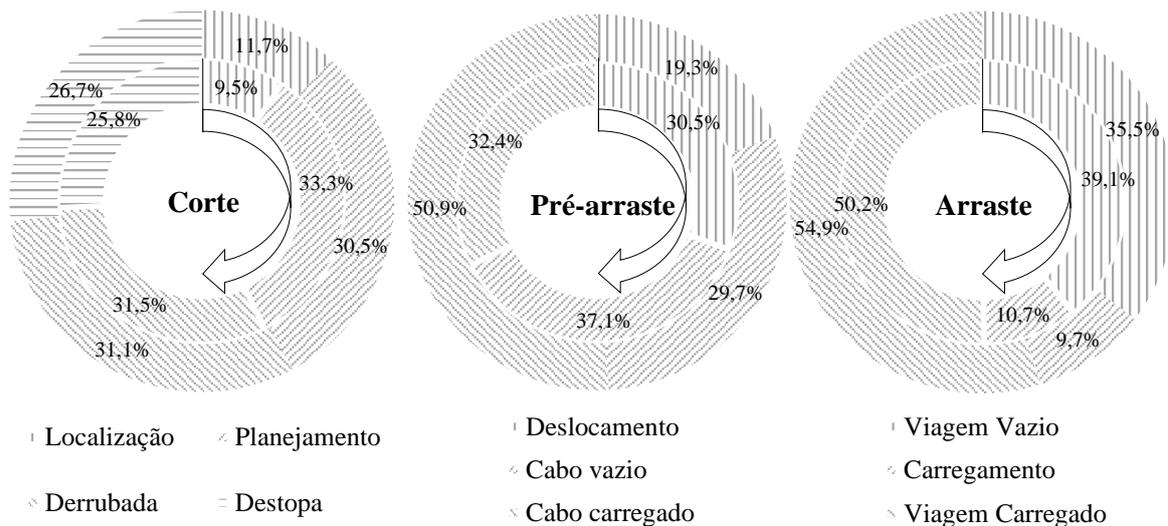
O tempo *normal* das operações de corte, pré-arraste e arraste foram de 14,4, 4,0 e 9,7 minutos, respectivamente (Figura 3.18). Sequencialmente, caso as operações fossem realizadas sem tempo de “espera” entre elas, uma árvore seria cortada e sua tora resultante seria colocada no pátio de estocagem em 28,0 minutos (tempo agregado). Portanto, esse foi o tempo desejado para essa sequência de operações (Tabela 3.9).

Considerando as tolerâncias incluídas no tempo *normal*, ou seja, adicionando o tempo das interrupções ocorridas nas observações de campo, o tempo *padrão* das operações de corte, pré-arraste e arraste foram de 16,3, 6,3 e 11,1 minutos, respectivamente. O tempo real das operações agregadas, ou seja, o tempo médio praticado para colocar uma tora no pátio foi de 33,5 minutos, caso não houvesse espera entre as operações (Tabela 3.9).

**Tabela 3.9.** Tempos dos ciclos e elementos operacionais.

| Ciclos<br>Elementos         | Corte |     |     |      | Pré-arraste |     |     | Arraste |     |     |
|-----------------------------|-------|-----|-----|------|-------------|-----|-----|---------|-----|-----|
|                             | Loc   | Pla | Der | Dest | Desl        | CV  | CC  | VV      | Car | VC  |
| Tempo normal (min)          | 1.4   | 4.8 | 4.5 | 3.7  | 1.2         | 1.5 | 1.3 | 3.8     | 1.0 | 4.9 |
| Tempo padrão (min)          | 1.9   | 5.0 | 5.1 | 4.3  | 1.2         | 1.9 | 3.2 | 3.9     | 1.1 | 6.1 |
| Tempo normal total (min)    | 14.4  |     |     |      | 4.0         |     |     | 9.7     |     |     |
| Tempo padrão total (min)    | 16.3  |     |     |      | 6.3         |     |     | 11.1    |     |     |
| Tempo normal agregado (min) |       |     |     |      | 28.1        |     |     |         |     |     |
| Tempo padrão agregado (min) |       |     |     |      | 33.5        |     |     |         |     |     |

Para os elementos do corte: Loc = localização; Pla = planejamento; Der = derrubada; Dest = destopa. Para os elementos do pré-arraste: Desl = deslocamento; CV = cabo vazio; CC = cabo carregado. Para os elementos do arraste: VV = viagem carregado; Car = carregamento; VC = viagem carregado.



**Figura 3.18.** Proporção dos tempos *normal* e *padrão* dos ciclos operacionais e elementos de corte, pré-arraste e arraste. O gráfico interno representa o tempo *normal* e o externo o tempo *padrão*. Texturas diferentes representam os elementos de cada ciclo operacional.

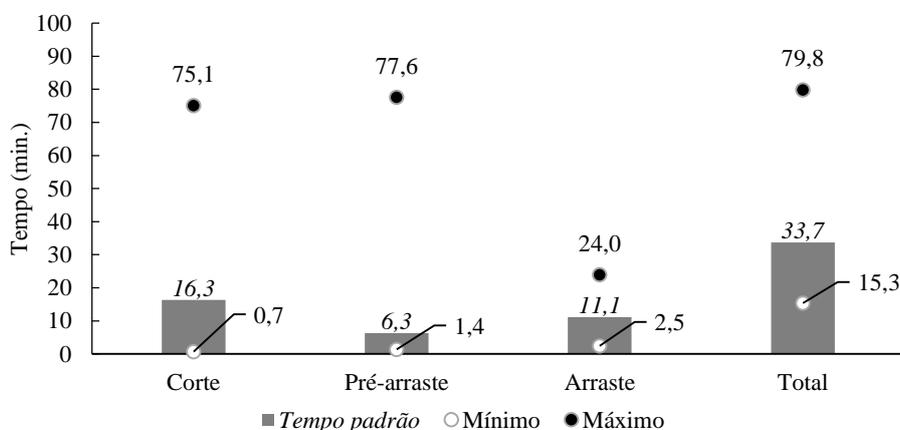
Comparando os tempos agregados das operações, o aumento em 19,21 % do tempo *padrão* em relação ao *normal*. A operação de pré-arraste foi a maior responsável por esse aumento em virtude do número elevado de paralisações comparado às outras, contribuindo com quase a metade desse acréscimo. O corte e o arraste contribuíram com aumento a um pouco mais da outra metade dos 19,21 %, com 6,76 % e 4,98 %, respectivamente.

Na operação de corte, o elemento do ciclo que demandou maior tempo foi a *derrubada*, com 31,1 % do tempo *padrão* total. No pré-arraste, o elemento mais oneroso em termos de tempo foi o *cabo carregado*, ou seja, a etapa de guinchamento da tora, com 50,9 % do total. Para o ciclo do arraste, o elemento *viagem carregada* foi a mais oneroso em tempo, representando 54,9 % do total.

Entre os ciclos operacionais estudados, as maiores variações em relação ao tempo médio foram observadas na operação de pré-arraste, seguidas dos ciclos de corte e arraste, respectivamente. A grande variação no tempo do pré-arraste foi motivada pelo alto tempo das paralizações, as quais apresentaram alta frequência de ocorrência e foram motivadas por grande diversidade de fatores. No corte, as atividades apresentaram tempos mais regulares e suas paralizações demandaram menores tempos, porém, diversos foram os fatores que as motivaram. O arraste apresentou o tempo de operação mais regular e sua variação foi muito mais influenciada pelas variações na distância de arraste (Figura 3.19).

Baseando-se na jornada de trabalho de nove horas diárias adotada pela empresa, foram abatidas pela operação de corte, em média, cerca 33 árvores. No pré-arraste foram guinchadas cerca de 85 toras e no arraste cerca de 49 toras. Utilizando a força de trabalho

empregada pela empresa, com seis equipes de corte, três de pré-arraste e três de arraste, foram exploradas cerca de 198 árvores, 255 toras e 264 toras (multiplicado pela a média de toras por ciclo), respectivamente.



**Figura 3.19.** Valores mínimo e máximo do tempo *padrão* dos ciclos operacionais e para toda a exploração (total).

#### Floresta pública

Os tempos *normal* e *padrão* do ciclo operacional do corte foram de 22,3 e 27,1 minutos, respectivamente. Para o arraste, os tempos *normal* e *padrão* do ciclo operacional foram de 5,2 e 5,7 minutos, respectivamente. Com esses valores, caso as operações ocorressem ao mesmo tempo, considerando o tempo desejado (*normal*), uma árvore seria abatida e uma de suas toras seria colocada no pátio de estocagem de madeira em 27,6 minutos, enquanto que, na situação real (*padrão*) isso aconteceu em 32,8 minutos (Tabela 3.10).

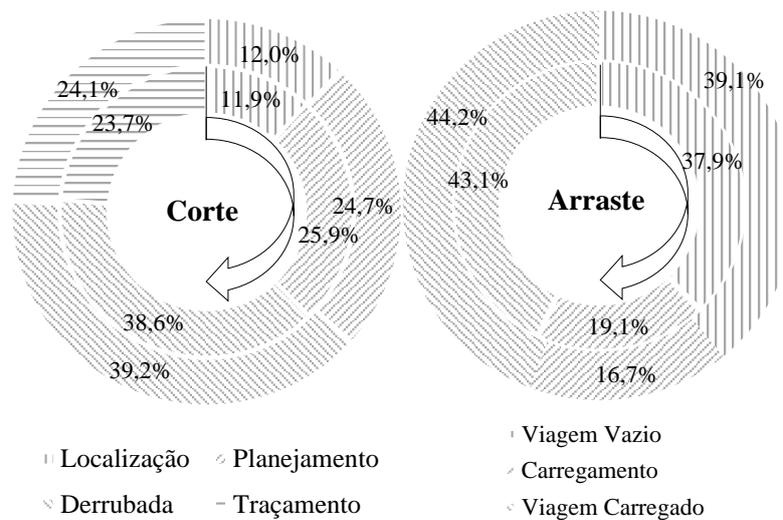
**Tabela 3.10.** Tempos dos ciclos e elementos operacionais.

| Ciclos                      | Corte     |      |     |      | Arraste |     |     |     |
|-----------------------------|-----------|------|-----|------|---------|-----|-----|-----|
|                             | Elementos | Loc  | Pla | Der  | Traç    | VV  | Car | VC  |
| Tempo normal (min)          |           | 3,3  | 6,7 | 10,6 | 6,5     | 2,1 | 0,9 | 2,4 |
| Tempo padrão (min)          |           | 2,6  | 5,8 | 8,6  | 5,3     | 2,2 | 1,1 | 2,5 |
| Tempo normal total (min)    |           | 22,3 |     |      |         | 5,3 |     |     |
| Tempo padrão total (min)    |           | 27,1 |     |      |         | 5,7 |     |     |
| Tempo normal agregado (min) |           | 27,6 |     |      |         |     |     |     |
| Tempo padrão agregado (min) |           | 32,8 |     |      |         |     |     |     |

Para os elementos do corte: Loc = localização; Pla = planejamento; Der = derrubada; Traç = traçamento. Para os elementos do arraste: VV = viagem carregado; Car = carregamento; VC = viagem carregado.

Em relação aos tempos *padrão* dos elementos do ciclo de corte, o elemento da *derrubada* demandou a maior quantidade de tempo nesse ciclo, com 10,6 minutos, correspondendo a 39,2 %. No arraste, o elemento *viagem carregado* tomou 44,2 % ou

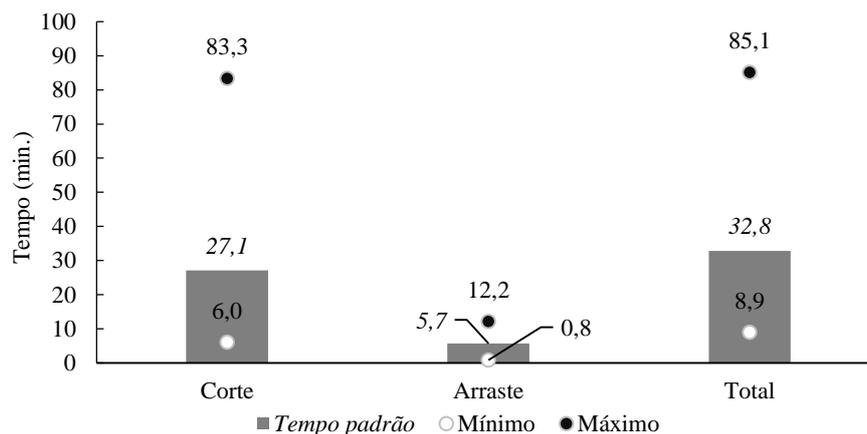
2,5 minutos do tempo *padrão* total para o ciclo (Figura 3.20). Da mesma maneira da floresta privada, esses elementos foram os mais demorados.



**Figura 3.20.** Proporção dos tempos *normal* e *padrão*, dos ciclos operacionais e elementos de corte, pré-arraste e arraste. O gráfico interno representa o tempo *normal* e o externo o tempo *padrão*. Texturas diferentes representam os elementos de cada ciclo operacional.

No ciclo operacional do corte houve o acréscimo de 21,52 % do tempo *padrão* em relação ao *normal*. Esse comportamento foi mais fortemente influenciado pelo elemento *derrubada* e *traçamento* devido ao grande tempo de interrupções. No ciclo do arraste, o aumento em relação ao tempo *normal* foi de 7,54%, motivado pelo tempo do *carregamento*.

Segundo a coleta dos tempos em campo, no ciclo de corte foi registrado uma variação em relação ao tempo *padrão* de 83,11 %. No arraste o coeficiente de variação foi de 41,15 %. O tempo agregado teve variação de 68,66 % (Figura 3.21). A variação encontrada no tempo agregado (total) foi consequência da insuficiência amostral do corte (24,86 %) e do alto tempo gasto com interrupções nessa operação, principalmente nos elementos *derrubada* e *traçamento*. Baseando-se numa jornada de trabalho diária de oito horas empregada na exploração e nos tempos *padrões*, a operação de corte abateu cerca de 53 árvores (três equipes) e a de arraste (uma equipe) colocou no pátio de estocagem cerca de 84 toras.

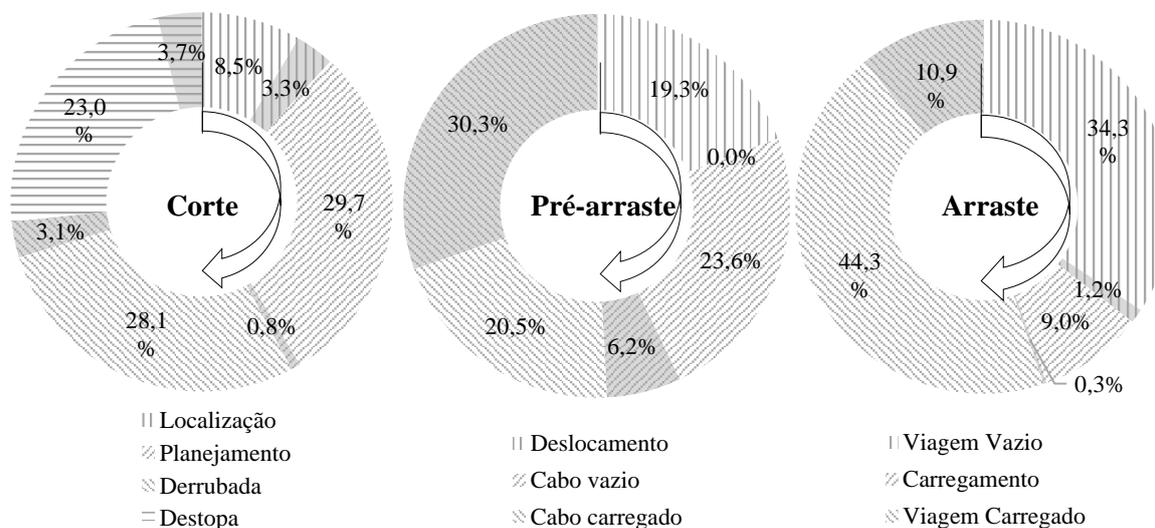


**Figura 3.21.** Valores mínimo e máximo do tempo *padrão* dos ciclos operacionais e para toda a exploração (total).

### 3.3.1.3. Interrupções

#### *Floresta privada*

A operação de corte apresentou 10,9 % do seu tempo *padrão* com interrupções, correspondendo a 1,8 minuto. No pré-arraste as interrupções tomaram 36,6 % ou 2,3 minutos de seu tempo *padrão*, enquanto que, no arraste, 12,4 % foram tomados por interrupções, o que representou 1,4 minuto (Figura 3.22).



**Figura 3.22.** Proporção de tempos dos elementos dos ciclos operacionais de corte, pré-arraste e arraste. Os elementos de cada ciclo são representados por texturas de preenchimento diferentes. Interrupções são representadas na mesma textura do elemento e com tonalidade escura. A sequência dos elementos em cada ciclo é indicada conforme a seta no centro das figuras.

Dentre as interrupções no ciclo operacional de corte, o maior tempo de paralização aconteceu no elemento *destopa*, representando 34,0 % e 3,7 % do total do tempo das interrupções e do ciclo, respectivamente. No ciclo de pré-arraste, o elemento *cabo carregado*

representou 83,0 % das interrupções registradas e 30,3 % do tempo *padrão* total do ciclo. Não foram observadas interrupções durante o *deslocamento*. O elemento *viagem carregado* representou 87,8 % das interrupções e 10,9 % do ciclo de arraste. Para verificação dos fatores motivadores das interrupções, esses foram divididos em técnicos, ambientais e diversos. Para cada interrupção observada, o fator motivador foi registrado (Tabela 3.11).

**Tabela 3.11.** Fatores motivadores de interrupções registradas.

| Interrupções                        |       |              |       |                          |       |
|-------------------------------------|-------|--------------|-------|--------------------------|-------|
| Técnicos                            | Ciclo | Ambientais   | Ciclo | Diversos                 | Ciclo |
| Abastecimento de motosserra         | C/P   | Precipitação | C/P/A | Refeições*               | C/P/A |
| Afiação de motosserra               | C     |              |       | Necessidades humanas     | C/P/A |
| Engate de sabre                     | C     |              |       | Demandas dos manejadores | C/P/A |
| Troca de correntes                  | C     |              |       | Acidentes                | C/P/A |
| Ajustes de correntes                | C     |              |       | Ataque de animais        | C/P   |
| Concerto de cabos                   | P     |              |       |                          |       |
| Desengate de toras                  | P/A   |              |       |                          |       |
| Obtenção de toras extras            | A     |              |       |                          |       |
| Redirecionamento de toras           | P     |              |       |                          |       |
| Abastecimento de tratores           | P/A   |              |       |                          |       |
| Espera entre atividades             | A     |              |       |                          |       |
| Reposição de peças                  | C/P/A |              |       |                          |       |
| Regularização de trilhas de arraste | A     |              |       |                          |       |

\* Paralisação para refeição (“merenda”) fora do horário destinado ao almoço.

C = corte; P = pré-arraste; A = arraste

No ciclo operacional de corte, as interrupções foram motivadas principalmente por fatores técnicos, o qual representou 69,0 % das interrupções considerando todos os elementos. Os fatores ambientais e os diversos, representados por 7,5 % e 23,5 %, respectivamente. Os fatores técnicos, ambientais e diversos registrados na operação de pré-arraste representaram 82,4 %, 0,5 % e 17,2%, respectivamente. No arraste, apenas fatores técnicos e diversos foram registrados, esses com 83,3% e 16,7%, respectivamente.

No corte, as interrupções ocorreram como maior demanda de tempo nos elementos *derrubada* e *destopa*, motivados principalmente pelo uso de cunhas para a derrubada de árvores, engates do sabre da motosserra, abastecimento e afiação de corrente. Poderia não ser considerada como interrupção no elemento *derrubada*, a utilização de cunhas para auxiliar o corte das árvores, sendo essa uma das técnicas empregadas. Entretanto, 72,2 % das árvores cortadas não foram necessárias a sua utilização. Dessa forma, tratou-se o uso de cunhas como interrupção.

No pré-arraste, as interrupções foram mais recorrentes no elemento *cabo carregado* e essas motivadas principalmente pelo o redirecionamento de toras. Constatações de campo

indicaram que, toras mais distantes em relação a trilha, ou seja, uma maior distância de guinchamento gerou maiores interrupções.

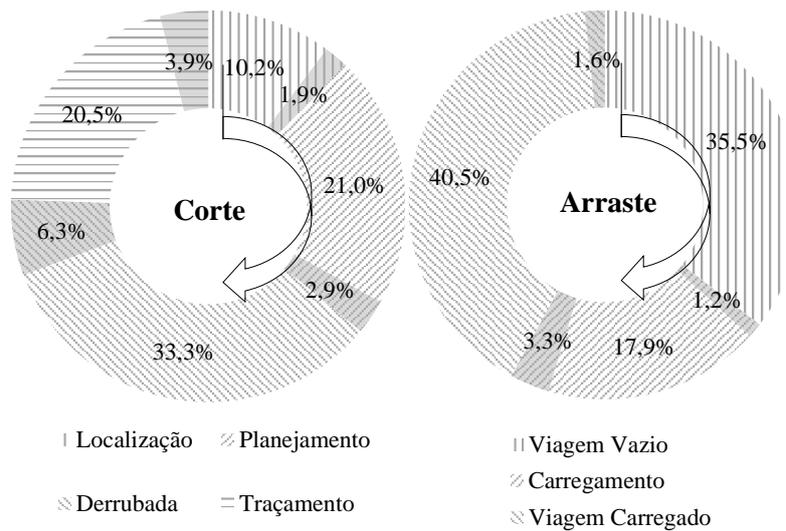
Para o ciclo do arraste, as interrupções ocorreram devido à regularização de trilhas de arraste no elemento *viagem vazio*, desengate de toras durante o içamento e a viagem carregada e para o carregamento de toras extras. Essa última, poderia não ser considerada uma interrupção, uma vez que uma segunda tora foi obtida durante o elemento *viagem carregado*, gerando uma maior produtividade por ciclo. No entanto, foi considerada pois houve paralização da atividade.

As frequências de ocorrências de interrupções durante os registros foram de 24,3 %, 55,1 % e 66,7 % nas operações de corte, pré-arraste e arraste, respectivamente. Considerando a frequência da ocorrência das interrupções e sua influência no tempo, a operação de pré-arraste apresentou-se como a mais onerosa. Em uma simples projeção da frequência de interrupções, para cada 10 ciclos de corte, pré-arraste e arraste, 2,43, 5,51 e 6,67 ciclos teriam interrupções.

Dos tempos totais registrados com as interrupções na operação de corte e, por meio da razão com o tempo *padrão*, seriam possíveis abaterem cerca de 15 árvores. Na mesma lógica, no pré-arraste seriam guinchadas cerca de 62 toras e, no arraste, poderiam ser colocadas no pátio cerca de 4 toras. Em função das interrupções registradas e tomando como referência a jornada de trabalho e o tempo *padrão* de cada ciclo operacional, para cada dia deixariam de ser exploradas pelo corte cerca de 4 árvores, 49 toras pelo pré-arraste e 7 toras pelo arraste.

### *Floresta pública*

A operação de corte apresentou 17,7 % do seu tempo *padrão* com interrupções, correspondendo a 4,8 minutos. No arraste, 6,6 % foram tomados por interrupções, o que representou 0,35 minuto (Figura 3.23). Dentre as interrupções no ciclo operacional de corte, o maior tempo de paralização aconteceu no elemento *derrubada*, representando 41,7 % e 6,3 % d tempo total das interrupções e do do ciclo, respectivamente. O elemento *carregamento* representou 52,8 % das interrupções e 3,3 % do ciclo total do arraste.



**Figura 3.23.** Proporção dos tempos dos elementos dos ciclos operacionais de corte, pré-arraste e arraste. Os elementos de cada ciclo são representados por texturas de preenchimento diferentes. Interrupções são representadas na mesma textura do elemento, porém, com tonalidade escura. A sequência dos elementos em cada ciclo é indicada conforme a seta no centro das figuras.

Para verificação dos fatores motivadores das interrupções, esses foram divididos em técnicos, ambientais e diversos. Para cada interrupção observada, o fator motivador foi registrado (Tabela 3.12). No ciclo operacional de corte, 74,6 % das interrupções foram causadas por fatores técnicos e 25,4 % por fatores diversos. No período de coleta não foram registrados fatores ambientais como interrupções. No ciclo de arraste as interrupções foram motivadas em 89,2% por fatores técnicos e 10,8 % por fatores diversos.

**Tabela 3.12.** Fatores motivadores de interrupções registradas.

| Interrupções                        |       |                      |       |
|-------------------------------------|-------|----------------------|-------|
| Técnicos                            | Ciclo | Diversos             | Ciclo |
| Abastecimento de motosserra         | C     | Refeições            | C/A   |
| Afiação de motosserra               | C     | Necessidades humanas | A     |
| Engate de sabre                     | C     | Saúde                | C     |
| Troca de correntes                  | C     |                      |       |
| Ajustes de correntes                | C     |                      |       |
| Uso de cunha                        | C     |                      |       |
| Concerto de cabos                   | A     |                      |       |
| Desengate de toras                  | A     |                      |       |
| Redirecionamento de toras           | A     |                      |       |
| Reposição de peças                  | C/A   |                      |       |
| Regularização de trilhas de arraste | A     |                      |       |

C = corte; A = arraste

No corte, as interrupções se deram principalmente nos elementos *derrubada* e *traçamento*. Na *derrubada*, os principais motivos foram o uso de cunha no auxílio ao corte,

afiação, abastecimento e problemas mecânicos de motosserras. Vale destacar que, 46,6 % dos ciclos coletados ocorreram o corte de árvores auxiliado pelo uso de cunhas. No *traçamento*, engate do sabre, afiação e abastecimento foram os mais recorrentes.

As interrupções no arraste ocorreram principalmente no elemento *carregamento* e na *viagem carregado*. No *carregamento*, um operador em solo realizou as atividades de engate do cabo do *skidder* à tora e orientou o operador do trator a iniciar o arraste (*viagem carregado*). O problema mais comum foi o redirecionamento das toras com a mudança do ponto de conexão dessa à tora. No elemento *viagem carregado*, problemas relacionados ao conector do cabo, ocasionando o desengate da tora, foi o mais comum.

A frequência das interrupções registradas durante a operação de corte foi de 66,7%. Portanto, mais da metade dos ciclos registrados no corte apresentaram algum tipo de interrupção, essas ocorrendo principalmente nos elementos de *derrubada* e *traçamento*. Em termos de tempo e considerando um erro de 24,86 %, a cada 10 árvores, mais de 6 delas seriam cortadas com algum tipo de interrupção. Isso demonstrou a irregularidade ou heterogeneidade das atividades inerentes ao ciclo. Diferentemente na operação de arraste, as interrupções mostraram uma frequência de 17,2 % em relação ao total registrado, demonstrando uma maior fluidez das atividades envolvidas nessa operação.

Baseando-se na jornada de trabalho de oito horas diárias empregada pelos manejadores da área e nos tempos das interrupções, deixaram de serem cortadas cerca de 4 árvores por equipe a cada dia trabalhado. Considerando a força de trabalho do corte com três equipes em campo, cerca de 12 árvores não foram exploradas a cada dia em função de interrupções. No arraste, das 84 toras exploradas por dia trabalho, cerca de 6 toras a mais poderiam ser colocadas no pátio se não ocorressem interrupções.

### **3.3.2. Desempenho operacional**

#### **3.3.2.1. Eficiência operacional**

A base teórica para o cálculo da eficiência operacional determinou que os cálculos sejam realizados tomando-se as horas efetivamente trabalhadas e as paralisações ocorridas, sejam elas de qualquer natureza. Conforme os métodos utilizados para a obtenção dos tempos *padrão*, foram registrados os tempos trabalhados e as interrupções operacionais (técnica, ambiental e diversas) individualmente, não computando paralisações destinadas ao almoço, transporte de funcionários e deslocamentos até as áreas em exploração.

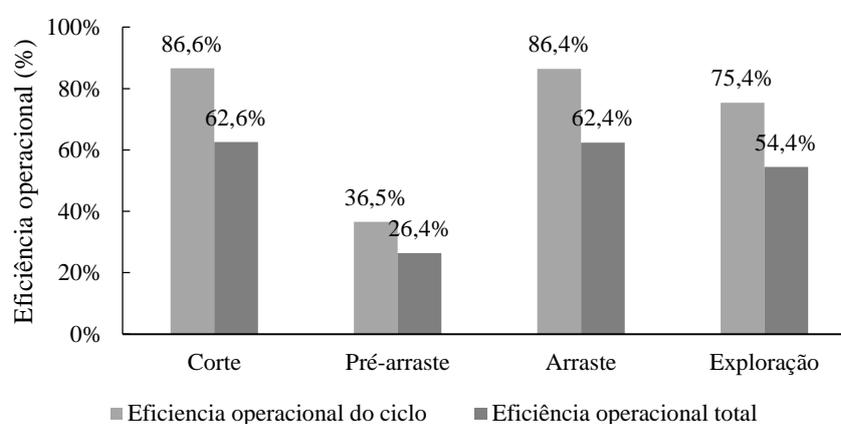
Uma vez que foram registrados os tempos individuais (ciclos) das atividades e suas interrupções apenas, fez-se necessário chegar a um fator de correção o qual repassou uma

proporção dos tempos do almoço, transporte e deslocamento para o tempo do ciclo (tempo padrão, sendo calculado pela razão entre a soma desses tempos e a jornada de trabalho diária de nove horas. Assim, multiplicou-se a eficiência operacional do ciclo a partir dos tempos *padrão* pelo fator de correção.

### *Floresta privada*

A eficiência operacional do ciclo obtida para as operações de corte, pré-arraste e arraste foi de 86,6, 36,5 e 86,4 %, respectivamente. Claramente, a operação de pré-arraste apresentou a mais baixa eficiência. Essa baixa eficiência foi em virtude de sua heterogeneidade no tempo das atividades, ou seja, alta frequência e elevado tempo das interrupções (Figura 3.24).

Computando os tempos do almoço, transporte e acesso, somados 150 minutos, as eficiências operacionais do corte, pré-arraste e arraste foram de 62,6, 26,4 e 62,4 %, respectivamente (Figura 3.24). Apesar da baixa eficiência operacional encontrada no pré-arraste, quando considerado os tempos agregados de todas as operações, foram obtidas as eficiências para a exploração como um todo, sendo 75,4 % envolvendo apenas os tempos e interrupções nos ciclos e 54,4 % incluindo paralisações com almoço, transporte e acesso (Figura 3.20).

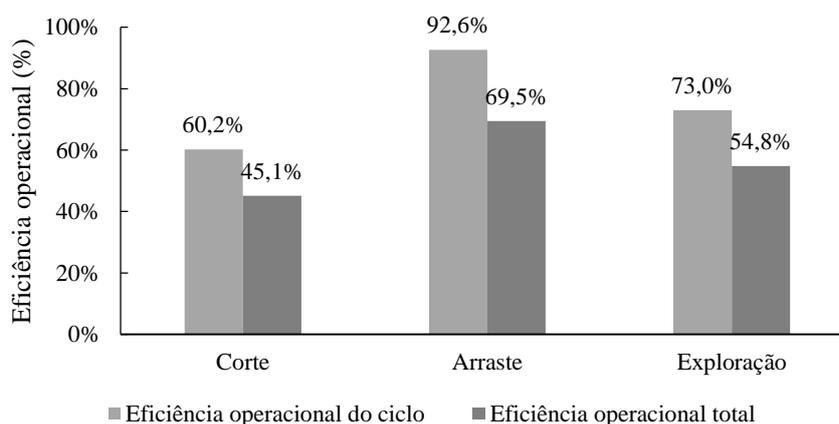


**Figura 3.24.** Valores de eficiência operacional obtidos na floresta privada.

### *Floresta pública*

As eficiências operacionais do ciclo para as operações de corte e arraste foram de 60,2 % e 92,6 %, respectivamente (Figura 3.25). A menor eficiência operacional obtida para o corte retratou a irregularidade nas atividades, sendo essas influenciadas pelas interrupções registradas principalmente nos elementos *derrubada* e *traçamento*.

Incluindo o tempo de transporte de funcionários (cidade/floresta/cidade), registrado em 50 minutos, refeições de 60 minutos e acessos à floresta de 10 minutos, a eficiência operacional total reduziu a 45,1 % para o corte e 69,5 % para o arraste (Figura 3.21). Essa eficiência pode ser considerada a real. Unindo os tempos das atividades e interrupções de todas as operações, chegaram-se às eficiências operacionais da exploração, de 73,0 % para os ciclos e 54,8 % considerando as paralisações com almoço, transporte e acesso.



**Figura 3.25.** Valores de eficiência operacional obtidos na floresta pública.

### 3.3.2.2. Produtividade

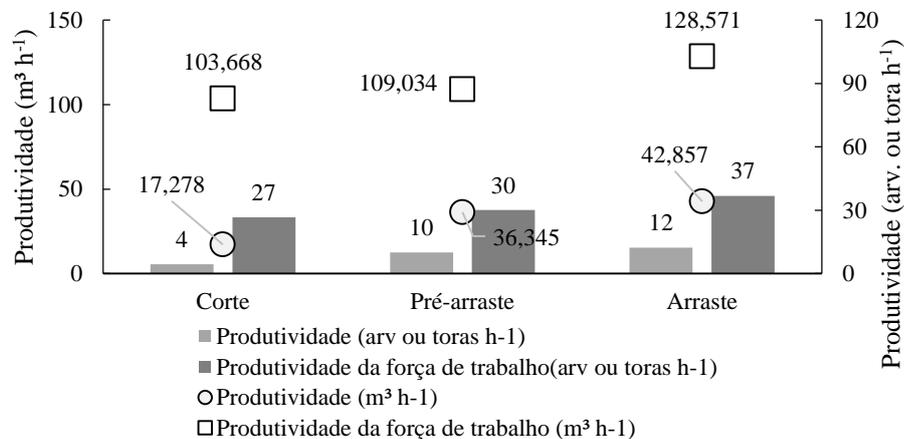
De posse do número da cadeia de custódia registrado a cada árvore ou tora explorada, independente da operação, foram obtidos os valores de volume provenientes de dados da etapa de romaneio (após o arraste) e relacionados ao tempo total de cada ciclo operacional. Dessa maneira, encontraram-se os valores de produtividade para a exploração baseando-se nos tempos *padrão* das operações. Além do volume, chegou-se a produtividade em relação ao número de árvores ou toras exploradas.

#### *Floresta privada*

Para o corte, houve a necessidade de verificar o volume total do fuste, uma vez que nas operações seguintes, esse mesmo fuste pode ter sido seccionado em mais de duas toras. Como nem sempre foi possível registrar os tempos da mesma árvore (e suas toras) em todas as operações por questões de tempo entre operações e logística, foi necessário verificar o volume real da árvore cortada a partir de todas as suas toras geradas. O volume da árvore e suas toras basearam-se, assim, na planilha de romaneio da empresa.

Dessa maneira, as produtividades encontradas para as operações de corte, pré-arraste e arraste foram de 17,278 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, 36,345 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> e 42,857 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 3.26). Levando em consideração a força de trabalho empregada durante a

exploração, com seis equipes de corte, três de pré-arraste e três de arraste, as produtividades geradas foram de 103,668 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, 109,034 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> e 128,571 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Agregando os tempos e os volumes de todas as operações, a produtividade da exploração (toras colocadas nos pátios) foi de 24,593 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.



**Figura 3.26.** Produtividades das operações estudadas na floresta privada.

Vale destacar que, foram realizados arrastes de mais de uma tora por viagem. Isso ocorreu quando duas ou mais toras de porte técnico adequado para o arraste encontraram-se no mesmo local ou então, sendo essas acopladas ao longo da trilha no sentido da *viagem carregada*. A média encontrada de toras arrastadas por ciclo foi de 1,8, sendo que, 28,57, 61,90 e 9,53 % dos ciclos foram realizados com uma, duas e três toras, respectivamente.

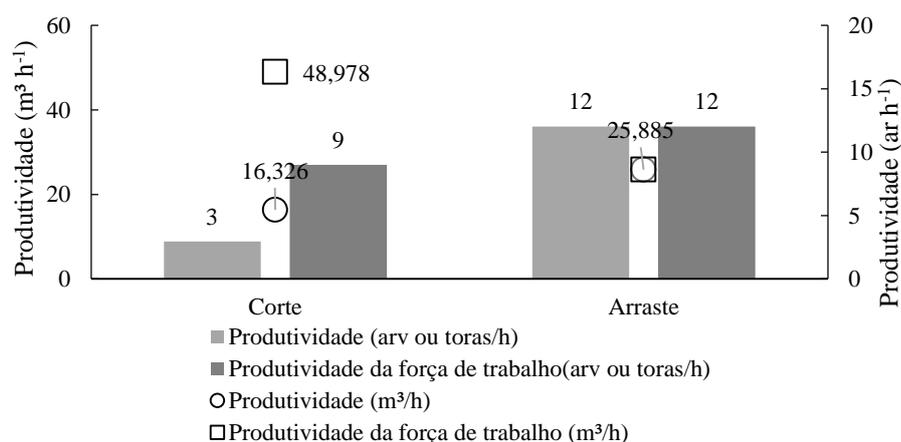
As produtividades em relação ao número de árvores ou toras exploradas por hora, foram de, aproximadamente, 4 árvores pela operação de corte e 36 e 12 toras pelas operações de pré-arraste e arraste, respectivamente. Considerando a força de trabalho, cerca de 27 árvores por hora foram exploradas pelo corte e, 109 e 37 toras pelo pré-arraste e arraste, respectivamente. Agregando as produtividades das operações, foram exploradas a cada uma hora trabalhada, 53 e 172 árvores ou toras considerando uma equipe de cada operação e a força de trabalho, respectivamente (Figura 3.26).

### *Floresta pública*

Os manejadores da floresta pública disponibilizaram apenas o volume total e a respectiva quantidade de árvores exploradas na UPA. Para que a produtividade do corte fosse encontrada, o volume médio por árvore e o número de árvores registradas na coleta foram utilizados diretamente. Porém, para o arraste, foi necessário utilizar esse volume médio e dividi-lo pelo o número médio de toras seccionadas por árvore, registrado durante a coleta

dessa operação. Assim, a média foi de 3 toras seccionadas por árvore e volume médio por árvore foi de 7,365 m<sup>3</sup>, conseqüentemente, o volume médio por tora foi de 2,455 m<sup>3</sup>.

As produtividades encontradas para as operações de corte e arraste foram de 16,326 e 25,885 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente. Considerando a força de trabalho com três equipes de corte, a produtividade do corte foi de 48,978 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 3.27) e, a cada uma hora trabalhada, o corte explorou 3 árvores, aproximadamente. Considerando a força de trabalho, 9 árvores foram exploradas por hora. No arraste, 12 toras foram colocadas no pátio a cada uma hora trabalhada.



**Figura 3.27.** Produtividades das operações estudadas na floresta privada.

### 3.3.3. Qualidade da exploração

#### 3.3.3.1. Danos ao dossel

##### *Floresta privada*

Dentre o total de 211 observações, foram excluídas, por exemplo, as com três medidas antes e quatro após. Esse tipo de observação foi chamado de incompleta. Além disso, não foram incorporadas dentre as 89, as que tiveram diferença negativa, ou seja, após o corte, a cobertura foi maior, não retratando as condições reais observadas em campo. Esse tipo de comportamento pode ser explicado pelo diferente posicionamento das quatro medidas antes e após, além de diferenças nos angulos de medição.

O erro encontrado das 89 observações foi calculado em função da diferença individual. Assim, o erro amostral foi de 10,04%. A média da cobertura de dossel antes do corte foi de 85,7 % e, após o corte a média encontrada foi de 71,9 %. Os resultados da ANOVA (*one-way*) mostraram que houve diferença significativa entre essas médias, constatando um impacto de 13,8 % na cobertura do dossel gerado pela operação corte (Tabela 3.13).

**Tabela 3.13.** Análise de variância para impactos no dossel na floresta privada.

| <b>Fonte de variação</b> | <b>G.L</b> | <b>Q.M</b> | <b>f</b> | <b>f<sub>tab</sub></b> | <b>Valor-P</b> |
|--------------------------|------------|------------|----------|------------------------|----------------|
| Cobertura de dossel      | 1          | 8446,45    | 72,58    | 3,89                   | 0,00           |
| Resíduo                  | 176        | 116,38     |          |                        |                |
| Total                    | 177        |            |          |                        |                |

$F_{tab} = F$  tabelado

Extrapolando esses resultados para a área efetiva do bloco de exploração estudado, de 956,58 ha, a cobertura natural do dossel (antes de corte) recobriu uma área de 819,79 ha. O dano de 13,8 % no dossel aumentou, portanto, a iluminação no estrato inferior da floresta em 112,94 ha ou seja, a área recoberta pelo dossel após o corte das árvores diminui para 706,85 ha. Esse aumento na luminosidade da floresta foi inferior ao realmente observado em campo, uma vez que a abertura medida refletiu apenas a projeção da copa sobre o solo, excluindo o dano causa durante a trajetória da queda da árvore.

#### *Floresta pública*

Ao total foram coletadas 18 observações completas antes e após o corte de árvores. O erro amostral gerado foi de 39,01 %. Considerando o erro admitido de 20 %, seria necessária a coleta mínima de 76 observações, segundo o cálculo utilizado para o tamanho da amostra.

Mesmo assim, foram encontradas uma cobertura de dossel antes e após o corte de 89,9 % e 80,5 %, respectivamente. Por meio da análise de variância, com nível de probabilidade 95 % de significância, constatou-se diferença significativa entre elas, mesmo que sua significância tenha sido baixa (Tabela 3.14).

**Tabela 3.14.** Análise de variância para impactos no dossel na floresta pública.

| <b>Fonte da variação</b> | <b>G.L.</b> | <b>Q.M.</b> | <b>f</b> | <b>f<sub>tab</sub></b> | <b>Valor-P</b> |
|--------------------------|-------------|-------------|----------|------------------------|----------------|
| Cobertura de dossel      | 1           | 809,23      | 7,38     | 4,13                   | 0,01           |
| Resíduo                  | 34          | 109,57      |          |                        |                |
| Total                    | 35          |             |          |                        |                |

$F_{tab} = F$  tabelado

Extrapolando a cobertura antes do corte para UPA estudada (UPA-3), com área de 488,29 ha, área recoberta naturalmente (antes do corte) foi de 439,41 ha. Sendo o dano após o corte de 9,4 %, a área iluminada no estrato inferior da floresta aumentou em 41,63 ha. Assim como observado na floresta privada, esse dado medido foi inferior ao real devido à trajetória de queda das árvores.

### 3.3.3.2. Danos ao solo

Os danos ao solo causados pela exploração foram retratados nesse estudo pela densidade do solo e pela resistência a penetração. Na floresta privada, esses parâmetros foram obtidos de Bomfim (2013) em estudo conduzido na mesma UPA do presente estudo e utilizando os mesmos métodos aqui adotados. Na floresta pública esses parâmetros foram obtidos em campo.

#### *Floresta privada*

Segundo Bomfim (2013), nas parcelas permanentes da área florestal isenta da exploração, localizada próxima à UPA estudada, os valores médios de DS e RPS foram de 1,793 g cm<sup>3</sup> e 2,63 MPa, respectivamente. Na área explorada, DS e RPS os valores médios encontrados foram de 1,697 g cm<sup>3</sup> e 2,25 MPa, respectivamente. Os valores desse estudo foram apresentados na Tabela 3.15.

**Tabela 3.15.** Resultados dos parâmetros de danos ao solo encontrados nas parcelas permanentes das áreas explorada e não explorada e suas diferenças significativas de média.

| Amostra       | Profundidade | Parâmetros   |             | Teste de médias |     |
|---------------|--------------|--------------|-------------|-----------------|-----|
|               |              | DS           | RPS         | DS              | RPS |
| Não explorada | 0-10         | 1,730        | 2,35        |                 |     |
|               | 10-30        | 1,820        | 2,87        | a               | a   |
|               | 30-50        | 1,830        | 2,68        |                 |     |
| <b>Média</b>  |              | <b>1,793</b> | <b>2,63</b> |                 |     |
| Explorada     | 0-10         | 1,650        | 1,44        |                 |     |
|               | 10-30        | 1,730        | 2,60        | b               | a   |
|               | 30-50        | 1,710        | 2,70        |                 |     |
| <b>Média</b>  |              | <b>1,697</b> | <b>2,25</b> |                 |     |

Adaptado de Bomfim (2013). As letras a e b representam o contraste de médias em nível de probabilidade de 95 %. Letras iguais entre amostras não apresentam diferença significativa entre as médias.

Os resultados demonstraram que a densidade do solo foi maior na área não explorada, contrariamente ao esperado, uma vez que uma alta densidade reflete um maior estado de compactação do solo, que seria proveniente da ação da exploração. Esse comportamento, no entanto, foi explicado por questões físicas do solo na área não explorada, caracterizada por uma maior quantidade no teor de argila, essa naturalmente apresentando uma maior densidade (BOMFIM, 2013).

Entre profundidades, para ambas as áreas, verificou-se o aumento da densidade, embora estatisticamente não significativo. As densidades do solo são geralmente mais altas em camadas mais profundas, devido aos menores teores de matéria orgânica, à menor

agregação do solo, à menor quantidade de raízes e à compactação causada pelas camadas mais superficiais do solo. Adicionalmente, esse comportamento pode ter sido em virtude do processo natural de formação do solo, com deposição de argila ou materiais coloidais, os quais ocupam espaços porosos e aumentam, assim, a densidade do solo (BOMFIM, 2013; BRADY; WEIL, 2008; LUIZÃO, 1989).

Em relação a RPS, entre as áreas exploradas (floresta remanescente) e não exploradas não houve diferença significativa entre elas. Esse fato demonstrou que não houve danos significativos causado pelas atividades de exploração. Adicionalmente, observou-se o aumento da resistência do solo em relação ao aumento da profundidade (BOMFIM, 2013).

Quando verificados os valores de RPS em trilhas de arraste e pátios de estocagem, constatou-se que as RPS foram superiores aos das parcelas permanentes exploradas e não exploradas. Em trilhas de arraste, houve diferença significativa de RPS entre o centro da trilha e as faixas de rodagem (local onde as rodas do *skidder* passaram), sendo no centro da trilha os menores valores encontrados. Em média, a RPS nas faixas de rodagem foi de 3,45 MPa e no centro de 2,46 MPa. Esse último valor foi semelhante ao encontrado nas parcelas permanentes. As profundidades de 0 a 5 cm e de 40 a 45 cm apresentaram as maiores RPS (BOMFIM, 2013).

Em pátios de estocagem, a RPS foi superior a todas as outras áreas (parcelas permanentes e trilhas). Os valores maiores da RPS de pátios foram encontrados entre as camadas de 0 a 10 cm, chegando a 6,00 MPa. Geralmente, os valores de RPS foram superiores na porção do pátio às margens da estrada, explicadas pela alta movimentação de máquinas RPS (BOMFIM, 2013).

### *Floresta pública*

Os valores encontrados de DS para as parcelas permanentes das áreas explorada e não explorada estão apresentados na Tabela 3.16. Baseando-se na análise de variância fatorial, notou-se que não houve diferença significativa nas profundidades e não houve interação entre profundidade e UPAs. No entanto, foi observado diferença significativa entre as UPAs (Tabela 3.17).

A média de DS para a área não explorada foi de  $1,185 \text{ g cm}^{-3}$  e para a área explorada de  $1,311 \text{ g cm}^{-3}$ . Esse resultado revelou que houve um aumento de DS na UPA01 devido as atividades de exploração, provavelmente pela ação de máquinas utilizadas no arraste, movimentação de toras e/ou quedas de árvores. Por serem áreas muito próximas e visualmente muito semelhantes em termos de solo e vegetação, acreditou-se na influência

das atividades na densidade do solo. Adicionalmente, não houve registro de precipitações durante o período de coleta, o que poderia interferir nos resultados.

**Tabela 3.16.** Resultado de DS para as parcelas permanentes entre UPAs

| <b>Densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>)</b> |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Área explorada (UPA01)                      |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Parcela                                     | 1       |       |       | 2     |       |       | 3     |       |       |       |
| Repetição                                   | 1       | 2     | 3     | 1     | 2     | 3     | 1     | 2     | 3     |       |
| Profundidade (cm)                           | 0-10    | 1,498 | 1,307 | 1,250 | 1,025 | 1,142 | 0,974 | 1,278 | 1,514 | 1,434 |
|   | 10-30   | 1,465 | 1,503 | 1,194 | 1,048 | 1,219 | 1,188 | 1,438 | 1,425 | 1,384 |
|   | 30-50   | 1,521 | 1,510 | 1,274 | 1,263 | 1,194 | 0,992 | 1,403 | 1,363 | 1,585 |
| Média por parcela                           | 1,391   |       |       | 1,116 |       |       | 1,425 |       |       |       |
| Média por UPA                               | 1,311 a |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Área não explorada (UPA03)                  |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Parcela                                     | 1       |       |       | 2     |       |       | 3     |       |       |       |
| Repetição                                   | 1       | 2     | 3     | 1     | 2     | 3     | 1     | 2     | 3     |       |
| Profundidade (cm)                           | 0-10    | 1,223 | 1,017 | 1,371 | 1,014 | 1,426 | 1,143 | 1,065 | 1,160 | 1,304 |
|   | 10-30   | 1,243 | 1,226 | 1,265 | 1,143 | 1,143 | 1,229 | 1,195 | 1,211 | 1,305 |
|   | 30-50   | 1,124 | 1,153 | 1,267 | 1,147 | 1,065 | 1,164 | 1,059 | 1,099 | 1,224 |
| Média por parcela                           | 1,210   |       |       | 1,164 |       |       | 1,180 |       |       |       |
| Média por UPA                               | 1,185 b |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

As letras a e b representam o contraste de médias em nível de probabilidade de 95 %. Letras iguais entre amostras não apresentam diferença significativa entre as médias.

**Tabela 3.17.** Resultado da análise de variância para DS na floresta pública

| Fonte de variação | G.L. | Q.M.  | <i>f</i> | <i>f</i> <sub>tabelado</sub> | Valor-P |
|-------------------|------|-------|----------|------------------------------|---------|
| UPAs              | 1    | 0,215 | 10,051*  | 4,043                        | 0,00    |
| Profundidade      | 2    | 0,007 | 0,308    | 3,191                        | 0,73    |
| Interação         | 2    | 0,019 | 0,894    | 3,191                        | 0,41    |
| Total             | 48   | 0,021 |          |                              |         |

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade

Vale ser destacado que, a UPA01 foi explorada dois anos antes dessa coleta e que o DS tende a diminuir ao passar do tempo, conforme mencionado por Bomfim (2013). Assim, essa densidade na UPA03 poderá diminuir se seguir o mesmo comportamento. Além disso, como a obtenção do DS se deu dois anos após, essa densidade pode ter sido.

Em relação à RPS, constatou-se diferenças estatisticamente significativas por meio da análise de variância fatorial para os tratamentos (área explorada, não explorada, trilhas de arraste e pátios de estocagem) e profundidades (0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm), não havendo significância para interações (Tabela 3.18). Portanto, realizou-se o teste Tukey de médias para identificar e ordenar os tratamentos e as profundidades mais expressivas (Tabela 3.19).

**Tabela 3.18.** ANOVA fatorial para de RPS para os tratamentos área explorada, não explorada, trilhas de arraste e pátios de estocagem e profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm.

| Fonte da variação | G.L.  | Q.M.  | F      | F <sub>tabelado</sub> | Valor-P |
|-------------------|-------|-------|--------|-----------------------|---------|
| Profundidade      | 2     | 1,587 | 6,552* | 3,403                 | 0,005   |
| Tratamentos       | 3     | 2,138 | 8,827* | 3,009                 | 0,000   |
| Interações        | 6     | 0,138 | 0,569  | 2,508                 | 0,750   |
| Resíduo           | 24    | 0,242 |        |                       |         |
| Total             | 574,6 | 35    |        |                       |         |

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade

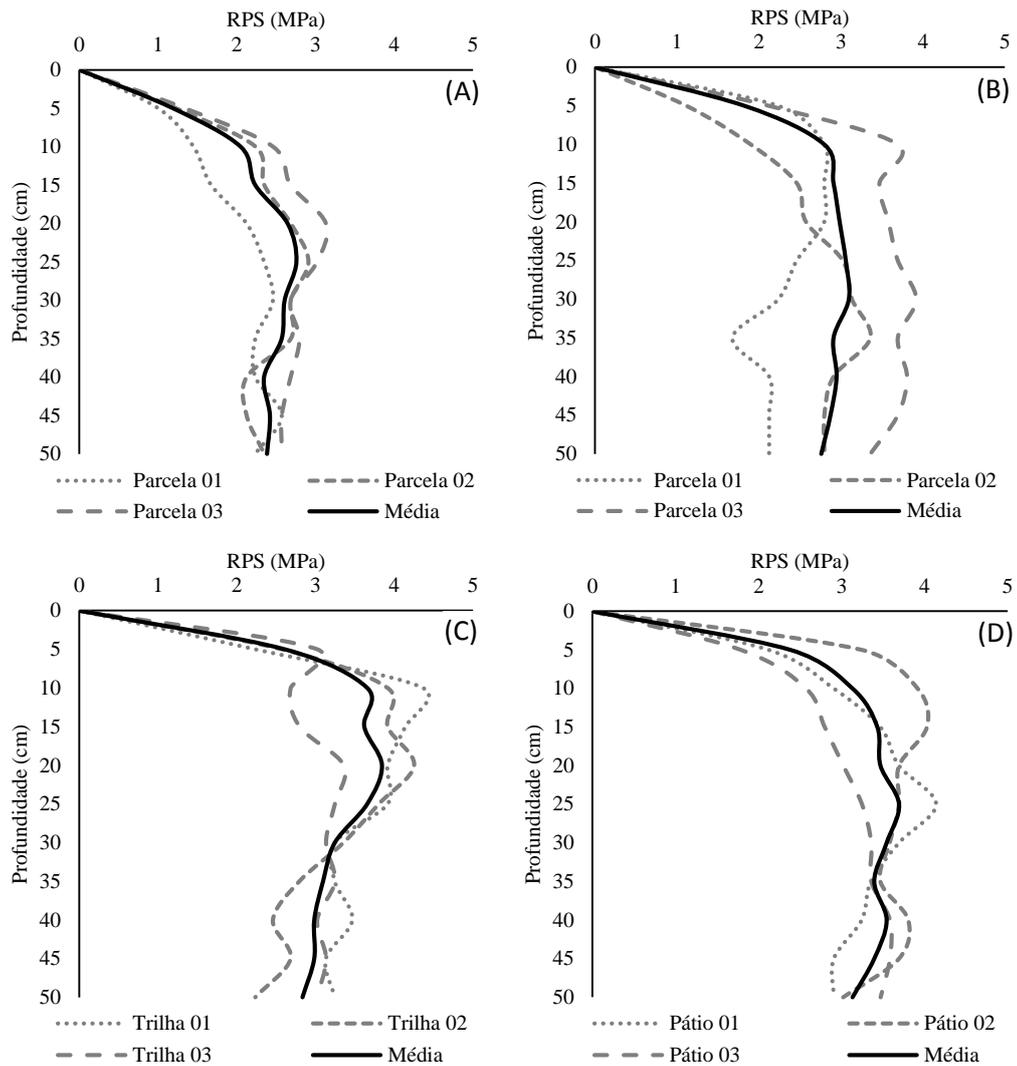
**Tabela 3.19.** Resultados do teste Tukey de médias para a RPS dentro dos tratamentos e para profundidades.

| Teste de médias     |        |              |        |
|---------------------|--------|--------------|--------|
| Tratamentos (MPa)   |        | Profundidade |        |
| Pátios de estocagem | 3,23 a | 10 a 30 cm   | 3,17 a |
| Trilhas de arraste  | 3,22 a | 30 a 50 cm   | 2,91 a |
| Área explorada      | 2,73 a | 0 a 10 cm    | 2,45 b |
| Área não explorada  | 2,21 b |              |        |

As letras a e b representam diferença significativa de médias em nível de probabilidade de 95 %

Os valores médios máximos de RPS foram de 2,21 MPa para a área explorada e de 2,73 MPa para a área não explorada. Esses valores demonstraram que houve impactos ao solo causados pelas atividades de exploração. Trilhas de arraste e pátios de estocagem apresentaram o mesmo nível de impactos, esses especificamente causados pela movimentação de máquinas para o arraste e empilhamento de toras, respectivamente. Os valores de RPS para trilhas e pátios foram, ainda, superiores estatisticamente aos da área explorada, assinalando, evidentemente que, a movimentação de máquinas causou impactos maiores.

Tratando-se da RPS em seus níveis de impactos nas camadas do solo, entre 10 e 50 cm foram constatados os maiores valores médios. Apesar de estatisticamente semelhantes, observou-se superioridade numérica na camada entre 10 e 30 cm, independente do tratamento. Com base no comportamento das curvas médias de RPS (Figura 3.28), na área não explorada a maior resistência foi de 2,76 MPa na profundidade de 25 cm, enquanto que para a área explorada a maior RPS foi de 3,10 MPa a 30 cm de profundidade. Em relação à trilha de arraste, o maior valor foi de 3,94 MPa na profundidade de 20 cm, enquanto que no pátio de estocagem a maior RPS foi de 3,69 MPa na profundidade de 25 cm, destacando para essa a faixa entre 10 e 25 cm com as maiores resistências.



**Figura 3.28.** Curvas de RPS para a área não explorada (A), explorada (B), trilhas de arraste (C) e pátios de estocagem (D).

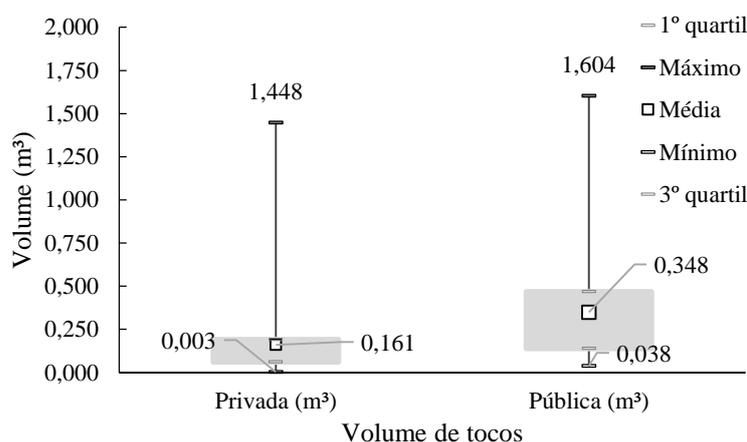
Nas trilhas de arraste as coletas de RPS foram distribuídas nas faixas de rodagem e no eixo das trilhas. Não houve diferença significativa entre esses pontos de medição. Portanto, o impacto causado pelo arraste nas trilhas de arraste foi o mesmo considerando a dimensão transversal da trilha. De forma prática, o efeito do peso da máquina e do peso da tora arrastada na RPS afetaram regularmente a trilha ao longo de sua seção da transversal.

Nos pátios de estocagem, foram coletados a RPS em pontos distribuídos diagonalmente, na parte externa, central e posterior (fundo do pátio). Não foi constatado diferença significativa entre as RPS entre esses pontos de amostragem dentro dos pátios. Em outras palavras, isso demonstrou que os locais de movimentação de máquinas e de empilhamento de toras foram impactados com a mesma intensidade.

### 3.3.3.3. Desperdício volumétrico

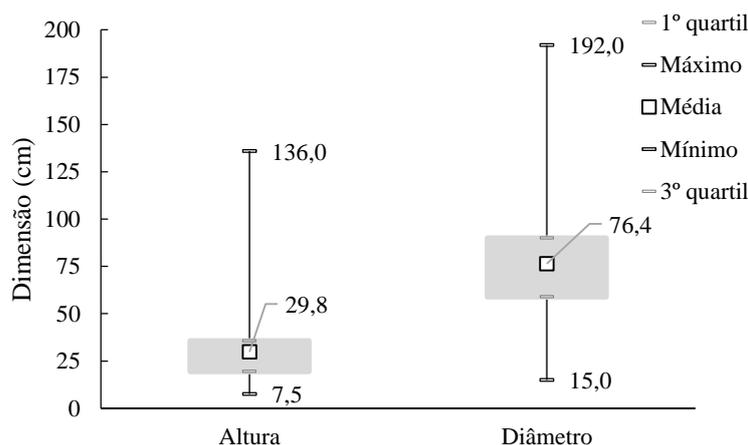
#### *Floresta privada*

Ao total foram obtidas as medidas de 244 tocos durante as operações de corte. O erro amostral proveniente do cálculo do volume deles foi de 14,04%. De acordo com os dados coletados, a altura e o diâmetro médio dos tocos foram de 29,8 cm e 76,4 cm, gerando um volume médio de 0,161 m<sup>3</sup> (Figura 3.29).



**Figura 3.29.** Volume de tocos encontrados nas florestas privada e pública. A barra na cor cinza expressa a variação de 50 % dos volumes de tocos, entre o primeiro e o terceiro quartis.

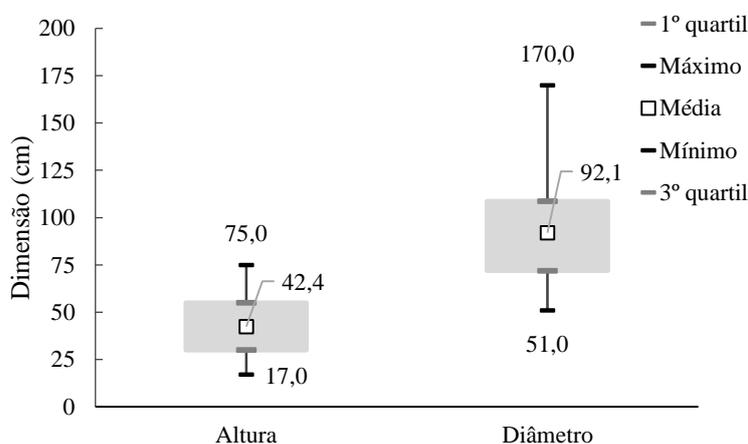
Considerando o intervalo de dados entre o primeiro e terceiro quartil da amostra, 50 % dos tocos apresentaram alturas entre 25,5 cm e 35,6 cm (Figura 3.30). Os diâmetros variaram de 78 cm a 90 cm e a maior altura registrada foi de 136 cm e o maior diâmetro foi 192 cm. O maior volume de toco foi de 1,447 m<sup>3</sup>, cujas dimensões de altura e diâmetro foram de 50 cm e 192 cm, respectivamente, representado por uma árvore da espécie angelim-vermelho. O menor volume foi da espécie acaricoara, com 0,002 m<sup>3</sup>, sendo sua altura e diâmetro de 10 cm e 19 cm, respectivamente. Considerando o volume comercial estimado pelo inventário florestal realizado na área, o qual gerou um valor médio de 3,558 m<sup>3</sup> por árvore, o desperdício volumétrico representado por tocos correspondeu a um percentual de 4,51 % de cada árvore.



**Figura 3.30.** Variação dos dados de altura e diâmetro, onde as barras em preto mostram o intervalo entre o 1° e 3° quartil, apresentando, ainda, os valores máximo e mínimo observados.

### *Floresta pública*

Um total de 36 medidas de volume de tocos foi coletado, gerando um erro amostral de 32,0 %. De acordo com o cálculo para número mínimo de amostras para um erro de 20%, seria necessário coletar 96 amostras. A altura e o diâmetro médio obtidos foram de 42,4 cm e 92,0 cm, respectivamente. Sendo assim, o volume médio de tocos considerando o erro encontrado foi de 0,348 m<sup>3</sup> (Figura 3.31).



**Figura 3.31.** Variação dos dados de altura e diâmetro, onde as barras em preto mostram o intervalo entre o 1° e 3° quartil, apresentando, ainda, os valores máximo e mínimo observados.

Considerando a distribuição dos dados, entre o primeiro e terceiro quartil, 50 % dos tocos apresentaram alturas entre 30,0 e 50,0 cm e diâmetro entre 72,0 e 108,0 cm. As maiores altura e diâmetro observados foram de 75 e 170 cm, respectivamente. As menores altura e diâmetro foram de 17 e 51 cm, respectivamente (Figura 3.27).

O maior volume calculado foi de 1,603 m<sup>3</sup>, representado pela espécie de faveira-ferro, com altura e diâmetro de 75 e 165 cm, respectivamente. O menor volume foi de 0,038 m<sup>3</sup> da espécie cambará, com dimensões de 17,0 cm de altura e 53,0 cm de diâmetro. Considerando o volume total e a quantidade de árvores planejadas para exploração, o volume médio foi 6,794 m<sup>3</sup> por árvore. Com base no volume médio de tocos, o desperdício volumétrico estudado foi de 5,13 % de cada árvore.

#### 3.3.3.4. Árvores ocas

##### *Floresta privada*

Durante o acompanhamento da operação de corte foram registradas 54 árvores ocas de um total de observações de 316. Esse valor revelou que, considerando essa amostragem, o número de árvores que deixaram de ser exploradas e constaram na lista de exploráveis equivaleu a 17,1%. Em termos médio, o volume de cada árvore oca foi de 6,794 m<sup>3</sup>, baseando-se no volume médio estimado por árvore segundo os manejadores. Portanto, essa proporção de árvores ocas representou 1,730 m<sup>3</sup> que deixaram de ser explorados por hectare.

##### *Floresta pública*

Ao longo da operação de corte foram registradas 2 árvores de um total de observações de 32 árvores. Portanto, o número de árvores que deixaram de ser exploradas e constaram na lista de exploráveis equivaleu a 6,7 %. Vale destacar a pouca quantidade de observações, podendo esse valor ser alterado conforme o aumento da suficiência amostral. Em termos médio, o volume estimado de cada árvore oca foi de 3,554 m<sup>3</sup>. Assim, a proporção de árvores ocas representou 4,430 m<sup>3</sup> que deixaram de ser explorados por hectare.

#### **3.3.4. Custos**

Além dos custos unitários das operações, os manejadores da floresta privada forneceram o custo total da exploração florestal como informação adicional. Esse custo referiu-se ao valor do metro cúbico explorado colocado na serraria, incluindo além das operações estudadas, as operações de pátio e romaneio e o transporte florestal. Assim, o valor da exploração foi de 73,87 R\$ m<sup>-3</sup>, referente a um volume total transportado para o período de dezembro de 2010 de 11889,650 m<sup>3</sup>.

### 3.3.4.1. Custo operacional

#### *Floresta privada*

Os dados econômicos disponibilizados foram relativos aos custos fixos e variáveis mensais de cada operação para mês de dezembro de 2010. Assim, necessitou-se da transformação desses para uma base horária de maneira a compatibilizar com os rendimentos obtidos, baseando-se na jornada de trabalho mensal de 22 dias e 10 horas trabalhada por dia (sistema de banco de horas). Além disso, os dados fizeram referência a custo por equipe, sendo, então, multiplicados pelo número de equipes empregado na força de trabalho da exploração para encontrar o custo da força de trabalho. Os custos de administração foram únicos, independentemente da quantidade de equipes. Vale destacar que os valores das depreciações de motosserra e tratores foram fornecidos e calculados pelos próprios manejadores, sendo esses os únicos custos fixos disponibilizados (Tabela 3.20).

**Tabela 3.20.** Custos mensais das operações na floresta privada.

| Custo    |                       | Operação     |               |               |
|----------|-----------------------|--------------|---------------|---------------|
|          |                       | Corte        | Pré-arraste   | Arraste       |
| Fixo     | Depreciação           | R\$ 76,88    | R\$ 291,66    | R\$ 291,66    |
|          | Combustível           | R\$ 853,83   | R\$ 1.677,95  | R\$ 5.883,10  |
|          | Lubrificantes         | R\$ 106,77   | R\$ 97,62     | R\$ 109,70    |
| Variável | Peças e materiais     | R\$ 800,00   | R\$ 3.620,24  | R\$ 3.323,92  |
|          | Pessoal               | R\$ 5.702,87 | R\$ 13.078,56 | R\$ 3.501,90  |
|          | Alimentação e estadia | R\$ 243,75   | R\$ 390,00    | R\$ 146,25    |
|          | EPIs e uniformes      | R\$ 749,08   | R\$ 1.997,54  | R\$ 656,36    |
| Total    |                       | R\$ 8.959,84 | R\$ 22.211,25 | R\$ 14.608,53 |

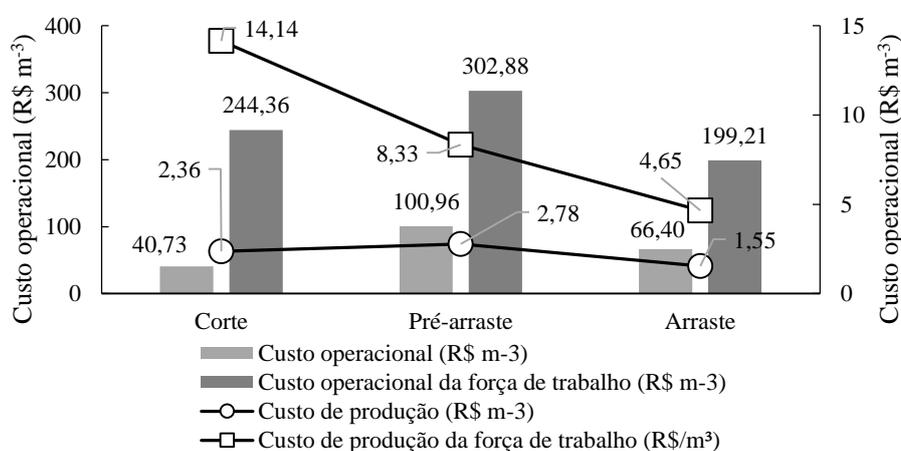
Para a contabilização dos custos com pessoal, na operação de corte empregaram-se três funcionários, enquanto que, no pré-arraste, sete funcionários trabalharam em solo e mais um operando o trator (D6) e, no arraste, um operador de *skidder* e mais outro em solo. Além disso, para cada operação, um outro foi adicionado, esse como responsável pelo transporte de funcionários operando os veículos utilizados para esse fim (pau-de-arara).

Convertendo os dados para a base horária por equipe, o custo das operações de corte, pré-arraste e arraste foram de 40,73 R\$ h<sup>-1</sup>, 100,96 R\$ h<sup>-1</sup> e 66,40 R\$ h<sup>-1</sup>, respectivamente. Multiplicando esses custos pela força de trabalho empregada, os custos operacionais do corte, pré-arraste e arraste foram de 244,36 R\$ h<sup>-1</sup>, 302,88 R\$ h<sup>-1</sup> e 199,21 R\$ h<sup>-1</sup>, respectivamente. Evidentemente, a operação de pré-arraste foi a mais cara. Custos com pessoal foram os mais elevados entre as operações de corte e pré-arraste, representando 63,6 % e 58,9 % dos custos totais, respectivamente. No arraste, o mais caro foi o custo com combustível, representando 40,3 % do total.

### 3.3.4.2. Custo de produção

A partir dos resultados de produtividade e seus respectivos custos operacionais, os custos de produção das operações de corte, pré-arraste e arraste foram de 2,36 R\$ m<sup>-3</sup>, 2,78 R\$ m<sup>-3</sup> e 1,55 R\$ m<sup>-3</sup>, respectivamente. Para a força de trabalho empregada, os custos elevaram-se para 14,14 R\$ m<sup>-3</sup>, 8,33 R\$ m<sup>-3</sup> e 4,65 R\$ m<sup>-3</sup> para as operações de corte, pré-arraste e arraste, respectivamente.

Analisando o custo por equipe, o pré-arraste permaneceu o mais caro, sendo esse 17,8 % e 79,3 % maior em relação ao corte e ao arraste, respectivamente. Vale destacar que, o custo de produção do arraste, quando comparado com a força de trabalho empregada e os respectivos custos operacionais das outras operações, foi o mais barato em virtude da alta produtividade dessa operação (Figura 3.32).



**Figura 3.32.** Figura I. Custos operacional e de produção obtidos na floresta privada.

Baseando-se no custo total transportado até a serraria da empresa manejadora da floresta privada, de R\$ 73,87, os custos com as equipes de corte, pré-arraste e arraste representaram uma proporção de 19,1 %, 11,3 % e 6,3 % do total. Somados, o metro cúbico colocado no pátio de estocagem de madeira na floresta demandou um custo de R\$ 27,10, representando 36,7 % do custo total da exploração (tora na serraria).

### 3.3.5. Fatores ergonômicos

#### 3.3.5.1. Perfil dos trabalhadores

##### *Floresta privada*

Para o perfil dos trabalhadores envolvidos na exploração florestal realizaram-se 12 entrevistas, englobando funcionários com diferentes funções. A determinação do perfil do

trabalhador baseou-se nas informações mais frequentes obtidas a partir deles para cada item contido no formulário (Tabela 3.21).

Com maior ênfase, os trabalhadores apontaram a jornada de trabalho, salário e o risco das operações como geradores de insatisfação no trabalho. Vinculado à longa jornada de trabalho, os trabalhadores indicaram a alta frequência de dores em determinadas regiões do corpo. Vale destacar que, os manejadores adotaram uma jornada de trabalho de 10 horas diárias incluindo uma hora para almoço. Adicionando o transporte dos funcionários até às áreas de exploração, a jornada elevar-se-ia para aproximadamente 11:30 horas. O transporte também foi apontado como insatisfação em função do desconforto e do longo período de deslocamento, sendo esse realizado em caminhões “pau-de-arara”.

### *Floresta pública*

Para o perfil dos trabalhadores envolvidos na exploração florestal, realizaram-se 7 entrevistas, englobando funcionários com diferentes funções. O perfil dos trabalhadores está exposto na (Tabela 3.21).

Apesar de satisfeitos com o trabalho, principalmente em relação à jornada de trabalho de oito horas e com bom transporte de funcionários, desconfortos provados pelo calor e infestação de abelhas foram apontados como críticos. Em campo, a constatação do incômodo em relação à quantidade de abelhas foi evidente, Mesmo não sendo agressivas, visivelmente foi possível notar ocasiões de perda de concentração e paradas durante as atividades individuais para afastar o exame de abelha. Essas ações podem aumentar o risco de acidentes e influenciar na produtividade das atividades.

**Tabela 3.21.** Perfil dos trabalhadores na floresta privada e pública

| <b>Categoria</b>        | <b>Característica</b>           | <b>Floresta Privada</b>              | <b>Floresta pública</b>            |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Dados pessoais</b>   | Naturalidade                    | Amazonas                             | Diversa                            |
|                         | Idade                           | 35                                   | 37                                 |
|                         | Estado civil                    | Amasiado                             | Casado                             |
|                         | Número de filhos                | 4                                    | 2                                  |
|                         | Número de dependentes           | 4                                    | 2                                  |
|                         | Residência                      | Própria                              | Própria                            |
|                         | Origem                          | Rural                                | Urbana                             |
|                         | Cúrtis                          | Mestiço                              | Mestiço                            |
|                         | Religião                        | Católica                             | Católica                           |
|                         | Escolaridade                    | Ensino básico                        | Ensino médio                       |
|                         | Problemas de visão              | Não                                  | Sim                                |
|                         | Percepção de cores              | Sim                                  | Sim                                |
|                         | Problemas auditivos             | Não                                  | Sim                                |
|                         | Lateralidade                    | Destro                               | Destro                             |
|                         | Tipo sanguíneo                  | O+                                   | A+/O+                              |
| <b>Hábitos e vícios</b> | Vícios e costumes               | Bebida (frequente)                   | Não                                |
|                         | Período de sono                 | 7 horas                              | 8 horas                            |
|                         | Atividades físicas e esportivas | Raras                                | Frequente                          |
| <b>Saúde</b>            | Doenças adquiridas              | Leishmaniose/Malária (3 vezes)       | Malária (7 vezes)                  |
|                         | Ataque de animais peçonhentos   | Não                                  | Não                                |
|                         | Alergia                         | Não                                  | Não                                |
|                         | Lesão superficial               | Sim                                  | Não                                |
|                         | Outros ataques                  | Abelhas/Formigas                     | Abelhas                            |
| <b>Trabalho</b>         | Idade do 1º trabalho            | 16                                   | 15                                 |
|                         | Tempo na função (meses)         | 44                                   | 14                                 |
|                         | Tempo na empresa (meses)        | 78                                   | 11                                 |
|                         | Registro em carteira            | Sim                                  | Sim                                |
|                         | Salário                         | R\$ 1.111,00                         | -                                  |
|                         | Carga horária                   | Insatisfeito                         | Satisfeito                         |
|                         | Treinamento                     | Sim                                  | Sim                                |
|                         | Experiência trab.florestal      | Sim                                  | Sim                                |
|                         | Renda extra                     | Não                                  | Não                                |
|                         | Acidente trabalho               | Sim                                  | Não                                |
|                         | Satisfação no trabalho          | Insatisfeito                         | Satisfeito                         |
|                         | Desconfortos                    | Calor/Ruídos/Mosquitos               | Calor/Abelhas                      |
|                         | Dores                           | Coluna/Pernas/Pés                    | Não                                |
|                         | Sono após almoço                | Sim                                  | Não                                |
|                         | Qualidade da Alimentação        | Razoável                             | Satisfeito                         |
|                         | Alimentação (frequência diária) | 3 vezes (Serviço)<br>5 vezes (Folga) | 1 vez (serviço)<br>3 vezes (folga) |
|                         | Operação de maior esforço       | Pré-arraste                          | Corte                              |
|                         | Operação de maior concentração  | Corte                                | Corte                              |
| Qualidade de EPIs       | Razoável                        | Satisfeito                           |                                    |

### 3.3.5.2. Tipos de atividade

#### *Floresta privada*

A equipe de corte foi formada por três funcionários: líder, operador de motosserra e auxiliar. O líder foi responsável pela localização das árvores e a identificação delas nos mapas de colheita, pela definição da direção de queda, pela conferência das árvores na cadeia de custódia e por auxiliar na limpeza do fuste e abertura das trilhas de fuga. O operador de motosserra executou o teste do oco, o corte e a destopa, auxiliando, também, na definição

adequada da direção de queda, assim como a verificação e execução de demandas técnico-operacionais da própria motosserra, como afiação, abastecimento, reposição de peças etc. O auxiliar foi responsável por carregar peças sobressalentes da motosserra, cunhas e outras ferramentas, pela abertura das trilhas de fuga, pela limpeza do fuste antes da derrubada, pela manipulação de placas de numeração das árvores e pelo o uso de cunhas com marreta para auxílio da derrubada de árvores.

No pré-arraste, a equipe foi formada por oito funcionários: um líder, dois operadores de motosserra, um operador de máquinas e quatro auxiliares. O líder foi responsável por definir o comprimento das toras a serem divididas nos fustes, pela delimitação e abertura dos caminhos de guinchamento de toras e pela conferência da cadeia de custódia. Quanto aos operadores de motosserra, um foi responsável pelo traçamento das toras e o outro pela limpeza, a desobstrução do caminho de guinchamento de toras e a liberação de toras para o pelo seu redirecionamento. O operador de máquina realizou as atividades de deslocamento do trator D6 e o acionamento do cabo do dispositivo de guincho acoplado no trator. Quanto aos quatro auxiliares, um deles, chamado como “rabeiro” e que posiciona-se muito próximo ao trator, foi responsável por sinalizar a liberação, o recolhimento e a paralização do cabo de guinchamento quando necessário, dois foram responsáveis pelo estiramento do cabo acoplado no trator e o último, responsável pelo engate do cabo nas toras. Basicamente, esses quatro funcionários auxiliares executaram semelhantemente as atividades nessa operação.

A equipe de arraste foi composta nesse estudo por um operador do trator *skidder* nas atividades de arraste. Em termos práticos, mais um líder, dois auxiliares e um operador de motosserra compuseram essa equipe em solo, não interferindo na produtividade do arraste propriamente dito. Esses funcionários auxiliares trabalharam nos pátios de estocagem e executaram a mensuração das toras e o romaneio e as correções de imperfeições das toras utilizando a motosserra.

Basicamente, distinguiram-se cinco tipos de funcionários na exploração: líder, operador de motosserra, operador de máquinas, auxiliar de corte e auxiliar de pré-arraste (Tabela 3.22). Segundo o enquadramento proposto, os auxiliares de pré-arraste e operadores de motosserra foram os funcionários com o maior dispêndio energético. Observado em campo e por meio de relatos a partir deles, verificou-se que ambos apresentavam sinais de cansaço físico superior aos outros funcionários. Pensando em termos de operações, o pré-arraste engloba as atividades com maior dispêndio energético, uma vez que operador de motosserra e auxiliares de pré-arraste fazem parte dessa e, além do mais, em maior número de funcionários.

**Tabela 3.22.** Tipo de trabalho realizado pelos funcionários empregados na exploração florestal

| Funcionário             | Atividade   | Categoria         | Taxa metabólica         |                             |
|-------------------------|---|-------------------|-------------------------|-----------------------------|
|                         |   |                   | (Kcal h <sup>-1</sup> ) | (Kcal/jornada de trabalho*) |
| Líder                   | De pé, trabalho leve, com alguma movimentação           | Trabalho leve     | 175                     | 1575                        |
| Operador de motosserra  | Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar | Trabalho moderado | 300                     | 2700                        |
| Operador de máquinas    | Sentado, movimentos moderados com braços e tronco       | Trabalho leve     | 125                     | 1125                        |
| Auxiliar de corte       | De pé, trabalho leve, com alguma movimentação           | Trabalho moderado | 175                     | 1575                        |
| Auxiliar de pré-arraste | Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar | Trabalho moderado | 300                     | 2700                        |

\*Jornada de trabalho de nove horas diárias

Buscando um enquadramento na categoria de trabalho por operação, ou da equipe como um todo, utilizou-se como base o funcionário com o mais alto dispêndio energético como base. Portanto, as operações de corte e pré-arraste foram enquadradas como categoria de trabalho moderado (300 Kcal h<sup>-1</sup>) e o arraste como trabalho leve (125 Kcal h<sup>-1</sup>).

### *Floresta pública*

Na operação de corte, a equipe foi formada por um operador de motosserra e um auxiliar. O operador de motosserra, também líder, foi responsável pela conferência e localização das árvores a serem exploradas seguindo o mapa de colheita, determinação da direção de queda, demandas técnico-operacionais da motosserra, corte de árvores e traçamento de toras. O auxiliar de corte foi responsável por manter e carregar peças sobressalentes da motosserra, cunhas e ferramentas, pela conferência de placas de numeração de árvores da cadeia de custódia, limpeza de fuste antes do corte, abertura de trilhas de fuga, pelo o uso de cunhas com marreta para auxílio da derrubada de árvores e pela medição das toras para traçamento.

No arraste, a equipe foi composta por um operador de *skidder* e uma auxiliar em solo. O operador de máquinas foi responsável pelas atividades de arraste propriamente ditas e, o auxiliar de arraste, por fazer o acoplamento do cabo do *skidder* à tora, manipular de placas de numeração de toras e auxiliar na localização das toras a serem arrastadas. Assim como na floresta privada, uma equipe de pátio trabalhou concomitantemente ao arraste.

Foram, então, diferenciados quatro funcionários para análise da exploração: operador de motosserra/líder, auxiliar de corte, operador de máquinas e auxiliar de arraste (Tabela 3.23). A equipe de corte foi a de maior dispêndio energético, incluindo os funcionários que realizam as atividades mais desgastantes da exploração.

**Tabela 3.23.** Tipo de trabalho realizado pelos funcionários empregados na exploração florestal

| Funcionário                  | Atividade   | Categoria         | Taxa metabólica         |                             |
|------------------------------|---|-------------------|-------------------------|-----------------------------|
|                              |   |                   | (Kcal h <sup>-1</sup> ) | (Kcal/jornada de trabalho*) |
| Operador de motosserra/Líder | Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar | Trabalho moderado | 300                     | 2400                        |
| Operador de máquinas         | Sentado, movimentos moderados com braços e tronco       | Trabalho leve     | 125                     | 1000                        |
| Auxiliar de corte            | Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar | Trabalho moderado | 300                     | 2400                        |
| Auxiliar de arraste          | De pé, trabalho moderado, com alguma movimentação       | Trabalho moderado | 175                     | 1400                        |

\*Jornada de trabalho de oito horas diárias

### 3.3.5.3. Avaliação postural

A avaliação postural baseou-se na identificação da postura geralmente empregada pelos funcionários para o desempenho das atividades, desconsiderando períodos de paralisações ou simples deslocamentos, ou seja, posturas não inerentes às atividades. A avaliação pelo sistema OWAS considerou os mesmos funcionários da avaliação do tipo de trabalho, exceto para os operadores de máquinas.

#### *Floresta privada*

Para o enquadramento nas classes posturais, foram utilizadas como referência a postura baseando-se em fotos registradas durante suas atividades (Figura 3.33). Segundo a classificação postural no sistema OWAS, corte e pré-arraste apresentaram as situações de maior atenção, principalmente para o auxiliar de pré-arraste, o qual enquadrou-se na mais alta classe de atenção postural. Vale destacar que foram observadas as posturas mais graves para ambos operadores de motosserra e auxiliar, porém, essas não foram comumente empregadas (Tabela 3.24).



**Figura 3.33.** Posturas mais frequentes observadas durante as operações: (A) operador de motosserra durante a derrubada; (B) líder (em vermelho) verificando mapa de colheita; (C) auxiliar de corte durante limpeza de fuste na região de corte, e; (D) auxiliar de pré-arraste durante o estiramento de cabo.

**Tabela 3.24.** Classificação postural pelo sistema OWAS para os funcionários da floresta privada.

| Funcionário             | Dorso |                     | Membros superiores |                        | Membros inferiores |                         | Carga ou Força |                 | Classificação da postura |  |
|-------------------------|-------|---------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|----------------|-----------------|--------------------------|--|
|                         | Cód.  | Postura             | Cód.               | Postura                | Cód.               | Postura                 | Cód.           | Carga           | Cód.                     | Classe   |
| Líder                   | 1     | Reto                | 1                  | Dois braços para baixo | 1                  | Duas pernas retas       | 1              | Até 10 kg       | 1                        | Postura normal, que dispensa cuidados                                    |
| Operador de motosserra  | 4     | Inclinado e torcido | 1                  | Dois braços para baixo | 2                  | Uma perna reta          | 2              | Entre 10 a 20kg | 3                        | Postura que deve merecer atenção a curto prazo                           |
| Auxiliar de corte       | 2     | Inclinado           | 1                  | Dois braços para baixo | 2                  | Uma perna reta          | 1              | Até 10 kg       | 2                        | Postura que deve ser verificada durante revisões dos métodos de trabalho |
| Auxiliar de pré-arraste | 4     | Inclinado e torcido | 1                  | Dois braços para baixo | 6                  | Deslocamento com pernas | 1              | Até 10 kg       | 4                        | Postura que deve merecer atenção imediata                                |

Cod. = código de postura segundo o sistema OWAS

### *Floresta pública*

As posturas mais frequentemente adotadas pelos funcionários da floresta pública foram enquadradas no sistema OWAS conforme fotos registradas em campo (Figura 3.34). Segundo verificado no enquadramento do sistema OWAS, operador de motosserra/líder requereu o mais alto nível de atenção, onde essa deve ser dada a curto prazo. Algumas das posturas mais graves observadas não foram frequentemente adotadas (Tabela 3.25).



**Figura 3.34.** Posturas mais frequentes observadas durante as operações: (A) operador de motosserra durante a derrubada; (B) auxiliar de corte durante limpeza de fuste na região de corte, e; (C) auxiliar de arraste durante em desobstrução no local de acoplamento da tora.

**Tabela 3.25.** Classificação postural pelo sistema OWAS para os funcionários da floresta pública.

| Funcionário                      | Dorso |                     | Membros superiores |                        | Membros inferiores |                         | Carga ou Força |                 | Classificação da postura |  |
|----------------------------------|-------|---------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|----------------|-----------------|--------------------------|--|
|                                  | Cód   | Postura             | Cód                | Postura                | Cód                | Postura                 | Cód            | Postura         | Cód                      | Classe   |
| Operador de motosserra/<br>Líder | 4     | Inclinado e torcido | 1                  | Dois braços para baixo | 2                  | Uma perna reta          | 2              | Entre 10 a 20kg | 3                        | Postura que deve merecer atenção a curto prazo                           |
| Auxiliar de corte                | 2     | Inclinado           | 1                  | Dois braços para baixo | 2                  | Uma perna reta          | 1              | Até 10 kg       | 2                        | Postura que deve ser verificada durante revisões dos métodos de trabalho |
| Auxiliar de arraste              | 3     | Reto e torcido      | 2                  | Um braço pra cima      | 6                  | Deslocamento com pernas | 1              | Até 10 kg       | 3                        | Postura que deve merecer atenção a curto prazo                           |

Cod = código de postura segundo o sistema OWAS

#### 3.3.5.4. Ruídos

A avaliação baseou-se na exposição diária ao ruído intermitente dos funcionários obtido por meio do equipamento medidor integrado de uso pessoal (MIUP). O equipamento retorna o valor da dose em porcentagem calculado. Como a jornada de trabalho empregada na empresa foi de nove horas, a avaliação se deu pelo nível de exposição diária normalizada (NEN). Por problemas técnicos, a avaliação da exposição ao ruído foi realizada apenas na floresta privada.

#### *Floresta privada*

Os níveis de ruídos foram obtidos para as operações de corte, pré-arraste e arraste. Na operação de corte o MIUP foi acoplado ao operador de motosserra e, nas operações de pré-arraste e arraste, o equipamento medidor foi colocado junto aos operadores dos tratores D6 e *skidder*. Para verificar a exposição e as respectivas medidas corretivas, foi necessário calcular o nível de exposição normalizado (NEN), o qual baseou-se na dose diária e no tempo de exposição. O equipamento utilizado forneceu esses parâmetros diretamente.

Durante a amostragem foram registrados picos de ruídos acima de 115 dB emitidos pelos tratores *skidders*. Esse nível de ruído oferece risco grave ou eminente sem proteção adequada, independente da dose diária registrada (BRASIL, 1996). Dessa forma, recomendou-se o uso de equipamentos de proteção adequados à situação verificada de risco.

Os NENs encontrados para as operações de corte, pré-arraste e arraste foram de 97,5, 95,4 e 95,8 dB, respectivamente. Valores de NEN superiores à 85 dB querem a adoção imediata de medidas corretivas. Entretanto, verificou-se o uso de protetores auditivos para os operadores de motosserras e máquinas, demonstrando a adequação aos parâmetros legais.

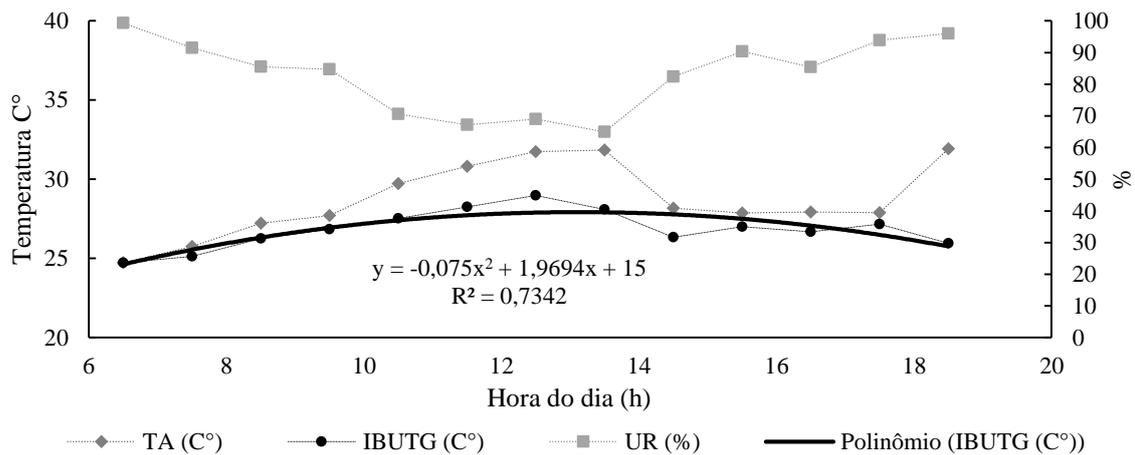
Apesar disso, seria recomendado o uso de protetores auditivos por outros funcionários que exercem suas atividades próximo às motosserras e tratores. Essa recomendação valeria, principalmente, para o auxiliar de pré-arraste (“rabeiro”) que trabalha próximo ao trator D6. Sem o uso de protetores auditivos adequados e baseando-se no valor de NEN encontrado para o corte, a máxima exposição diária seria de 1 hora e 15 minutos e, para o pré-arraste e arraste de 1 hora e 45 minutos. Com base na NR06, a qual trata da indicação do uso de EPIs, seriam adequados o uso de protetores auditivos dos tipos circum-auricular, de inserção ou semi-auricular para níveis acima de 85 dB.

#### 3.3.5.5. Condições térmicas

Em virtude de problemas técnicos com o equipamento termômetro de globo, essa avaliação foi realizada apenas na floresta privada.

##### *Floresta privada*

Primeiramente, buscou-se estimar um comportamento médio diário para o período de coleta para identificar os períodos mais críticos do dia conforme a legislação vigente para seguir suas recomendações. Sendo assim, ajustou-se um modelo estimando o valor de IBUTG em função da hora do dia (décimos de hora). O modelo mais bem ajustado foi o polinomial de 2ª ordem, explicando o comportamento da variação de térmica de IBUTG em 73,42%, de acordo com o coeficiente de determinação  $R^2$  encontrado (Figura 3.35).



**Figura 3.35.** Comportamento diário do tempo durante o período de coleta (Novembro e Dezembro de 2010) da temperatura do ar (TA), índice de termômetro de globo (IBUTG) e umidade do ar (UR).

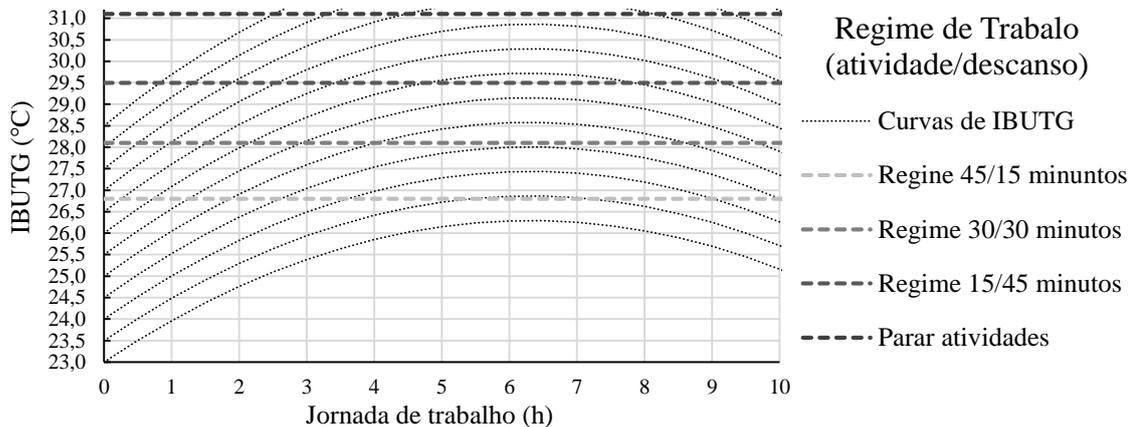
Com base no comportamento térmico verificado, a partir das 9:15 da manhã até o fim da jornada de trabalho diário às 17 horas, os trabalhadores deveriam seguir o regime de trabalho intermitente de 45 minutos com descanso no local por 15 minutos. Seguindo, então, esse regime de trabalho recomendado, um total de duas horas seriam reservadas para descanso.

Conseqüentemente, deixariam de ser cortadas cerca de 7 árvores ou 34 m<sup>3</sup>. No pré-arraste, aproximadamente 19 toras ou 72 m<sup>3</sup> deixariam de ser guinchadas e, no arraste, 24 toras ou 85 m<sup>3</sup> deixariam de ser arrastadas, aproximadamente. Esse regime acarretaria em uma perda na produção diária de 21,8 % para o corte e de 22,0 % para o pré-arraste e o arraste em relação ao volume explorado. Por outro lado, o conforto gerado aos trabalhadores poderia resultar em aumento da produtividade, talvez não nas mesmas proporções, necessitando estudos para essa constatação.

A equação da curva ajustada para IBUTG caracterizou o comportamento térmico diário referente ao mês de novembro de 2010. Obviamente esse período pode ser variável em diferentes épocas e anos. O comportamento da curva que a tendência de IBUTG mostrou que a temperatura no final da jornada de trabalho foi maior do que o início. O valor do IBUTG no fim da jornada foi igual ao estimado para a primeira hora de trabalho, aproximadamente. Aproveitando-se do conforto térmico da primeira hora de trabalho, poderia ser positivo ao desempenho das operações se as equipes de exploração fossem incentivadas a trabalhar com mais rigor e agilidade nesse período para suprir, em parte ao menos, as pausas recomendadas no regime de trabalho das horas seguintes.

Baseando-se no comportamento térmico conforme a curva ajustada em função da hora acumulada de trabalho e do IBUTG, foram plotadas curvas térmicas em uma série crescente de temperaturas de IBUTG. Na prática, com base no valor de IBUTG do início da primeira hora trabalhada, seria possível identificar em quais momentos empregar diferentes regimes de trabalho e, até mesmo, paralisar totalmente as atividades.

Em campo, um supervisor apenas poderia monitorar a variação climática com um termômetro de globo digital portátil, como o utilizado no estudo, de fácil leitura e manipulação. O equipamento retorna em tempo real e digitalmente o valor da temperatura de IBUTG. Assim, o supervisor de posse de um gráfico com as curvas, localizaria a curva com o valor inicial mais próximo a ela e verificaria o comportamento do IBUTG ao longo do trabalho, determinando previamente o intervalo na jornada a qual deverá ser adotado o regime adequado (Figura 3.36).



**Figura 3.36.** Curvas de comportamento térmico para determinação de regime de trabalho. Sabendo-se o valor no início da jornada (hora 0), verifica-se o comportamento da curva que inicia com o valor mais próximo a esse e, então, determina-se os momentos e os regimes de trabalho.

### 3.3.6. Discussão

A avaliação aqui realizada foi um contraste técnico entre dois diferentes sistemas de exploração autorizada na Amazônia Legal, um em floresta de domínio privado e outro em floresta pública. Esses sistemas diferiram-se, basicamente, em organização de trabalho e no conjunto de operações florestais empregados. Assim, o contraste técnico aqui desenvolvido revelou quantitativa e qualitativamente os aspectos operacionais, a qualidade da exploração, os custos e os fatores ergonômicos envolvidos na exploração florestal atualmente praticada.

De maneira geral, as atividades operacionais estudadas iniciaram-se com a atividade de localização da árvore a ser exploradas e finalizaram-se quando ela ou uma de suas toras

fosse colocada no pátio de estocagem. Na floresta privada, a operação de corte representou 48,3 % do tempo total da exploração, enquanto que o pré-arraste e o arraste representaram 18,8 % e 32,9 %, respectivamente. Na floresta pública (sem pré-arraste), o corte e o arraste representaram 82,6 % e 17,4 % do tempo total da exploração para colocar uma tora no pátio, respectivamente.

Levando em consideração os dois sistemas de colheita estudados, a maior parte do tempo total ficou concentrada na operação de corte, muito mais evidente no sistema sem pré-arraste (pública), sendo necessário adicionar as atividades de traçamento de toras após a derrubada, conseqüentemente demandando maior tempo em relação à destopa (floresta privada). Dessa forma, maior atenção deve ser dada a essa etapa com vista a melhoria das técnicas para aumentar sua eficiência.

Outro aspecto importante observado foi que, para operação de corte, as equipes de trabalho na floresta privada e na pública foram formadas por três e dois trabalhadores, respectivamente. Isso pode ter influenciado o maior tempo observado na floresta pública em virtude da divisão de tarefas. Analisando nesse aspecto, o elemento *planejamento* e suas respectivas atividades foi em comum entre os ciclos de corte das duas áreas, porém, houve maior tempo quando empregados dois funcionários. Uma das atividades executadas nesse elemento e de maior tempo demandado foi a limpeza do fuste na região do corte. Na equipe com três funcionários, dois deles executaram essa atividade, ao passo que, na equipe com dois, um apenas executou essa atividade, o que exigiu mais tempo.

De maneira geral, em todos os elementos notou-se uma maior agilidade da equipe com três trabalhadores comparada com a de dois. Essa observação pode revelar o nível de treinamento e experiência, assim como a sinergia das atividades desempenhadas entre os trabalhadores. Além disso, vale destacar que o maior tempo do ciclo de corte foi gerado em virtude alto número de interrupções, esses relacionados ao uso de cunha na derrubada e para desengate de sabre da motosserra, muito mais expressivas na floresta pública.

Notavelmente, o uso de cunhas foi mais comum no auxílio à derrubada no corte da floresta pública, em 46,4 % das árvores exploradas. Na floresta privada, em apenas 27,8 % das árvores a cunha foi utilizada. Seria necessário aumentar o esforço amostral na floresta pública para constatar essa diferença entre as áreas com maior precisão. Mesmo assim, algumas considerações podem explicar o maior uso, como as técnicas de corte utilizada, a estrutura vertical da floresta e a ausência ou a execução insuficiente do corte de cipós e/ou lianas na etapa pré-exploratória.

Um dos resultados que valem ser considerados na operação de corte foi o das árvores ocas. Na floresta privada elas representaram 17,1 % das árvores amostradas e 20,8 % do volume programado de corte. O tempo despendido para localização e verificação de ocas foi de 2,84 minutos por árvore.

Com base no tempo *padrão* do corte, poderiam ser cortadas 33 árvores na floresta privada. Descontando o tempo gasto com árvores ocas, deixaram de ser exploradas aproximadamente 5 árvores. Assim, a produtividade diária foi de 28 árvores. Verificando na base de dados, esse valor foi coerente com o número de observações diárias coletadas. Extrapolando esse valor para a força de trabalho de 6 equipes, 30 árvores deixaram de ser potencialmente exploradas, isso representou o trabalho diário de, no mínimo, outra equipe.

Nesse contexto, seria interessante do ponto de vista operacional que no mapa de colheita não constassem as árvores ocas. Para isso, elas deveriam ser identificadas e marcadas no inventário florestal, utilizando-se motosserra ou identificando-as adotando outros métodos, como o da barra de incrementos (CHAVE, 2006). Uma análise mais detalhada de custos e viabilidade operacional seria demandada para verificar a aplicação dessa atividade no inventário.

Em análise da operação de corte na floresta privada, estudo realizado em área próxima e pertencente aos mesmo manejadores, o tempo médio do ciclo foi de 14,7 minutos, sendo esse considerando uma equipe com dois trabalhadores e diâmetro (DAP) médio das árvores de 70,73 cm (BATISTA, 2008). Os resultados aqui encontrados foram de tempo superior, de 16,2 minutos, e o diâmetro médio das árvores foi 63,1 cm, inferior ao do estudo citado. Apesar de tempos próximos, os diâmetros foram diferentemente notáveis. Além disso, possíveis explicações para as diferenças podem ser devido ao método de tomada de tempos, as atividades desempenhadas pelas equipes de corte, a estruturas da floresta e as espécies exploradas.

Tratando-se de diferentes tipos de florestas tropicais na Amazônia brasileira, estudos diversos sobre a exploração têm revelado tempo médio de 14,0 minutos, variando em torno dessa média em aproximadamente em 31 % (CABRAL, 1991; COSTA FILHO; AGUIAR, 1980; HIGUCHI et al., 1994; KRÄMER; FÜRTEBERG, 1993; OLIVEIRA FILHO, 1997; UHL et al., 1991). Em estudo com florestas tropicais de Camarões, África, o ciclo operacional do corte apresentou tempo de 13,2 minutos utilizando técnicas específicas de derrubada, enquanto que, sem a utilizando de técnicas, o tempo foi 8,7 minutos (JONKERS, 1999). Estudo da exploração com intensidade de  $35 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  na Malásia, mostrou que os ciclos

de cortes tiveram tempo médio de 32 minutos adotando código de práticas de exploração e de 19 minutos adotando as práticas convencionais (FAO, 1996, TAY et al., 2002).

Em floresta explorada na indonésia, utilizando códigos de práticas de exploração publicado por FAO (1996), o uso de cunhas para auxiliar a derrubada gerou produtividade de  $18 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Aberturas de dossel caíram de 11,1 para 7,7 %. Trilhas de arraste tiveram reduções de 8,5 para 5,2 % em relação à área explorada (ELIAS, 1998). Examinando a exploração em teste piloto na floresta amazônica no estado do Pará, técnicas autorizadas nas operações de corte geraram uma produtividade de  $7,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e  $10,9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  quando equipes com dois e três membros foram empregadas, respectivamente (AMARAL et al., 1998). Em outro estudo no Pará, a operação de corte com traçamento de árvores apresentou produtividade de  $18,65 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  (HOLMES et al., 2004).

Em relação a operação de arraste, o tempo *padrão* do ciclo foi de 11,1 minutos e de 5,7 minutos para as florestas privada e pública, respectivamente. Suas produtividades foram de  $42,857 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e de  $27,693 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , respectivamente. Na extração em floresta da Indonésia, com métodos combinados de guinchamento e arraste, o tempo médio dos ciclos foi de 39 minutos adotando os código de práticas de exploração, e de 26 minutos, não adotando. O tempo médio superior foi explicado pelas atividades adicionais de guinchamento (TAY et al., 2002). No mesmo país, ciclos operacionais de arraste tiveram tempo de 33 minutos (ELIAS, 1998). No arraste utilizando-se tratores *skidders* com pneus e tratores com esteira em floresta do Brasil, a produtividade dos ciclos foram de  $34 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e  $23 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , respectivamente (AMARAL et al., 1998). Em estudo da exploração autorizada na floresta amazônica do Pará, Brasil, a produtividade da operação de arraste foi de  $31,66 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  (HOLMES et al., 2004).

Em relação aos custos operacionais, o corte e o arraste custaram US\$ 0,62 e US\$ 1,24 por metro cúbico em estudo da exploração autorizada no Estado do Pará, Brasil (HOLMES et al., 2004). Utilizando uma taxa de câmbio corrente para o valor do dolar, de 2,242 (BCE, 2014), o custo de produção do estudo anterior seria de 1,39 R\$  $\text{m}^{-3}$  para o corte e de 2,78 R\$  $\text{m}^{-3}$ , desconsiderando juros. Para o do presente estudo, na floresta privada os custos operacionais encontrados foram de 2,26 R\$  $\text{m}^{-3}$  e de 1,55 R\$  $\text{m}^{-3}$  para o corte e o arraste, respectivamente. Considerando o custo da exploração com o corte e o arraste, os valores entre os estudos foram semelhantes, entretanto inversos tratando-se do custo por operação.

Comparando com os valores do estudo de Holmes et al. (2004), o maior custo do corte na floresta privada foi devido, provavelmente, a adição do terceiro funcionário, bem como despesas com transporte de funcionários e taxa de estadia do acampamento florestal.

Em relação ao menor custo do arraste, o primeiro fator a ser colocado seria em função da operação de pré-arraste, essa que apresenta o maior custo de produção, de 2,78 R\$ m<sup>-3</sup> e realizou parte das atividades de extração. A operação de pré-arraste pode ser entendida como uma atividade primária de extração e, dentro do processo de exploração, uma operação intermediária entre corte e arraste, fazendo o traçamento de toras e o deslocamento das toras até as margens dos ramais principais de arraste.

A operação de pré-arraste não é comumente utilizada, provavelmente por requerer maior organização de trabalho, distribuição de trilhas específicas e, claramente, por questões de custo. Máquinas, equipamentos e pessoal são necessários para execução dessa operação. Tecnicamente, essa operação apresentou baixa eficiência com alta frequência de interrupções. Fatores ergonômicos e de segurança contribuíram, também, negativamente com as atividades do pré-arraste.

Entretanto, o entendimento dessa operação através da percepção e observação detalhada em campo, sugeriu que essa foi dependente da organização de trabalho do corte, e conseqüentemente, precisou atender às do arraste. Em outras palavras, o direcionamento de queda das árvores derrubadas e a distância delas às trilhas de arraste foram observadas como fatores relevantes ao desempenho dessa operação. Em algumas situações vividas, por exemplo, a árvore derrubada com a copa direcionada para a trilha de arraste exigiu maiores tempos de desobstrução do caminho para que a tora fosse guinchada no pré-arraste. Além disso, árvores distantes dificultam o guinchamento de maneira direta até à trilhas, pois árvores remanescente situam-se no sentido do deslocamento. Árvores localizadas no sentido do guinchamento devem ser imunes a danos sempre que possível, sendo necessário, portanto, o redirecionamento da tora por meio de remoção de galhos no caminho e o reposicionamento de cabo do guincho.

A produtividade na floresta pública condiz com os valores encontrados na literatura, uma vez que foi adotado o sistema de exploração de infraestrutura e operacional semelhantes (AMARAL et al., 1998; HOLMES et al., 2004). Como mencionado acima, foram adotadas as operações de corte e arraste e a distribuição de estradas, trilhas de arraste e pátios de estocagem de maneira sistemática. Nesse sistema, o tempo do ciclo operacional de arraste é determinado em função da distância, geralmente padronizada para ser de no máximo de 250 metros (BRAZ, 2005; BRAZ, SCHENEIDER et al., 2012;).

Seguindo o princípio da distância como fator determinante no tempo do arraste (BRAZ, 2005), os tempos *padrão* do arraste encontrados nas duas áreas de estudo foram semelhantes

apesar da diferença entre a distribuição e extensão das trilhas de arraste. Todavia, na floresta privada a produtividade foi superior em 53,7 %, expressivamente melhor.

Na floresta privada, o sistema de colheita baseou-se no *CELOS Harvesting System* (GRAAF; ELDIK, 2011). Corte, pré-arraste e arraste compoem esse sistema, o qual emprega o guinchamento de toras até as trilhas preliminarmente ao arraste, evitando que os tratores do arraste cheguem aos locais de cada árvore cortada. Para isso, trilhas de arraste distribuem-se em distâncias regulares e em maiores extensões e são consideradas estruturas permanentes.

As atividades no pré-arraste proporcionaram uma distribuição favorável de toras ao longo das trilhas, diminuindo o tempo de manobra e engate das toras pelo *skidder* equipado com pinça. Consequentemente, isso permite que sejam transportadas para o pátio mais de uma tora por viagem, aumentando sua produtividade e reduzindo seu custo de produção.

Quanto a qualidade da exploração, o dossel na floresta privada não explorada teve cobertura superior ao encontrado em outro estudo em área próxima à região deste estudo. A cobertura da floresta não explorada aqui foi de 85,7 % e no outro estudo foi de 75,4 % (HAUGAASEN; PERES, 2006). Essa diferença assemelhou-se mais à cobertura de dossel da floresta privada após a exploração.

Na mesma unidade de manejo da floresta pública, outro estudo sobre o dossel demonstrou que a cobertura da floresta não explorada foi de 89,9 % e que, clareiras, trilhas de arraste e pátios apresentaram 13,9 %, 12,2 % e 24,0 %, respectivamente (PINAGÉ et al. 2013). No estudo aqui realizado na floresta pública, antes do corte a abertura foi de 89,9 %. Isso conferiu boa estimativa de cobertura do dossel pelo método aqui utilizado. Na floresta após o corte, a cobertura aqui encontrada apresentou valor situado entre clareiras e pátios do estudo realizado por Pinagé et al. (2013).

Avançando na avaliação da qualidade da exploração em termos de danos ao dossel, estimou-se a área da abertura do dossel com base nos resultados de abertura, número de árvores e área explorada. Assim, chegou-se uma área de clareira por árvore de 218 m<sup>2</sup> na floresta privada, cuja a abertura causada por cada árvore foi de 13,8 %. Da mesma maneira, na floresta pública, as aberturas no dossel provenientes do corte foram, em média, de 263 m<sup>2</sup> por árvore. As aberturas do dossel foram captadas na base das árvores extraídas antes e após o corte, refletindo, assim, o dano sob a projeção vertical da copa. Logo, em função da trajetória de queda, os valores de abertura ou clareiras terão área maior. Isso foi observado em campo.

Comparando os resultados aqui encontrados ao de florestas exploradas na África, o impacto no dossel causado por queda de árvores verificados no estudo indicaram áreas abertas de 500 m<sup>2</sup> por árvore derrubada (HAWTHORNE et al., 2012). Em outro estudo, o tamanho médio da abertura causada pela queda de árvores em floresta do Gabão, África, foi de 302,4 m<sup>2</sup>, com árvores de diâmetro médio de 85 cm (DAP). Adicionalmente, esse estudo sinalizou para a relação positiva entre tamanho de abertura de dossel com o tamanho das árvores. No Pará, Brasil, estudo demonstrou que após dois anos de exploração autorizada, as clareiras provocadas pela derrubada de árvores apresentaram área média 427,2 m<sup>2</sup> (SCHWARTZ et al., 2013).

Verificando os danos na floresta provenientes da implantação de trilhas de arraste e à abertura de dossel promovida pela derrubada, os valores registrados foram de 19,8 m<sup>2</sup> e 592 m<sup>2</sup> por árvore extraída, respectivamente. Ao total, a infraestrutura de exploração gerou 25% de danos à área explorada em florestas da Bolívia (JACKSON et al., 2002; PARK et al., 2005).

Em média, danos da exploração na cobertura do dossel proveniente de queda de árvores e da implantação da infraestrutura tem provocado uma abertura em torno de 14% em relação às áreas totais exploradas. Esse impacto tem sido encontrado em diversos tipos de floresta úmida na faixa tropical, como por exemplo, no Brasil, Malásia, Guiana e Bolívia (JOHNS et al., 1996; PEREIRA JR et al., 2002; VAN DER HOUT, 1999). Mesmo que as trilhas de arraste sejam planejadas com rigor, o arraste continua causando danos à floresta residual (MEDJIBE et al., 2011). Estudo demonstrou que a operação de arraste gerou danos pesados à vegetação remanescentes de 12 % em floresta explorada na Indonésia (ELIAS, 1998). As operações de exploração têm causado danos em 25 % no total das áreas estudadas. Baseando-se nessas informações e outras a respeito de danos, a exploração tende a ser não sustentada em ciclos de corte de 40 anos nas florestas estudadas em Gana, por exemplo (HAWTHORNE et al., 2012).

Considerando os danos ao solo causados pela exploração quando comparadas as técnicas autorizadas e convencional, estudo realizado em florestas da Malásia indicaram perturbações de 6,8 % e 16,6 % em relação à área total, respectivamente. Destacou-se que, o dano ao solo foi reduzido à metade quando comparados a exploração autorizada à convencional. Porém, ainda permanecem problemas com a compactação de solos provocado pela movimentação de máquinas, principalmente porque a compactação atinge seus altos níveis logo nas primeiras passadas dos rodados ou esteiras (BRAZ, 1997; DIAS; NORTCLIFF, 1995; KOGER et al., 1985; PINARD et al., 2000).

Mesmo que as trilhas de arraste sejam planejadas com rigor, o arraste continua causando danos à floresta residual. Do total de uma área explorada na floresta no Gabão, África, foram afetados da superfície do solo 2,8 % e 2,6 % com trilhas de arraste e manobras de máquinas durante, respectivamente. Os valores mencionados referiram-se a uma exploração de 4,5 árvores por hectare (MEDJIBE et al., 2011). Além disso, estudo demonstrou que a operação de arraste gerou danos pesados à vegetação remanescentes de 12 % em floresta explorada na Indonésia (ELIAS, 1998).

Os distúrbios ao solo provenientes da exploração foram entendidos como de longo prazo em estudo realizado na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. Similar ao método realizado aqui, a densidade do solo foi verificada 16 anos após a exploração na camada de 0 a 5 cm de profundidade. Os resultados demonstraram o aumento da densidade do solo em relação a uma área isenta da exploração, principalmente nas faixas de rodagem das trilhas de rodas (MCNABB et al., 1997).

Avaliando o impacto da exploração florestal após 13 anos e com intensidade de 7 a 10 árv. ha<sup>-1</sup> em Floresta Ombrófila Densa no Estado do Amazonas, os valores de DS de 4 a 7 cm de profundidade foram significativamente superiores comparados ao solo da floresta sem atividades de exploração, porém não significativamente diferentes entre as trilhas, clareiras ou floresta remanescente. As densidades encontradas foram de até 1,2 kg dm<sup>-3</sup> (MELLO-IVO; ROSS, 2006).

Avaliando a RPS, no estudo de Mello-Ivo e Ross (2006), houve diferença significativa superior para a área explorada em relação à não explorada, principalmente em trilhas de arraste, com 430 KPa aproximadamente de resistência alcançada. De maneira geral, esse estudo concluiu que a exploração de madeira gerou impactos ao solo, elevando sua densidade e resistência a penetração, indicando maior compactação, conseqüentemente, afetando negativamente no reestabelecimento da floresta em regeneração.

Para estudo aqui desenvolvido, DS e RPS para floresta privada foram provenientes de estudo anterior, porém na mesma área (BOMFIM, 2013). Esses resultados indicaram diferenças entre a área explorada após 3 anos e a não explorada para DS, sendo inferior na explorada. Esse comportamento indicou a capacidade de resiliência do solo com a redução da densidade ao longo do tempo após o impacto ao solo (HIRAI, 2008). Para RPS, os resultados não apontaram diferenças significativas entre áreas exploradas e não exploradas, exceto para trilhas de arraste e pátios de estocagem, esses com valores muito superiores.

Considerando os impactos ao solo na floresta pública, não houve diferença significativa para a DS em relação a sua profundidade no solo. No entanto, a área explorada

2 anos antes da coleta apresentou valores estatisticamente superiores. As resistências de trilhas e pátios foram estatisticamente iguais e também superiores à floresta remanescente (explorada) que, por sua vez, foi superior à floresta não explorada.

As densidades médias foram diferentes numericamente entre os solos das florestas privada e pública, essa última menor. Na floresta privada, o solo classificado com LAd apresentou densidade média de  $1,793 \text{ g cm}^{-3}$ . Na pública, o solo classificado como LVAd-1 apresentou DS de  $1,185 \text{ g cm}^{-3}$ . Os valores acima servem de valores de referência desses solos para futuros estudos.

Nos sistemas de operações empregados na floresta privada e na pública, basicamente, as maiores compactações foram observadas em trilhas de arraste e pátios. Na pública, o solo da floresta remanescente foi impactado, sinalizando que, a movimentação dos trabalhadores, a queda de árvores, a abertura do dossel, a alteração na camada de serapilheira ou as condições locais após a exploração influenciaram negativamente. Além disso, parte dessa área foi utilizada como trilhas de arraste, não claramente identificadas em virtude do pouco número de passadas do *skidder*. Na privada isso não foi visualizado, mesmo porque, apenas os trabalhadores do corte, a queda de árvores e a movimentação de toras pelo guinchamento exerceram influência na floresta remanescente.

A compactação do solo influencia na regeneração e estabelecimento da floresta. As raízes exercem pressão máxima de 1,3 MPa, cessando seu crescimento aos 5 MPa. No entanto, esses valores podem variar bastante em função das variáveis do solo e condições locais. A RPS depende da densidade e do teor de umidade do solo, aumentando com a diminuição da umidade e com o aumento da densidade (GREACEN; SANDS, 1980; MIRREH; KETCHESON, 1972; MISRA et al., 1986).

Portanto, foram constatados na floresta pública danos ao solo provenientes da exploração. Na área privada, os danos ocorreram apenas em trilhas e pátios somente. Apesar de diferentes estatisticamente, em nenhuma das áreas estudadas a RPS foi inferior a 5 MPa, ou seja, o impacto gerado não inibiria totalmente crescimento radicular das árvores em regeneração ou desenvolvimento (MISRA et al., 1986). No entanto, os valores encontrados geraram impactos negativos, dificultando o crescimento radicular da floresta.

Os valores de RPS na floresta pública, mesmo em área não explorada, apresentaram valores próximos ao da privada. Mesmo tratando-se de solos diferentes e considerando que a densidade e a umidade influenciam na RPS, esperaram-se que maiores RPS fossem verificadas na floresta pública, uma vez que sua densidade foi menor. Uma possível explicação cairia sobre a umidade do solo no momento da coleta com o penetrômetro. Na

floresta pública, a coleta foi realizada em período de seca (julho), enquanto que, na privada, em período chuvoso do ano (fevereiro). Estudos sobre as características físicas e mecânicas desses solos poderiam revelar melhor esse comportamento.

Diferentemente da floresta privada, as trilhas e os pátios apresentaram RPS média similares à da floresta remanescente. Apesar de numericamente superiores, o impacto causado pela a movimentação de máquinas não foi significativamente diferente entre elas. As curvas de RPS revelaram alterações do comportamento mais pronunciados entre 15 e 25 cm de profundidade para as trilhas de arraste, enquanto que, na curva média para a área explorada (floresta remanescente), a RPS foi mais homogênea ao longo das profundidades. Na floresta pública, os valores de RPS para trilhas e pátios foram quase o dobro dos da área explorada.

Analisando os comportamentos de resistência à penetração, na floresta privada a movimentação de máquinas foi maior. Além do arraste realizado com *skidder* de maior potência e peso, na mesma trilha houve a passagem anteriormente do trator de esteira utilizado no pré-arraste. Outro agravante da compactação foi que, além de duas diferentes máquinas, a força de trabalho de arraste contou com três *skidders* na mesma frente de trabalho. Em outras palavras, esse comportamento apontou para tendência de aumento da compactação quando maior for o número de máquinas utilizadas e, esse efeito é propagado ao longo da profundidade do solo.

Do ponto de vista dos fatores ergonômicos, a primeira consideração importante foi em relação ao perfil dos trabalhadores florestais em ambas as áreas. Na floresta privada constatou-se sinais de insatisfação, motivadas principalmente por salários, periculosidade e carga diária de trabalho. Quanto a carga diária, os trabalhadores permaneceram nas áreas de exploração da floresta privada durante 10 horas, adicionando 1,5 h gasto com o deslocamento do acampamento às áreas florestais (ida e volta). O tempo de pausa das atividades para o almoço foi de uma hora, sendo esse realizado às margens da estrada ou do pátio de estocagem mais próximo à área de trabalho. Além disso, foram notáveis os sinais de desgaste físico pelos trabalhadores ao final da jornada diária. Apesar de tudo, foi possível verificar o bom sincronismo entre atividades e funções, cumprimento de critérios de sustentabilidade e segurança no trabalho e bom nível técnico acerca das atividades desempenhas, retratando bons treinamentos.

Vale citar, o registro de ataques de aves ou insetos nos recipientes das refeições, assim como desconforto postural e térmico durante esse período almoço. Adicionalmente, destacou-se, também, o transporte de funcionários realizado por caminhões com carrocerias

(pau-de-arara) adaptadas para transportar desconfortavelmente, aproximadamente, 25 pessoas. Foram observados riscos eminentes de acidentes no transporte por motivos relacionados às condições climáticas, à presença de animais peçonhentos no interior da carroceria, à instabilidade e ao desconforto sentido pelos passageiros durante o percurso.

Ainda na floresta privada, o item de segurança no trabalho foi colocado pelos trabalhadores como relevantes na satisfação. Corte e pré-arraste foram as mais referenciadas. Não foram registrados acidentes durante a tomada de tempos dos ciclos, no entanto, registros foram presentes durante a exploração. A partir de percepção em campo, a operação de pré-arraste foi a mais perigosa, máquinas, motosserras, ferramentas e trabalhadores convivem muito proximamente.

Retratando a situação acima colocada, durante a execução do guinchamento, no elemento *cabo carregado*, a tora em movimento provoca interferências físicas na floresta, no extrato vertical e horizontal. Quedas de galhos e outros objetos foram frequentes, inclusive árvores. Dessa forma, tornou-se importantíssimo o correto posicionamento dos trabalhadores e a alta concentração durante esse elemento. No corte, os maiores riscos foram relacionados à queda de árvores e galhos.

Na floresta pública, os funcionários apontaram satisfação no trabalho. Da mesma maneira, o corte foi entendido como a operação de maior risco e pelos mesmos motivos da floresta privada. Como as áreas florestais em exploração eram próximas à cidade de residência dos trabalhadores, eles retornavam todo dia às suas casas. A jornada de trabalho foi de 8 horas, adicionando-se uma hora para o almoço e uma hora de transporte.

Por se tratarem de poucos funcionários, os manejadores disponibilizaram veículos (micro-ônibus) com boas acomodações, climatizado e com entretenimento de áudio. Parece irrelevante apontar esses detalhes, mas, momentos de descontração e descanso foram observados durante o transporte e, claramente, o aspecto segurança foi muito mais contemplado, refletindo na satisfação. Outro suporte disponibilizado, foi uma pequena área constituída por uma estrutura de madeira com telas contra mosquitos instalada sob o dossel da floresta e próximo às áreas em exploração. Os trabalhadores puderam fazer suas refeições e tomarem pausas para descanso com mais conforto aproveitando-se de mesa e bancos dentro dessa área de tela.

Nas atividades desempenhadas durante a operação de arraste na floresta pública, verificou-se grande sincronismo e agilidade entre o operador de máquinas e o auxiliar de engate de toras em solo. No entanto, essa mesma qualidade não foi observada entre as

equipes de corte. Aspectos de qualidade da exploração não foram observados tão rigorosamente, sobretudo pelo alto remanescente volumétrico no quesito altura de tocos.

O trabalho empregado na exploração em ambas as áreas foi considerado intenso em termos de gasto calórico. Nas atividades e nas áreas de estudo avaliadas, o esforço físico requereu, em média, 1875 kcal/jornada de trabalho. Portanto, o aspecto relacionado à demanda nutricional dos trabalhadores deve ser considerado com rigor (BATISTA, 2008).

Segundo a avaliação postural, a atenção imediata deve ser dada aos trabalhadores com a função de auxiliar de pré-arraste na floresta privada. Em ambas as áreas, os operadores de motosserra e auxiliares de corte devem ter atenção a médio e longo prazo, porém, indispensável. Desconfortos físicos foram apontados pelos trabalhadores da floresta privada, provavelmente pela maior jornada e ritmo intenso de trabalho.

Os níveis de ruídos foram acima dos valores mínimos permitidos pelas normas de saúde ocupacional para exposição sem o uso de equipamentos de proteção (BRASIL, 1996). As doses diárias foram limiares ao estabelecido pelas normas (BRASIL, 1996). Apesar disso, trabalhadores com funções próxima às máquinas e motosserras, assim como seus operadores, devem também utilizar equipamentos de proteção específicos.

Como característica intrínseca ao ambiente de trabalho florestal, as condições térmicas alcançaram IBUTG de risco à saúde durante a maioria da jornada de trabalho diária. Consequentemente, as medidas a serem tomadas influenciaram na jornada de trabalho devido a obrigatoriedade de pausas para repouso (FUNDACENTRO, 2002). Seria recomendável estudo verificando a produtividade e eficiência das operações empregando regimes de trabalhos baseados no IBUTG.

#### 3.3.6.1. Avaliação da exploração

Para colocar uma tora no pátio de estocagem, as atividades nas florestas privada e pública foram realizadas com eficiência média de 50,5 e 57,6 %, respectivamente. Na floresta privada, a produtividade média da exploração foi de 32,16 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> e na floresta pública a média foi de 21,06 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. A maior produtividade da exploração na floresta privada foi atribuída ao desempenho do arraste, o qual foi 39,6 % maior ao da floresta pública.

Basicamente, a alta produtividade do arraste na floresta privada foi proporcionada pela operação de pré-arraste, pelo sistema hidráulico de pinças instalado no trator *skidder*, além da infraestrutura de trilhas de arraste. A contribuição do pré-arraste se deu por sua função de posicionamento e distribuição das toras ao longo das trilhas, permitindo o engate de toras mais rapidamente. Quanto ao sistema de garras instalado no *skidder*, esse permitiu

o engate de mais de uma tora por viagem carregada. Assim, essas duas contribuições permitiram que uma maior quantidade de volume fosse transportada até ao pátio a cada arraste.

Em termos de custo, na floresta privada a operação de pré-arraste foi a mais cara, principalmente devido ao número de funcionários por equipe. Embora apresentando baixa eficiência, sua produtividade superou em duas vezes o corte, principalmente pelo seu menor tempo de ciclo operacional. A distribuição das toras ao longo das trilhas promoveu alta produtividade. Mais de duas toras puderam ser arrastadas a cada viagem do *skidder*.

Qualitativamente, foram avaliados os danos ao solo e ao dossel, o desperdício de tocos e a presença de árvores ocas. Os danos da exploração elevaram a densidade e resistência mecânica dos solos na floresta pública, tanto na floresta remanescente, como em trilhas e pátios de estocagem. Na floresta privada os efeitos negativos da exploração foram refletidos principalmente nas trilhas de arraste e pátios. O dano ao dossel foi significativo após o corte de árvores em ambas as áreas de estudo, sendo numericamente superior na floresta privada. O desperdício de toco foi mais expressivo na floresta pública em termos de volume médio por área. Porém, quando relacionado o desperdício em relação ao volume individual por árvore, 7,6 % e 5,1 % foram as porcentagens de desperdício de toco na floresta privada e pública, respectivamente. Isso devido ao maior diâmetro médio das árvores na floresta pública.

Árvores ocas planejadas para o corte representaram maior proporção na floresta privada. Por representarem 17,1 % das árvores planejadas para exploração, esse valor chamou a atenção por sua relevância em termos de volume deixado na floresta. Esse fator sinalizou restrições técnicas em virtude de características específicas desse sítio florestal. Essa restrição poderia ser melhorada com a identificação de árvores ocas antes do planejamento da exploração, ou seja, durante o inventário.

Quanto ao aspecto ergonômico, o trabalhador florestal empregado na exploração mereceu atenção em todas as atividades as quais desenvolveram. Esse aspecto apontou, ainda, para possíveis alterações na jornada de trabalho em virtude do tipo e ambiente de trabalho. Isso poderá influenciar nas produtividades e custos, requerendo maiores estudos. Enquadrando-se como atividade moderada, porém em seu mais alto nível, o trabalho florestal demandou de posturas de alto risco a saúde, necessitando de avaliações para tomada de medidas imediatas e de curto prazo.

Na Tabela 3.26, apresentaram-se organizadamente os resultados gerais e parâmetros relevantes à avaliação da exploração florestal.

**Tabela 3.26.** Resultados totais do estudo e informações dos POAs das áreas exploradas.

| Planejamento de exploração     |                                      |                    |                                   |                  |         |          |         |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------|---------|----------|---------|
| Estudo                         | Floresta privada                     |                    |                                   | Floresta pública |         |          |         |
| Altimetria                     | Mín.                                 | m                  | 67,1                              | 99,5             |         |          |         |
|                                | Máx.                                 |                    | 154,7                             | 125,9            |         |          |         |
| Declividade média              | %                                    |                    | 8,7                               | 4,14             |         |          |         |
| Classificação de solo          | Classe                               |                    | LAd                               | LVAd             |         |          |         |
| Área explorada                 | ha                                   |                    | 1222,07                           | 488,22           |         |          |         |
| DS                             | 0-10                                 | g cm <sup>-3</sup> | 1,73                              | a a              | 1,19    |          |         |
|                                | 10-30                                |                    | 1,82                              |                  | 1,22    |          |         |
|                                | 30-50                                |                    | 1,83                              |                  | 1,14    |          |         |
| RPS                            | 0-10                                 | MPa                | 2,35                              | a a              | 2,46    |          |         |
|                                | 10-30                                |                    | 2,87                              |                  | 2,91    |          |         |
|                                | 30-50                                |                    | 2,68                              |                  | 2,46    |          |         |
| Cobertura do dossel            | %                                    |                    | 85,7                              | 89,9             |         |          |         |
| Diâmetro médio                 | m                                    |                    | 63,1                              | 92,0             |         |          |         |
| Volume médio                   | m <sup>3</sup>                       |                    | 3,557                             | 6,794            |         |          |         |
| Volume total planejado         | m <sup>3</sup>                       |                    | 121.574,35                        | 12.583,04        |         |          |         |
| Intensidade de exploração      | n ha <sup>-1</sup>                   |                    | 5,41                              | 3,79             |         |          |         |
|                                | m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>      |                    | 25,905                            | 25,773           |         |          |         |
| Densidade de estradas          | m ha <sup>-1</sup>                   |                    | 10,0                              | 25,8             |         |          |         |
| Densidade de trilhas           | m ha <sup>-1</sup>                   |                    | 72,1                              | 96,9             |         |          |         |
| Número de pátios (20x25 m)     | n                                    |                    | 110                               | 43               |         |          |         |
| Exploração                     |                                      |                    |                                   |                  |         |          |         |
| Tipo de base do fuste          | Cil/Elíp                             |                    | 77,8                              | 32,1             |         |          |         |
|                                | Irr                                  | %                  | 11,1                              | 35,7             |         |          |         |
|                                | Sap                                  |                    | 11,1                              | 32,1             |         |          |         |
| Corte com cunha                | %                                    |                    | 27,8                              | 46,4             |         |          |         |
| Árvores ocas                   | %                                    |                    | 17,1                              | 6,6              |         |          |         |
| Impacto ao dossel              | %                                    |                    | 13,8                              | 9,4              |         |          |         |
| DS                             | 0-10                                 | G cm <sup>-3</sup> | 1,65                              | b b              | 1,27    |          |         |
|                                | 10-30                                |                    | 1,73                              |                  | 1,32    |          |         |
|                                | 30-50                                |                    | 1,71                              |                  | 1,34    |          |         |
| RPS                            | 0-10                                 | MPa                | 1,44                              | a b              | 2,31    |          |         |
|                                | 10-30                                |                    | 2,60                              |                  | 3,01    |          |         |
|                                | 30-50                                |                    | 2,70                              |                  | 2,87    |          |         |
| Volume médio de toco           | m <sup>3</sup>                       |                    | 0,161                             | 0,348            |         |          |         |
| Operações                      |                                      |                    | Corte                             | Pré-arraste      | Arraste | Corte    | Arraste |
| Jornada de trabalho            | h                                    |                    |                                   | 9                |         | 8        |         |
| Número de trabalhadores/equipe | n                                    |                    | 3                                 | 7                | 1       | 2        | 2       |
| Força de trabalho              | n                                    |                    | 6                                 | 3                | 3       | 3        | 1       |
| Eficiência operacional         | %                                    |                    | 62,6                              | 26,4             | 62,4    | 45,1     | 69,5    |
| Produtividade                  | m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>       |                    | 17,27                             | 36,345           | 42,857  | 16,32    | 25,885  |
| Produtividade do trabalhador   | m <sup>3</sup> hh <sup>-1</sup>      |                    | 8                                 |                  |         | 6        |         |
| Produtividade do trabalhador   | m <sup>3</sup> hh <sup>-1</sup>      |                    | 5,759                             | 5,192            | 42,857  | 8,163    | 12,943  |
| Custo de produção*             | R\$ m <sup>-3</sup>                  |                    | 2,36                              | 2,78             | 1,55    | -        | -       |
| Custo de produção/trabalhador* | R\$ m <sup>-3</sup> hh <sup>-1</sup> |                    | 0,79                              | 0,40             | 1,55    | -        | -       |
| Tipo de trabalho               | Classe                               |                    | Moderado                          |                  |         | Moderado |         |
| Carga de trabalho              | Kcal dia <sup>-1</sup>               |                    | 1935                              |                  |         | 1800     |         |
| Avaliação postural (OWAS)      | Código                               |                    | 1 a 4                             | 2 a 4            | 1       | 2 a 3    | 3       |
| Dose diária de ruído (NEN)     | %                                    |                    | 97,5                              | 95,8             | 95,4    | -        | -       |
| Ritmo Trabalho/descanso        | min.                                 |                    | 45 min. trabalho/15 min. descanso |                  |         | -        |         |

Base do fuste: Cil/Elíp = cilíndrico ou elíptico; Irr = acanelado, digitado ou forma diferenciada; Sap = sapopema; OWAS: 1 = Postura normal, que dispensa cuidados; 2 = Postura que deve merecer atenção a curto prazo; 3 = Postura que deve ser verificada durante revisões dos métodos de trabalho; 4 = Postura que deve merecer atenção imediata. Letras localizadas entre os resultados de DS e RPS representam as diferenças significativas entre médias.

Na floresta privada foram explorados 81,2 % do que foi planejado e na floresta privada 88,1 %. Danos ao dossel foram proporcionais à intensidade explorada, porém acreditou-se que impactos para implantação de estradas, trilhas e pátios de estocagem foram gerados conforme o planejado (Tabela 3.27). De maneira geral, os impactos foram semelhantes com o que tem sido verificado na exploração de florestas tropicais úmidas (HAUGAASEN; PERES, 2006; HAWTHORNE et al., 2012; JACKSON et al., 2002; JOHNS et al., 1996; PARK et al., 2005; MEDJIBE et al., 2011; PEREIRA et al., 2002; SCHWARTZ et al., 2013; VAN DER HOUT, 1999). Entretanto, o sistema da floresta privada gerou menos impactos em função da menor quantidade de trilhas e da diminuição da movimentação de máquinas no interior da floresta.

**Tabela 3.27.** Avaliação da exploração florestal nas áreas estudadas.

| Avaliação da exploração             |                                 | Floresta privada |       | Floresta pública |       |       |
|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|-------|------------------|-------|-------|
| Tempo (tora colocada no pátio)      | h                               | 1,05             |       | 1,22             |       |       |
| Custo (madeira colocada no pátio)   | R\$ ha <sup>-1</sup>            | 173,16           |       | -                |       |       |
| Intensidade de exploração planejada | m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> | 25,905           |       | 25,770           |       |       |
| Volume explorado                    | m <sup>3</sup>                  | 21,031           | 81,2% | 22,720           | 88,1% |       |
| Perdas                              | Ocas                            | m <sup>3</sup>   | 4,430 | 17,1%            | 1,73  | 6,7%  |
|                                     | Toco                            | m <sup>3</sup>   | 0,445 | 1,7%             | 1,33  | 5,2%  |
|                                     | Total                           | m <sup>3</sup>   | 4,874 | 18,8%            | 3,05  | 11,9% |
| Impactos na floresta                | Dossel                          | ha               | 0,14  | 13,8%            | 0,10  | 10%   |
|                                     | Infraestrutura                  | ha               | 0,11  | 11,0%            | 0,36  | 26%   |
|                                     | Total                           | ha               | 0,25  | 24,8%            | 0,36  | 35,8% |

Frente a expressiva taxa de perda das áreas florestais tropicais nos últimos anos (FAO, 2011), o limitado estoque brasileiro (MERRY et al., 2009) e a incerteza do comportamento do crescimento sustentável viável à produção madeireira (MACPHERSON et al., 2011), aqui verificaram-se a realização de explorações autorizadas com média de 85 % de aproveitamento e de 30 % de degradação, dentro do padrão de exploração que vem sendo praticado. Isso retrata um cenário contratatório e aponta para a insustentabilidade do manejo, principalmente porque as práticas operacionais permanecem as mesmas, assim como os impactos causados ao longo do tempo (HAWTHORNE et al., 2012).

Adicionalmente, a exploração florestal tem demandado atenção imediata para os riscos à saúde dos trabalhadores e a influência desses no desempenho das atividades exercidas. Os riscos aos trabalhadores foram mais evidentes em termos de posturas praticadas durante as atividades, as quais foram consideradas como de alto risco de lesão corporal necessitando medidas mitigadoras urgentes. O desempenho das atividades pode ser influenciado pela alteração do regime de trabalho, normatizado conforme às condições

térmicas do ambiente de trabalho florestal estudo. Todos esses fatores contribuem, também, para insustentabilidade do manejo do ponto de vista social.

Se relacionados o volume efetivamente extraído com a área impactada pelo manejo, na floresta privada a intensidade sobre a área impactada foi de 84,124 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e na pública de 63,111 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Essa relação pode expressar o seguinte: quanto maior o valor encontrado, maior o aproveitamento da madeira em relação à área danificada. Vale acrescentar que, esses valores de perdas incorporaram apenas o volume do toco, perdas com galhos médios e grossos das árvores podem aumentar esses números.

A avaliação final mostrou que o sistema CELOS da floresta privada teve maior produtividade em função do arraste e menor proporção de danos, principalmente pela menor densidade de infraestrutura requerida. Na floresta pública, área impactada foi maior devido à maior quantidade de estradas, trilhas de arraste e pátios implantados. Por fim, o sistema de operações da floresta pública apresentou menor produtividade da exploração em relação à da floresta privada, mesmo apresentando árvores com maiores volumes individuais. De fato, a superioridade do sistema da floresta privada foi devido ao desempenho da operação de arraste, fortemente influenciado pela operação de pré-araste.

### 3.4. CONCLUSÃO

Foram avaliados dois diferentes sistemas de exploração autorizada com intensidades de corte semelhantes. O primeiro foi em floresta privada e empregou o conjunto de operações pré-arraste (guinchamento) e arraste na extração das toras, baseado no *CELOS Harvesting System*. O segundo foi em floresta pública e utilizou apenas a operação de arraste na extração. Cada conjunto de operação requereu infraestrutura e organização do trabalho adequadas para sua execução.

O sistema da floresta privada foi superior em desempenho operacional. O posicionamento favorável das toras ao longo dos ramais de arraste e a utilização do dispositivo de garras do skidder permitiram o rápido carregamento e o transporte de mais de uma tora por arraste. Esses fatores elevaram a produtividade da extração e, conseqüentemente, a da exploração como um todo.

Apesar de sua superior produtividade, a extração na floresta privada foi alcançada com alto custo. Diferentemente do sistema da floresta pública, foi necessário incluir a operação de pré-arraste, que correspondeu à metade do custo da exploração com operações. Além disso, as atividades inerentes ao pré-arraste acarretam baixa eficiência operacional e demandam alto nível de organização de trabalho.

A qualidade da exploração nos sistemas foi negativamente interferida pelas perdas na produção planejada. Na floresta privada, as perdas destacaram-se pela ocorrência de árvores ocas na programação de corte e na floresta pública, pelo o volume remanescente nos tocos. Essas perdas não traduziram características de cada sistema de exploração, mas do planejamento e do treinamento de funcionários.

Quanto qualidade da exploração em termos de danos, os impactos gerados ao dossel foram semelhantes nos sistemas estudados e, também, não dependem de suas características. Mas, tratando dos danos ao solo, o sistema influenciou na quantidade de impacto gerado. Nesse aspecto, a floresta privada apresentou superioridade, pois a quantidade de trilhas de arraste e movimentação de máquinas no interior da floresta é consideravelmente menor.

Um dos maiores impactos negativos da exploração incidiu sobre o trabalhador florestal, independente do sistema aplicado. As atividades e a condição de trabalho no ambiente florestal prejudicam a saúde e a qualidade de vida dos trabalhadores envolvidos e tendem a interferir no desempenho das atividades. Portanto, partindo dos princípios ergonômicos, as atividades de exploração devem ser adequadas ao trabalho florestal, e não o contrário.

## 4. PLANEJAMENTO ESPACIAL DA INFRAESTRUTURA DE EXPLORAÇÃO FLORESTAL

### 4.1. INTRODUÇÃO

Considerando a exploração madeireira em áreas sob o regime de manejo florestal sustentável na Amazônia legal brasileira, o limite técnico máximo de corte estabelecido por lei é  $30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  (BRASIL, 2007). Na prática, estudos têm mostrado que a intensidade média de exploração na Amazônia brasileira tem se aproximado de  $21 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Para prover o manejo desse volume ou atender essa intensidade média de exploração, o solo da floresta tem sofrido vários impactos, especialmente em relação a implantação da infraestrutura de estradas, trilhas de arraste e pátios de estocagem de madeira. Os impactos no solo atingem em média 10 % do total da área manejada (BRAZ et al, 2012; FERREIRA, 2007; GARDINGEN et al, 2006; GONÇALVES; SANTOS, 2008; HOLMES et al, 2004; JACKSON et al, 2002; LENTINI et al, 2009; PEREIRA Jr. et al, 2001; PINTO et al, 2002; SCHWARTZ et al, 2013; SIST; MACPHERSON et al, 2012; WADSWORTH; ZWEEDE, 2006).

A implantação da infraestrutura, assim como as atividades envolvidas durante a exploração, causa mudanças significativas e persistentes nas propriedades químicas e físicas do solo (JONKERS; SCHIMIDT, 1984; MELLO-IVO; ROSS, 2006; OLANDER et al, 2005). Com a implantação da infraestrutura, além da remoção do volume comercial, parte do estoque futuro também é removido e ocupado por estradas, trilhas e pátios. A partir de uma simples aproximação, utilizando as informações anteriores, pode se inferir que para cada hectare de solo aberto para implantação da infraestrutura,  $2,15 \text{ m}^3$  de madeira de valor comercial atual deixam de crescer definitivamente na floresta. Nesse contexto, esse estudo foi idealizado n tentativa de reduzir o impacto gerado pela infraestrutura, referindo-se à quantidade de solo exposto ou danificado na floresta.

Como ponto de partida, foi considera que a taxa de 10 % de impacto na floresta é proveniente do planejamento da infraestrutura condicionada aos critérios técnicos, legais e ambientais de sustentabilidade do manejo (BRASIL, 2006; BRASIL, 2012; BRAZ et al., 1998; DYKSTRA, 1996). Considerando as atuais diretrizes estabelecidas e a influência do planejamento na sustentabilidade do manejo florestal, seria possível reduzir ainda mais os danos causados pela implantação da infraestrutura?

O norte para a resposta foi endereçado ao tipo de planejamento empregado no manejo da Amazônia brasileira. Estradas, trilhas de arraste e pátios correspondem a maior causa dos impactos provenientes da exploração e, quando planejadas adequadamente, reduzem efetivamente os danos e custos e, aumentam, ainda, a eficiência operacional das atividades (SESSIONS, 2007a; 2007b). Sabe-se que, reduções de custo da exploração e impacto e ganhos em produtividade têm sido verificadas com a melhoria das técnicas de exploração empregadas nos últimos anos, em parte, essas foram providas pelo planejamento prévio das etapas de exploração (BRAZ, 1997; BRAZ; OLIVEIRA, 1997; AMARAL et al., 1998; BAUCH et al., 2007; BOLTZ et al., 2001; FAO, 2004; HOLMES et al., 2001; MACPHERSON et al., 2010; PEREIRA JR. et al., 2002; SIST; FERREIRA, 2007; FIGUEIREDO, 2007)

#### **4.1.1. Planejamento florestal**

O planejamento florestal pode ser dividido em nível estratégico, tático e operacional. O nível de planejamento estratégico engloba os mais altos níveis de objetivos voltados para grandes áreas e longos períodos de tempo. O nível de planejamento tático envolve um tempo mais curto e considera ações em nível da área definida para o manejo, ou geralmente em nível de bacia hidrográfica. Por sua vez, o nível operacional, algumas vezes chamado de plano de exploração, refere-se ao conjunto de ações necessárias para implantação do projeto de manejo, geralmente em curtos períodos de tempo (KANGAS et al., 2008; SESSIONS, 2007b; SESSIONS et al., 2007).

Na prática, o planejamento estratégico em ambiente empresarial pode incluir a compra de terras, decisão de construir pontos de processamento, definição do período de fornecimento de madeira e a intensidade de exploração. No nível tático são planejadas as estradas e suas densidades, os compartimentos de produção, programação de colheita dos compartimentos, prognose de mercado e estimativa de estoque de madeira. No nível de planejamento operacional realiza-se a determinação dos compartimentos e áreas protegidas, o inventário das áreas a serem colhidas, as estradas secundárias, trilhas e pátios, a definição de equipamentos, pessoal e custos. Para ambos os níveis são requeridos à identificação espacial das feições de interesse de manejo, a confecção de mapas baseados nos dados de campo e de fontes digitais disponíveis, como modelos de elevação e declividade, imagens de satélite e bases cartográficas (KANGAS et al., 2008; SESSIONS, 2007b; SESSIONS et al., 2007).

Tendo como base as atuais diretrizes da legislação e as técnicas praticadas, o planejamento da infraestrutura de exploração tem sido baseado em um modelo sistemático de subdivisão da área de manejo em unidades de trabalho, geralmente, padronizadas com dimensões quadrangulares ou retangulares. As estradas e os pátios são distribuídos em distâncias regulares. Por conseguinte, as trilhas de arraste são planejadas a partir dessas últimas infraestruturas e podem, também, serem sistematicamente distribuídas (AMARAL et al., 1998; BRAZ, 1997; 2005; DYKSTRA, 1996).

Um aspecto pode restringir a sistemática de delimitação e distribuição da infraestrutura como tem sido feito: a heterogeneidade ambiental da floresta ombrófila tropical. A heterogeneidade do ambiente florestal tropical foi verificada como aspecto que dificulta o planejamento e a execução da exploração como um todo (BRAZ, 2005), uma vez que diversas características ambientais devem ser consideradas simultaneamente para o desenvolvimento do planejamento (SESSIONS, 2007a; 2007b).

Um dos métodos de exploração que vem sendo empregado é o *CELOS Harvesting System* (CHS), o qual utiliza as operações de guinchamento (pré-arraste) e arraste para a extração das toras. Além disso, todas as atividades de exploração são baseadas em mapas de campo contendo informações espaciais da infraestrutura e da posição das árvores. O planejamento da rede de estradas e trilhas de arraste considera os aspectos do relevo, e ambas são tidas como estruturas permanentes e, por isso, são planejadas com rigor. Especificamente para as trilhas de arraste, o CHS adota a distribuição em intervalos regulares entre elas de 100 a 150 m. Assim como a sistematização das trilhas de arraste, os pátios também seguem uma equidistância de distribuição padronizada. (GRAAF, 1982; JONKERS; HENDRISON, 2011; JONKERS; SCHIMIDT, 1984).

Fortemente ligado ao uso do SIG, o planejamento espacial florestal foi contextualizado como técnicas de tomadas de decisão utilizando, por exemplo, a simulação, a otimização matemática e a heurística para solucionar problemas espaciais envolvidos no manejo florestal. O planejamento espacial florestal torna-se, então, uma opção dos manejadores para adotar técnicas que lidam com a fragmentação da floresta e os efeitos acumulativos das atividades de exploração. O planejamento espacial da floresta envolve, por exemplo, algumas das técnicas que incorporam os objetivos em um aspecto espacial dentro de um plano de manejo florestal (BETTINGER; SESSIONS, 2003; TOMLIN, 1990).

Um avanço no planejamento da exploração na Amazônia brasileira foi o modelo digital de exploração florestal - *MODEFLORA* desenvolvido no Estado do Acre, Brasil. Esse modelo partiu da dificuldade de se planejar a infraestrutura e se realizar a exploração

em uma floresta tropical tão heterogênea, com variações muito mais expressivas em nível local. Basicamente, o modelo usou o sistema de informações geográficas – SIG, o sistema de posicionamento global por satélite – GPS e o sensoriamento remoto – SR como ferramentas convergentes ao planejamento da infraestrutura de uma unidade de manejo florestal para produção madeireira.

A primeira etapa para execução do MODEFLORE começou pela aquisição das coordenadas de todas as árvores de interesse do manejo com a utilização do GPS por meio do inventário 100%. Em seguida, a delimitação da área efetiva foi determinada utilizando os dados espaciais obtidos no microzoneamento, esses provenientes de levantamento com GPS em campo. O planejamento espacial das estradas em ambiente SIG foi realizado utilizando as bases de dados espaciais de relevo e hidrografia e, a quantificação e o posicionamento dos pátios utilizando um raio com distância pré-determinado. Então, iniciou-se a etapa de vetorização manual das trilhas em ambiente SIG, levando em consideração o relevo, a distribuição espacial das árvores dentro do raio de distância, a posição do pátio e as estradas. As trilhas de arraste assumem a feição dendrítica (espinha de peixe) quando interconectadas após a vetorização.

Os resultados da exploração com esse modelo têm mostrado o aumento do rendimento das operações e a redução de danos pela implantação de estradas e pátios, principalmente em função da redução da quantidade necessária dessas infraestruturas segundo o planejamento (FIGUEIREDO, 2007). No entanto, permanece sistemática a distância de arraste, uma vez que essas são limitadas ao raio estabelecido de cada pátio. Adicionalmente, a vetorização das trilhas torna-se um trabalho dispendioso.

#### **4.1.2. Tecnologias para o planejamento florestal**

De várias maneiras, diferentes tecnologias vêm sendo aplicadas no manejo florestal, como as geotecnologias e as técnicas matemáticas. As geotecnologias vêm sendo utilizadas para auxiliar na tomada de decisão do ponto de vista espacial do planejamento florestal. As técnicas matemáticas têm sido aplicadas para otimização técnica e econômica do manejo de florestas. Essas diferentes tecnologias podem ser integradas e combinadas para o planejamento mais eficiente.

Na exploração florestal, por exemplo, ferramentas disponíveis em ambiente SIG e combinadas a outras técnicas matemáticas têm sido usadas para o planejamento da rede de estradas florestais em função de aspectos ambientais de uma área de manejo (HAYATI et al., 2013). Além disso, SIG e técnicas matemáticas foram aplicadas no planejamento da

infraestrutura para reduções de impacto e custo (HOSSEINI et al., 2012), para a otimização das rotas a serem tomadas pelos veículos de transporte envolvendo custos de construção estradas e extração florestal (MURRAY, 1998), para quantificação e estimativa de estoques crescentes de florestas tropicais voltado para o manejo (SINGH et al., 2004), para a avaliação do impacto ao dossel da floresta em diferentes sistemas de exploração (SCHULZE; ZWEEDE, 2006) e para conservação da biodiversidade, produção, recreação e qualidade visual (BASKENT; KELES, 2005)

Com SIG e programação matemática, na qual foi utilizado um algoritmo genético multiobjetivo, foi realizado o planejamento otimizado visando à produção de madeira e a conservação de fauna (DUCHEYNE et al., 2006). O SIG e outras técnicas de múltiplos objetivos foram empregados para avaliação do impacto proveniente da exploração florestal e da compreensão ecológica da floresta como resposta ao manejo (LAWLEY et al., 2013). Técnicas envolvendo o uso de *network planning* em SIG e programação matemática foram utilizadas para o planejamento de estradas florestais para produção de madeira, resultando em expressiva redução de impactos (GUMUS et al., 2008).

O uso interconectado de geotecnologias como SIG e SR foram empregadas para a prognose e determinação do estoque futuro de madeira em floresta tropical com vista a auxiliar a criação de políticas e manejo da área (SINGH et al., 2004). Também, o desenvolvimento de políticas para definição de zonas de exploração em floresta tropical foi realizado com o uso do SIG e da avaliação multicritério como ferramentas para tomada de decisão (ISMAIL, 2009). Adicionalmente, técnicas de SIG têm sido utilizadas com o objetivo de mapear e determinar a produtividade de sítios florestais, subsidiando à tomada de decisão para programação de áreas de colheita (ALTUN et al., 2008).

Enfatizando uma das técnicas que podem ser utilizadas no planejamento florestal, os princípios operacionais das técnicas de heurística são bastante fáceis de compreender e essas podem ter uma interação entre o modelo de otimização e o tomador de decisão, o qual pode considerar a experiência e conhecimento dos manejadores ou pessoas envolvidas no planejamento (SESSIONS et al., 2007). Os métodos heurísticos buscam boas soluções aos problemas complexo reais a um razoável custo computacional (REEVES, 1993). Esses métodos podem produzir uma boa solução com uma expressiva simplificação dos cálculos, mas eles não são capazes de garantir a uma solução ótima. O benefício desses métodos é que os verdadeiros problemas de decisão podem ser descritos melhor do que com métodos exatos, podendo produzir melhores soluções para um problema real comparando com um método exato que seja mal elaborado (KANGAS et al., 2008).

### **4.1.3. A concepção do estudo**

Nesse estudo acreditou-se que a alocação das infraestruturas para exploração por meio do planejamento espacial resulta na redução da quantidade de danos ao solo, desconsiderando qualquer sistematização de distribuição de compartimentos, estradas, trilhas de arraste ou pátios. Esse planejamento espacial tratou-se de um método holístico realizado por meio da modelagem cartográfica, tomando como princípio o comportamento de uma bacia hidrográfica e os caminhos tomados por seus respectivos tributantes para gerar, analogamente, compartimentos e infraestruturas (SHREVE, 1967).

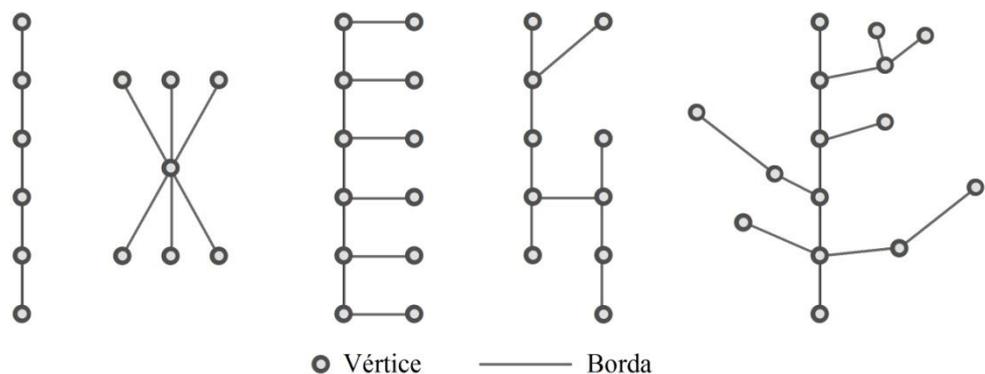
Dessa maneira, o modelo hidrográfico, o qual foi pensando para a distribuição da infraestrutura, considerou que as toras sairiam de sua posição original, análogas às nascentes em termos hidrográficos, seguindo até um ponto final, considerado como a foz de um rio. A área da bacia, então, é correspondente à área de manejo florestal. Para que as toras sejam “escoadas” do ponto original até o ponto final, essas devem tomar os caminhos mais favoráveis ao fluxo, assim como os tributantes de uma bacia.

Na prática, duas questões importantes foram consideradas: por onde os caminhos devem passar? Como os caminhos devem se conectar, uma vez que, assim como em uma bacia, os tributantes vão recebendo os fluxos de outros tributantes ao longo do caminho, compartilhando áreas de contribuição à medida que a quantidade fluindo pelos caminhos aumenta?

A decisão do caminho a ser tomado, primeiramente, depende da dificuldade de deslocamento em uma superfície. Em termos de modelagem cartográfica, essa decisão é abordada como um problema de alocação holístico, onde sua decisão é tomada tratando grupos de localização como totalidades integradas. A dificuldade, ou fricção em termos espaciais, é representada em um ambiente SIG por uma superfície matricial correspondente às dimensões da área com valores dos atributos por localização, expresso por custo, tempo ou qualquer unidade de interesse.

Adicionalmente, a decisão depende de quanto esses caminhos devem se estender em um determinado na área. A quantidade de caminhos pode ser determinada com método heurístico que, por meio de iterações, a rede de caminhos espalha-se na área, atravessando diferentes grupos de localidades, continuando ou parando conforme intervenção do manejador (TOMLIN, 1990). Pensando no planejamento proposto do estudo, uma menor quantidade de infraestruturas será implantada e essas serão alocadas nas áreas mais favoráveis ao manejo, considerando o relevo, a posição das árvores e a suas quantidades.

A conexão entre os caminhos é endereçada a teoria dos gráficos. A teoria dos gráficos foi primeiramente abstraída de uma situação de deslocamento entre dois locais, atravessando uma superfície real, onde caminhos foram restritos a uma determinada condição de conectividade (CHARTRAND, 1977). Como conceito, um gráfico ( $G$ ) pode ser entendido como um conjunto de vértices ( $V$ ) e conjunto de bordas ( $E$ ), tal que  $E$  é um subconjunto do conjunto de pares desordenados de  $V$ . Os gráficos são representados nas formas de diagramas, referida a uma superfície de duas dimensões, na qual os vértices são pontos e uma borda é mostrada como uma linha (arcos). Importante, ainda, *trees* definem-se como gráficos sem ciclos e, *forest*, como um gráfico sem qualquer ciclo, não necessariamente conectado, onde cada componente em *forest* é um gráfico *tree* (Figura 4.1) (CHARTRAND, 1977; PRÖMEL; STEGER, 2002).



Adaptado de Chartrand (1977) e Wallis (2006)

**Figura 4.1.** Algumas formas assumidas pelos gráficos *trees*.

O conceito de *tree* torna-se importante, então, para a solução de problema de busca do caminho de mínimo custo, os chamados *minimum spanning trees problem*. Seguindo os princípios da teoria de gráficos, existe um caminho em  $G$  entre os vértices  $v$  e  $u$ , uma vez que cada *tree* está conectada e esse não pode ter mais de um caminho  $v-u$ . Ainda, é possível construir um gráfico *tree* ( $T$ ), chamado de *spanning tree* de  $G$  e contém os vértices de  $G$  e, como em uma *network*, cada borda tem um valor de peso. Esse tipo de gráfico representará o caminho de mínimo peso (*minimum spanning trees*), uma vez somando os valores de suas bordas (PRÖMEL; STEGER, 2002).

Conforme o tamanho da coleção de pontos e bordas, encontrar a solução para o caminho de mínimo custo torna-se um trabalho dispendioso (WALLIS, 2006). Para a busca de boas soluções para os problemas reais retratados pela conexão de gráficos que buscam os caminhos de mínimo peso acumulado (*minimum spanning trees*) têm sido empregados diversos algoritmos (DIJKSTRA, 1959; JARNÍK, 1930; KRUSKAL Jr, 1956; PRIM, 1957).

No entanto, não existe um algoritmo capaz de solucionar problemas complexos de forma eficiente (JUNGNICKEL, 2005).

Trazendo para a realidade do planejamento florestal, o gráfico ou a infraestrutura seriam compostos pelos pontos, como árvores, pátios e locais de escoamento de produção da área de exploração e, as bordas, como as estradas, trilhas e cabos de arraste. Existe, então, dentro dessa rede da infraestrutura florestal, melhores caminhos que equivalem ao mínimo custo acumulado. Assim, buscou-se aqui boas soluções para encontrar as melhores opções para definir o local da infraestrutura de exploração florestal.

Em ambiente SIG, a teoria de gráficos tem sido implementada e utilizada de forma multidisciplinar. Em ambiente SIG, foi empregado algoritmo para planejamento de rotas de estradas e canais (COLLISCHONN; PILAR, 2000). Pensando, também, em problemas de otimização de rotas em uma rede estradas, foram desenvolvidos algoritmos para solução do problema utilizando técnicas em SIG, teoria de gráficos e heurística (VANHOVE; FACK, 2010). SIG e modelagem matemática em teoria de gráficos tem mostrado forte aplicação em análises espacial de *networks* (PENG et al., 2004). Adicionalmente, agregação de técnicas em SIG e teoria de gráficos foi utilizada para o estudo da fragmentação da floresta tropical em função do padrão espacial de estradas e assumindo ponto de vista das atuais práticas (ARIMA et al., 2005; ARIMA et al., 2008). Focando no estudo da fragmentação, foram utilizadas as técnicas de caminho de mínimo custo para analisar a conectividades de habitats (ADRIAENSENA et al., 2003). Tratando do problema de conectividade de paisagens, foi utilizado a teoria de gráficos envolvida na solução de *minimum spanning trees problem* em ambiente SIG para conservação ecológica (BUNN et al., 2000).

Retornando a questão da exploração florestal, o planejamento baseado na delimitação e distribuição sistemática da infraestrutura pode estar sendo demasiadamente danoso em termos ambientais. Para o complexo planejamento da exploração em uma floresta natural tropical, técnicas heurísticas poderiam auxiliar na simplificação do problema de alocação da infraestrutura, que poderia ser reduzida em quantidade e inteligentemente interconectada pensando como o *minimum spanning trees problem* da teoria de gráficos. Utilizando integradamente o ambiente SIG para inclusão de dados ambientais e modelagem cartográfica, as soluções para a redução de danos provenientes da alocação da infraestrutura poderiam, também, ser encontradas. Essas soluções não serão as melhores, mas as otimizadas em relação às atuais encontradas.

O estudo teve foco no planejamento da exploração florestal usando a modelagem espacial e técnicas matemáticas integradamente. O objetivo foi alocar espacialmente a

infraestrutura para a redução de sua quantidade e o seu maior aproveitamento técnico. Os resultados foram comparados ao planejamento realizado por manejadores, que executaram a exploração na área antes desse estudo.

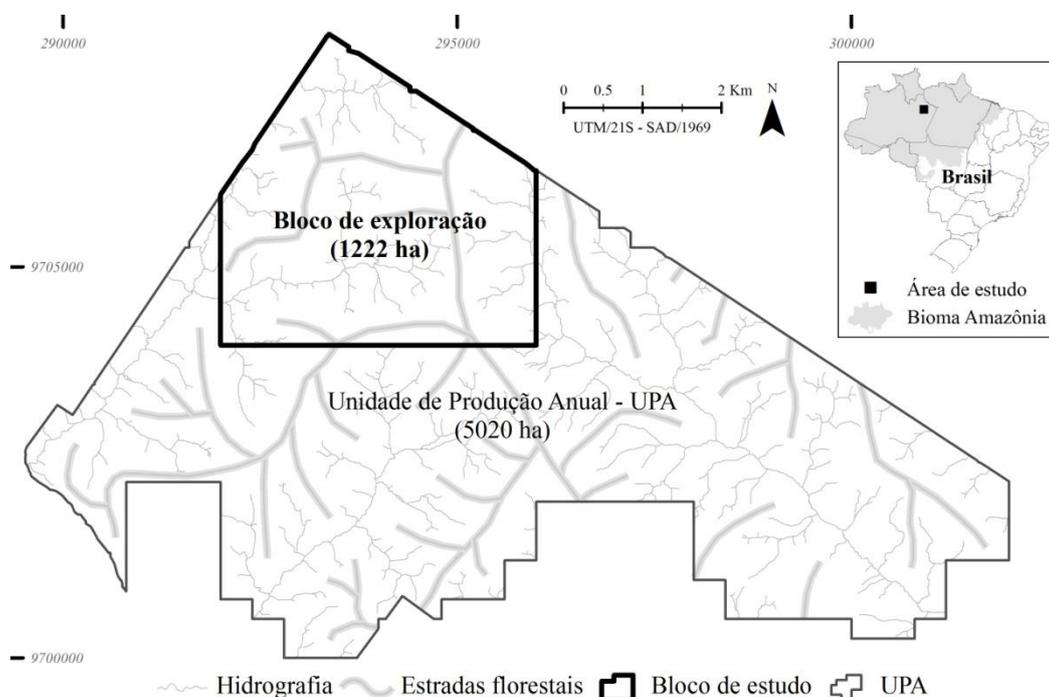
## 4.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em uma unidade de produção anual (UPA) em regime de manejo florestal sustentável no estado do Amazonas, Brasil. Com 5020 ha de área e localizada nas coordenadas (ponto central) 02°40'36" S e 58°50'34" W (Figura 4.2), a UPA é uma propriedade privada destinada à produção de madeira tropical.

Para a coleta de dados e a aplicação da metodologia foi selecionado um bloco de exploração dentro da unidade de produção anual (UPA). Os blocos são subdivisões na área da UPA definidas pelos manejadores com o objetivo de organizar as atividades de exploração. O bloco selecionado compreendeu uma área de 1222 ha (Figura 4.2).

A área situa-se em floresta ombrófila densa de terras baixas (IBGE, 1992) e o solo local predominante é o LAd3 (Latosolo Amarelo Distrófico + Argissolo Amarelo Distrófico) (EMBRAPA, 2009). O clima da região classifica-se como Equatorial Úmido, com média de temperatura anual de 27 °C, apresentando um a dois meses secos, com precipitação variando de 2000 a 2250 mm por ano (IBGE, 2002).



**Figura 4.2.** Localização geral da área de estudo e visualização do bloco de exploração selecionado para o planejamento.

#### **4.2.2. Planejamento praticado**

O planejamento da exploração florestal realizado pelos manejadores, seguindo o plano operacional anual, levou em consideração as diretrizes da legislação referente ao manejo florestal no Brasil (ABNT, 2007; BRASIL, 1965; BRASIL, 2006). Os métodos de colheita florestal empregados seguiram princípios do *CELOS Harvesting System* (GRAAF, 1982).

Basicamente, o planejamento realizado caracterizou-se pelas etapas da determinação e delimitação de áreas, do inventário florestal, do microzoneamento, da alocação da infraestrutura e das operações para colheita florestal. As atividades de exploração na área foram realizadas entre os anos de 2010 e 2011 (safra 2010/2011).

##### **4.2.2.1. Determinação e delimitação de áreas de interesse ao manejo**

A partir da definição legal dos limites da UPA, a qual foi feita com a aquisição de coordenadas e a materialização de pontos dos limites, os manejadores subdividiram a área a fim de organização das atividades e para facilitar os trabalhos de exploração em campo. Utilizando a base espacial dos dados de campo, o processo de subdivisão da área foi realizado em programa de sistema de informação geográfica (SIG).

A primeira divisão foi para determinar os blocos de exploração, esses com dimensões aproximadas de 4 x 4 quilômetros. A subdivisão seguinte foi para as unidades de trabalho (UT) com área de aproximadamente 100 ha e, em seguida foi a das unidades de campo (UC) de 10 ha (400 x 250 m). Em ambiente SIG a base de dados das áreas de interesse ao manejo foi utilizada para gerar mapas referentes à cada UC, os quais foram utilizados pelas equipes de exploração em campo com intuito de orientar e garantir a precisão de todas etapas da exploração.

##### **4.2.2.2. Inventário florestal**

Após a determinação e delimitação das áreas a serem exploradas, as atividades de inventário florestal foram iniciadas para obtenção de dados referentes à quantidade e a qualidade das espécies encontradas, as medidas das árvores, a classificação das árvores conforme interesse do manejo, a identificação botânica, a numeração específica de cada árvore e sua respectiva posição, entre outras informações para uso dos próprios manejadores.

Os métodos para levantamento dos dados utilizados no inventário baseiam-se em picadas de orientação chamadas de linhas de inventário. Essas linhas equidistantes a cada 50 m e com comprimento de 250 m receberam numeração específica para orientar as equipes

de campo. As linhas de inventário foram criadas em ambiente SIG e plotadas em mapas de campo utilizados pela frente de trabalho que realiza o levantamento. Em campo, a localização de cada árvore foi plotada manualmente no mapa impresso. Após o inventário, os mapas com a localização das árvores foram transformados para o formato digital em ambiente SIG e, então, foi criada a base espacial das árvores contendo seus respectivos atributos.

Foram incluídas no levantamento todas as árvores de interesse comercial com diâmetro mínimo de inclusão acima de 40 cm. Segundo o inventário, das 78 espécies identificadas de interesse do manejo, 47 foram selecionadas para o corte. A intensidade de exploração planejada foi de 25,90 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>a, equivalente a 4,41 indivíduos/ha.

#### 4.2.2.3. Microzoneamento

Acompanhando a frente de trabalho que realiza o inventário, uma equipe é responsável pelo microzoneamento da área em campo. Utilizando-se aparelhos receptores GPS (*Global Positioning System*) portáteis de navegação determinou-se o posicionamento da rede hidrográfica por meio da aquisição de trajetos. Adicionalmente, pontos de controle altimétrico foram tomados a cada 50 m, orientados em campo pela grade de coordenadas com intervalo de 50 m sobreposto aos mapas de campo.

Com essa base de dados em ambiente SIG, a rede hidrográfica, os pontos altimétricos obtidos em campo e juntamente com o modelo de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission-SRTM* de resolução espacial de 90, foram delimitadas as áreas de preservação permanente (APP) conforme parâmetros estabelecidos na legislação brasileira (BRASIL, 2102). A partir da determinação das APPs, foi gerada a área efetiva de exploração, a qual é representada pela área passível de atividades de colheita mutualmente exclusiva às APPs e áreas “ilhadas” por essas. Ao final, mapas de campo foram criados contendo todas as feições espaciais importantes para a execução da exploração.

#### 4.2.2.4. Alocação da infraestrutura

A infraestrutura necessária para as atividades de colheita florestal conta com a rede de estradas e trilhas de arraste e os pátios de estocagem de madeira. O planejamento da localização visou evitar o cruzamento de cursos d'água e as áreas de preservação permanente a fim de minimizar os impactos à floresta, conforme definido no plano operacional anual. Assim, com a base altimétrica e ambiental da área, a alocação da infraestrutura foi determinada em ambiente SIG e implantada na área.

A rede de estradas é composta pelos tipos principal e secundária, as quais foram planejadas para terem 12 e 8 metros de largura, respectivamente, para a abertura da floresta durante suas implantações.

As trilhas de arraste foram planejadas para terem 4,5 m de largura e serem distribuídas sistematicamente a cada 100, respeitando as áreas de proteção, aspectos topográficos e seguindo o posicionamento das árvores.

O planejamento dos pátios seguiu uma distribuição equidistante entre eles de 500 m, sempre que possível, ao longo da rede de estradas. Os pátios foram planejados com área quadrangular de 900 m<sup>2</sup>.

#### 4.2.2.5. Operações de exploração empregadas

A sequência básica de operações de colheita empregadas nesse sistema foram o corte de árvores, o pré-arraste (guinchamento de toras), o arraste de toras e as operações de pátio, necessariamente nessa ordem.

A frente de trabalho do corte foi responsável pelo corte e destopa das árvores selecionadas, deixando a tora pronta para a próxima operação. A frente do pré-arraste realizou o traçamento e a movimentação das toras (após o corte) até as margens das trilhas de arraste. O arraste é a frente que faz a movimentação das toras ao longo das trilhas até os pátios de estocagem, iniciando-se após o arraste, as operações de pátio com a medição (romaneio) e empilhamento.

#### 4.2.3. Dados

Foram necessários dados primários e secundários para aplicação dos métodos de planejamento propostos. Não foram necessárias coletas de dados em campo por parte dessa pesquisa.

Os dados primários disponibilizados pelos os manejadores da área foram à base de dados espaciais em formato digital da UPA. Essa coleção de dados espaciais (formato *shapefile*) foi composta pelos limites territoriais e de proteção ambiental, pela rede hidrográfica, pela localização geográfica das árvores exploradas e da infraestrutura florestal de estradas, trilhas e pátios de estocagem. Informações técnicas como dimensões das infraestruturas, capacidade volumétrica dos pátios e comprimento de cabo de guinchamento foram provenientes do plano de operação anual para a safra de 2010/2011, também disponibilizado pelos manejadores.

Os dados secundários foram os modelos digitais de elevação (02S60\_ZN) e de declividade (02S60\_SN) disponibilizados no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (INPE, 2009). Esses arquivos (formato *raster*) digitais possuíam resolução espacial de aproximadamente 30 m.

Basicamente, os processamentos computacionais foram realizados em formato matricial (*raster*). Assim, para o planejamento proposto nesse estudo considerou-se a escala mínima de trabalho a partir da resolução espacial de 30 m, ou seja, escala de 1:15.000. Essa mesma resolução foi adotada para o planejamento das estradas. Para as trilhas de arraste, entretanto, toda a base espacial matricial foi processada com resolução de 10 m a fim de captar melhor as distâncias entre as árvores. Isso não significou ganho de resolução real, uma vez que esse procedimento tratou-se apenas de uma divisão dos *pixels* dos dados *raster*.

Toda a coleção de dados e os procedimentos realizados foram referenciados ao sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator – UTM (zona 21 Sul) e ao datum SAD/1969.

#### **4.2.4. Ambiente computacional requerido**

A manipulação e análise dos dados espaciais foram realizados no programa ArcGIS versão 10.1, onde foram realizadas todas as etapas computacionais envolvidas na metodologia do estudo, ou seja, o planejamento de toda a infraestrutura foi processado nesse programa. A plataforma do programa disponibilizou todas as extensões e pacotes de ferramentas necessários para a realização do trabalho (Tabela 4.1).

Partes dos cálculos estatísticos, gráficos e resultados foram dispostas em tabelas do programa Microsoft Excel versão 7.

Os programas e todo processamento de dados foram realizados utilizando-se computador configurado com processador de 2.9 GHz de 6MB e com memória de 8GB de 1600MHz.

**Tabela 4.1.** Conjunto de pacotes de extensões e ferramentas utilizados nos procedimentos computacionais em ArcGIS.

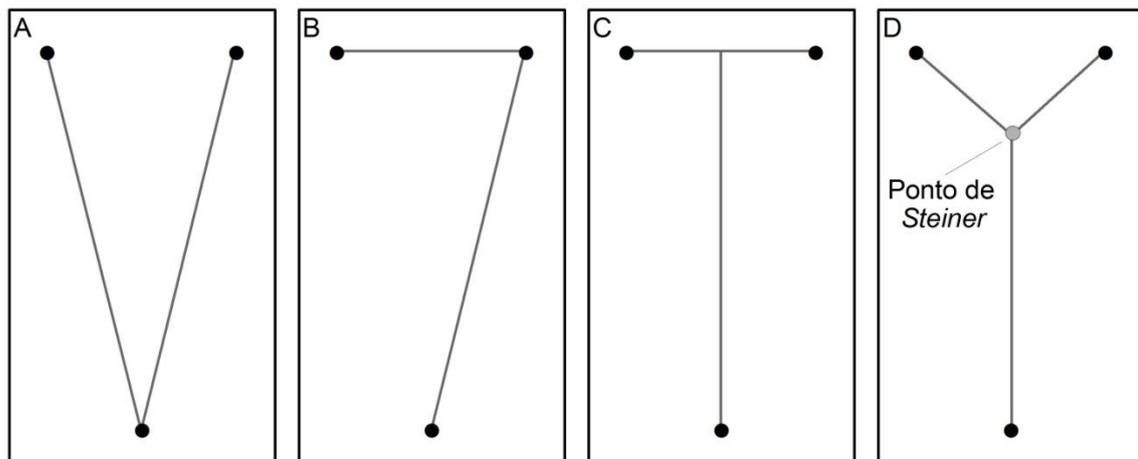
| Extensão                        | Função                          | Descrição  | Etapa do estudo              |
|---------------------------------|---------------------------------|--|------------------------------|
| <i>Analysis Tools</i>           | <i>Clip</i>                     | Manipulação e preparação de dados vetoriais  | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Buffer</i>                   | Determinação de áreas de influência a partir de dados vetoriais                                  | Desenvolvimento e resultados |
|                                 | <i>Near</i>                     | Determinação de distância entre vetores (árvore/árvores; árvores/infraestruturas)                | Resultados                   |
|                                 | <i>Create Thiessen Polygons</i> | Determinação de área de abrangência de pátios para a base espacial de pátios dos manejadores     | Desenvolvimento e resultados |
| <i>Basic Tools</i>              | <i>Editor</i>                   | Manipulação, preparação e refinamento de dados vetoriais   | Desenvolvimento e resultados |
|                                 | <i>Advanced Editing</i>         | Manipulação, preparação e refinamento de dados vetoriais   | Desenvolvimento e resultados |
|                                 | <i>Calculate Geometry</i>       | Determinação do cálculo de áreas e comprimento para dados vetoriais em ambiente tabular          | Resultados                   |
| <i>Conversion Tools</i>         | <i>Point to Raster</i>          | Transformação de vetores de árvores para formato <i>raster</i> (acumulação de volume de madeira) | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Line to Point</i>            | Usado para criar as feições de pátio como pontos   | Resultados                   |
|                                 | <i>Raster to Polygon</i>        | Transformação das áreas de abrangência de pátios em formato <i>raster</i> para vetorial          | Resultados                   |
| <i>Data Management Tools</i>    | <i>Merge</i>                    | União vetorial entre infraestruturas   | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Smooth Line</i>              | Suavização dos vértices das infraestruturas em formato vetorial de linha                         | Resultados                   |
|                                 | <i>Raster Clip</i>              | Delimitação de superfícies <i>rasters</i>  | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Raster Resample</i>          | Divisão de pixels de <i>rasters</i> de 30 m para 10 m  | Desenvolvimento              |
| <i>Spatial Analyst Tools</i>    | <i>Raster Calculation</i>       | Operações matriciais entre as superfícies <i>rasters</i>   | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Point Density</i>            | Obtenção da superfície de custo para trilhas de arraste  | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Reclassify</i>               | Codificação de <i>rasters</i> intermediários ao processo e de superfícies de custo de estradas   | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Extraction by Polygon</i>    | Operação intermediária obtenção da declividade média das infraestruturas                         | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Path Distance</i>            | Criação das superfícies <i>rasters</i> de custo em função da distância das infraestruturas       | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Path Distance Back Link</i>  | Criação das superfícies <i>rasters</i> intermediárias em função da distância das infraestruturas | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Cost Path</i>                | Determinação dos caminhos de menor custo para infraestruturas                                    | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Flow Accumulation</i>        | Determinação das áreas de abrangência de pátios  | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Stream Link</i>              | Conexão topológica entre os caminhos de menor custo  | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Stream Order</i>             | Operação matricial para contabilização do número de árvores nos caminhos de menor custo          | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Stream to Feature</i>        | Conversão do <i>raster</i> de caminhos com volume contabilizado para o formato vetorial de linha | Desenvolvimento              |
|                                 | <i>Watershed</i>                | Determinação das áreas de abrangência de pátios  | Desenvolvimento e resultados |
|                                 | <i>Slope</i>                    | Determinação da declividade das infraestruturas  | Desenvolvimento e resultados |
| <i>Spatial Statistics Tools</i> | <i>Central Features</i>         | Determinação da localização dos pátios em cada área de abrangência de pátio                      | Desenvolvimento e resultados |

Desenvolvimento: ferramentas utilizadas na metodologia; Resultados: ferramentas utilizadas para edição, manipulação e visualização de resultados;

#### 4.2.5. Planejamento proposto

O planejamento proposto buscou determinar a alocação das infraestruturas de exploração florestal de maneira a reduzir a quantidade dessas em termos de distância, conseqüentemente, em termos de impactos ambientais causados pela área desmatada de floresta para a implantação em campo. Na prática, as estradas e as trilhas de arraste são as mais requeridas pela exploração em termos de quantidade. Essas formam uma rede de caminhos interligados por onde o escoamento da produção flui.

O problema computacional se resume em criar uma rede de estradas que ligue cada uma das árvores a serem exploradas até um ponto de infraestrutura existente a partir de onde poderão ser escoadas. Esse problema, aparentemente simples é, na realidade, extremamente complexo. Considere três pontos em um plano homogêneo, como mostrado na Figura 4.3. O ponto de baixo é a origem do sistema e os dois pontos acima são os destinos. Esses pontos podem ser ligados de diversas maneiras (CHARTRAND, 1977; PRÖMEL; STEGER, 2002).



Adaptado de Arima (2005)

**Figura 4.3.** Diferentes maneiras de ligação entre pontos: (A) solução encontrada na maioria dos programas de SIG (*least cost path*); (B) solução retornada utilizando o algoritmo de *Prim*; (C) solução encontrada pelo o algoritmo de *Prim* “modificado”, e; (D) solução utilizando o algoritmo de *Steiner*.

A solução apresentada no último painel minimiza a extensão total da rede e, portanto, seria a solução ideal. Entretanto, é extremamente complicado encontrar os pontos de *Steiner* que interligam diferentes segmentos quando o problema envolve um grande número de destinos, pois esses pontos são desconhecidos a priori. De fato, esse problema é conhecido como *NP-hard*, a classe de problemas mais difíceis na computação onde não se conhece nenhum algoritmo capaz de solucionar tais problemas de forma eficiente (JUNGNICKEL, 2005).

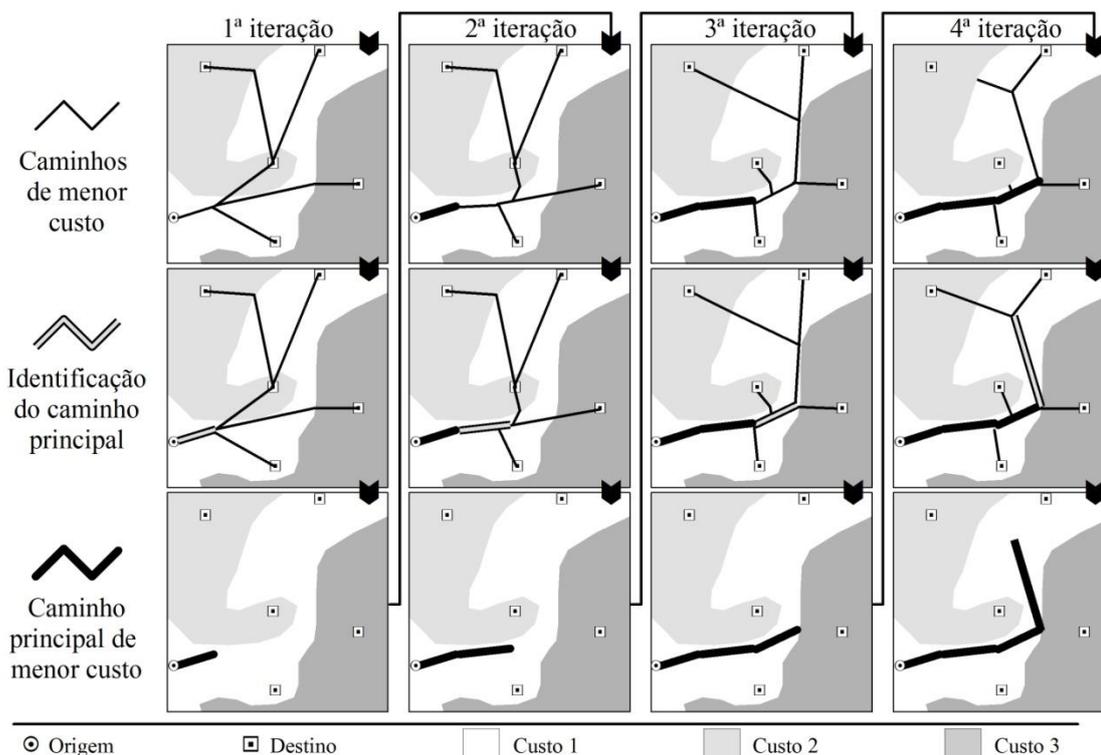
Obviamente, as áreas de florestas naturais estão longe de ser superfícies homogêneas e esse fato complica ainda mais a computação de redes de estradas, pois o objetivo é não somente minimizar a extensão da rede de estradas mas também o seu custo de construção pois declividade, tipo de solo, hidrografia, dentre outros, impõem custos adicionais que devem ser considerados. Portanto, apesar de desvios adicionarem extensão à rede, eles podem por outro lado evitar obstáculos e custos. Avanços para a solução desse tipo de problema de *Steiner* foram apresentados pelo algoritmo de Dijkstra, o qual computa o custo acumulado a partir de uma origem e, através do caminho de mínimo custo acumulado, alcança o destino determinado (DIJKSTRA, 1959). Em termos de sistema de informações geográficas, esse algoritmo foi implementado como pacote de ferramentas e tem sido usado para a busca de caminhos ótimos quando um determinado custo é atribuído a uma superfície *raster* (ARIMA et al., 2005).

Embora o algoritmo de Dijkstra retorne a um caminho ótimo de menor custo acumulado, esse funciona apenas quando uma única origem e um único destino são atribuídos. Assim, a complexidade do problema aumenta quando devem ser escolhidos caminhos para diversas origens ou destinos e conectá-los entre si. Isso retrata perfeitamente a situação da exploração florestal uma vez que existem diversas possibilidades de caminhos que podem ligar diversas origens, como as árvores, a um destino, como exemplo, um pátio, uma estrada ou um local de processamento, e vice-versa.

Uma solução heurística para o problema foi desenvolvida por Tomlin (1990). Utilizando o método de busca dos caminhos de mínimo custo, a conectividade e a determinação dos principais caminhos (estradas) de escoamento de madeira em uma determinada área baseiam-se no comportamento hidrológico e em uma superfície de fricção (custo) para a determinação. De maneira análoga às drenagens de uma bacia hidrográfica, os caminhos se ligam e as árvores são “drenadas” para o ponto mais baixo da superfície pelos caminhos de menor custo (fricção). Assim, ao longo dos caminhos diferentes quantidades de madeira são recebidas e, para o caso de Tomlin (1990), os caminhos que recebem a maior quantidade de madeira foram considerados como estradas.

Em termos de processamento computacional, os caminhos segundo a metodologia de Tomlin (1990) são determinados a partir de iterações partindo da origem até alcançar os destinos requeridos atravessando diferentes áreas de custo e, a cada iteração, os caminhos de mínimo custo acumulado se expandem formando caminhos principais (Figura 4.4). A solução heurística retornada pela metodologia aponta os caminhos potenciais para o escoamento de madeira, não retornando a uma solução globalmente ótima, pois não se

conhece o balanço econômico relacionado ao custo de construção das estradas (caminhos) e o rendimento produzido pela exploração de madeira.



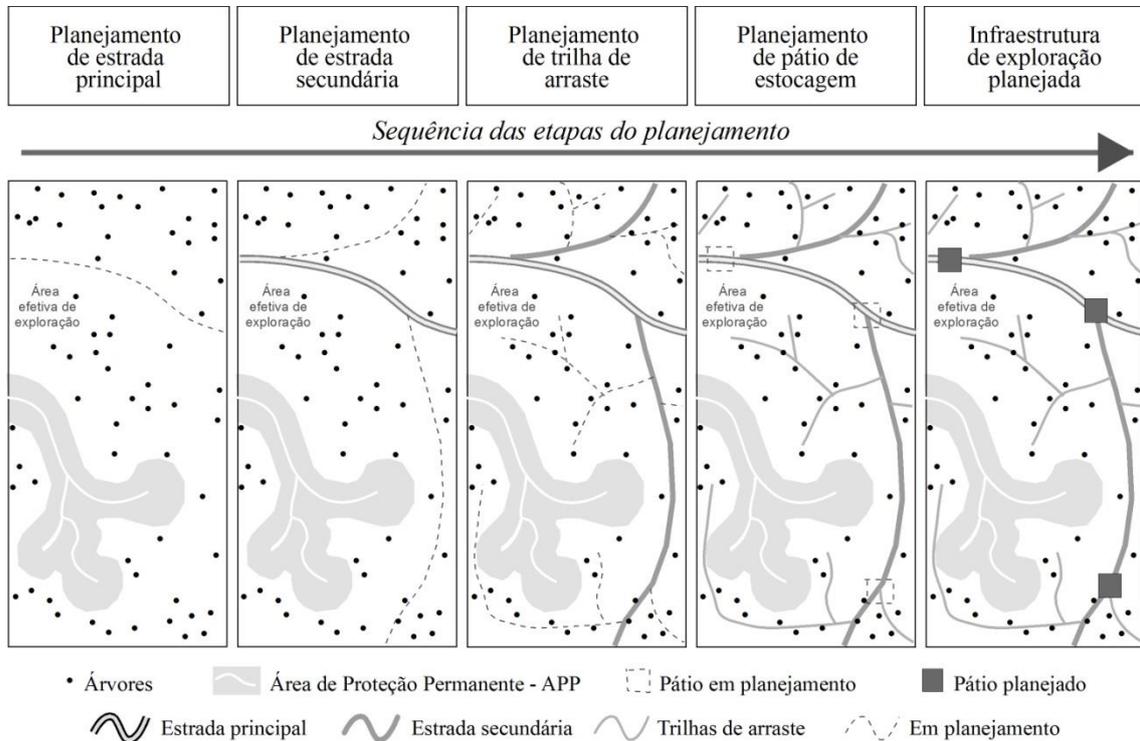
**Figura 4.4.** Modelo esquemático da determinação de um caminho principal a cada iteração.

O modelo da localização da rede de estradas e trilhas (caminhos) empregadas pelos manejadores no sistema de exploração baseia-se apenas no relevo e numa distribuição sistemática. Assim, metodologia de Tomlin (1990) pode ser aplicada a esse estudo de maneira a encontrar os caminhos de mínimo custo referente à área impactada e, tendo como destino atribuído às árvores, as operações de extração são facilitadas devido à aproximação dos caminhos em relação a elas. Além disso, não são requeridos dados referentes a custos.

Assim, o planejamento da infraestrutura desenvolvido nesse estudo considerou quatro aspectos: a) o bloco seria explorado pela primeira vez, ou seja, nenhuma infraestrutura de estradas e trilhas teria sido implantada ainda; b) os princípios básicos do sistema CELOS no que diz respeito à infraestrutura (permanentes) e às operações de colheita seriam mantidos; c) os padrões operacionais utilizados pelos manejadores seriam seguidos, tentando assim reproduzir o mesmo modelo, porém adotando as técnicas aqui propostas, e; d) os valores dos custos operacionais de construção de infraestrutura seriam desconhecidos, ou seja, o planejamento contou apenas com informações técnicas e espaciais.

A partida da definição da área efetiva de manejo (AEE), o planejamento da infraestrutura proposto adotou uma ordem sequencial de etapas de alocação das estradas

principais, das estradas secundárias, das trilhas de arraste e dos pátios de estocagem de madeira (Figura 4.5). Os pátios foram planejados considerando outra metodologia, a qual foi proposta nesse estudo e detalhada a frente.



**Figura 4.5.** Modelo esquemático das etapas de planejamento da infraestrutura.

#### 4.2.5.1. Estradas principais

Para essa etapa foram necessários os pontos de origem e destino, os quais foram, respectivamente, o que conecta ao acesso do bloco vizinho e o que conecta uma estrada principal que segue para um local de processamento, o modelo digital de elevação – MDE (02S60\_ZN) e a superfície de custo.

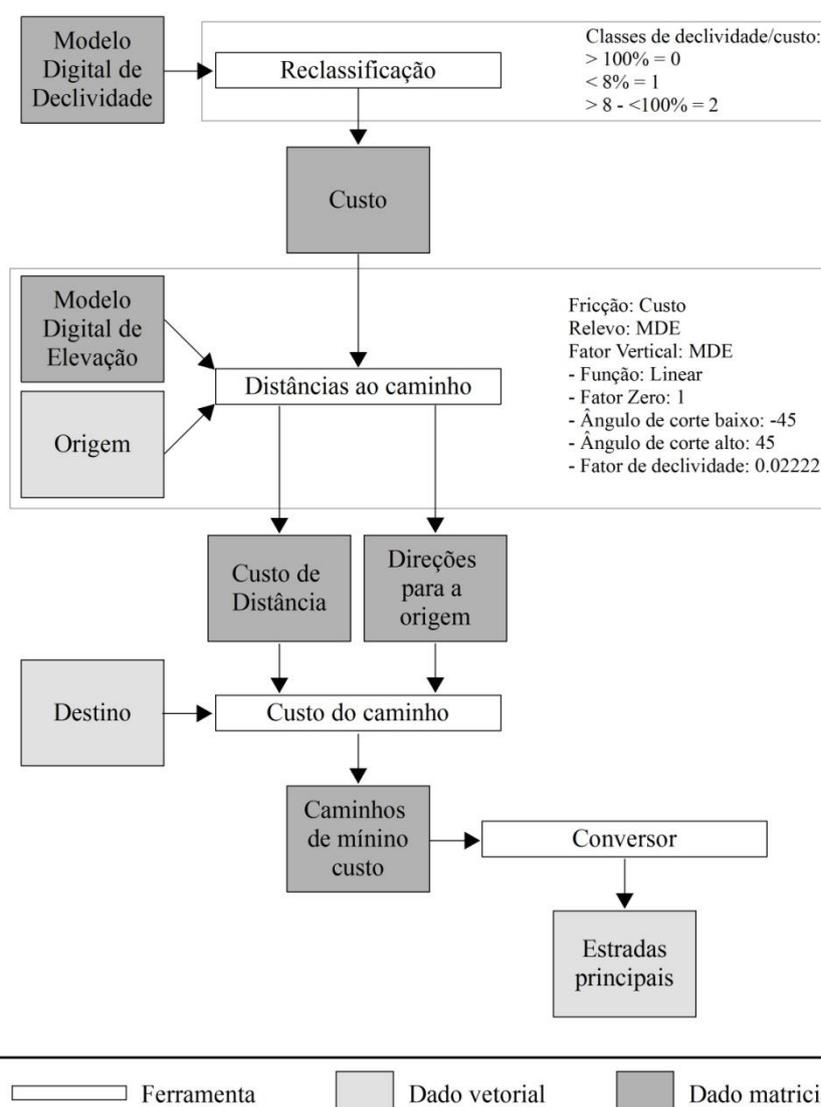
A superfície *raster* de custo foi gerada em função da inclinação do terreno a partir do modelo digital de declividade - MDD (02S60\_SN). A resolução espacial desse *raster* foi de 30m. As classes de declividade foram baseadas em Heinrich (1975) e o código de custo foi atribuído com o valor 1 (um) para as áreas em declividade abaixo de 8% e 2 (dois) para áreas entre 8 e 100 % (Tabela 4.2). Acima de 100% (45 graus) foram às áreas destinadas à proteção, segundo a legislação brasileira (BRASIL, 2012), as quais foram atribuídos o custo 0. Como um dos propósitos do estudo foi reduzir o impacto causado pela área de floresta aberta para implantação da infraestrutura, o código de custo foi multiplicado pela largura (faixa de servidão) da estrada principal, de 12 m.

**Tabela 4.2.** Matriz de determinação dos valores de custo pelo tipo de infraestrutura

| Infraestrutura     | Classes de declividade | Código de custo | Impacto (m) | Custo                  |
|--------------------|------------------------|-----------------|-------------|------------------------|
| Estrada principal  | <8%                    | 1               | 12          | 12                     |
|                    | 8-100%                 | 2               |             | 24                     |
| Estrada secundária | <10%                   | 1               | 9           | 9                      |
|                    | 10-100%                | 2               |             | 18                     |
| Trilha de arraste  | <100%                  | 1               | 4.5         | $1 \times 4.5 / 1 + d$ |
|                    |                        | 2               |             | $2 \times 4.5 / 1$     |

d = número de sobreposições das áreas formadas pelo raio de 50 m em volta das árvores.

As ferramentas e parâmetros requerido em ambiente ArcGIS nos procedimentos para o planejamento das estradas principais podem ser visualizados na Figura 4.6.

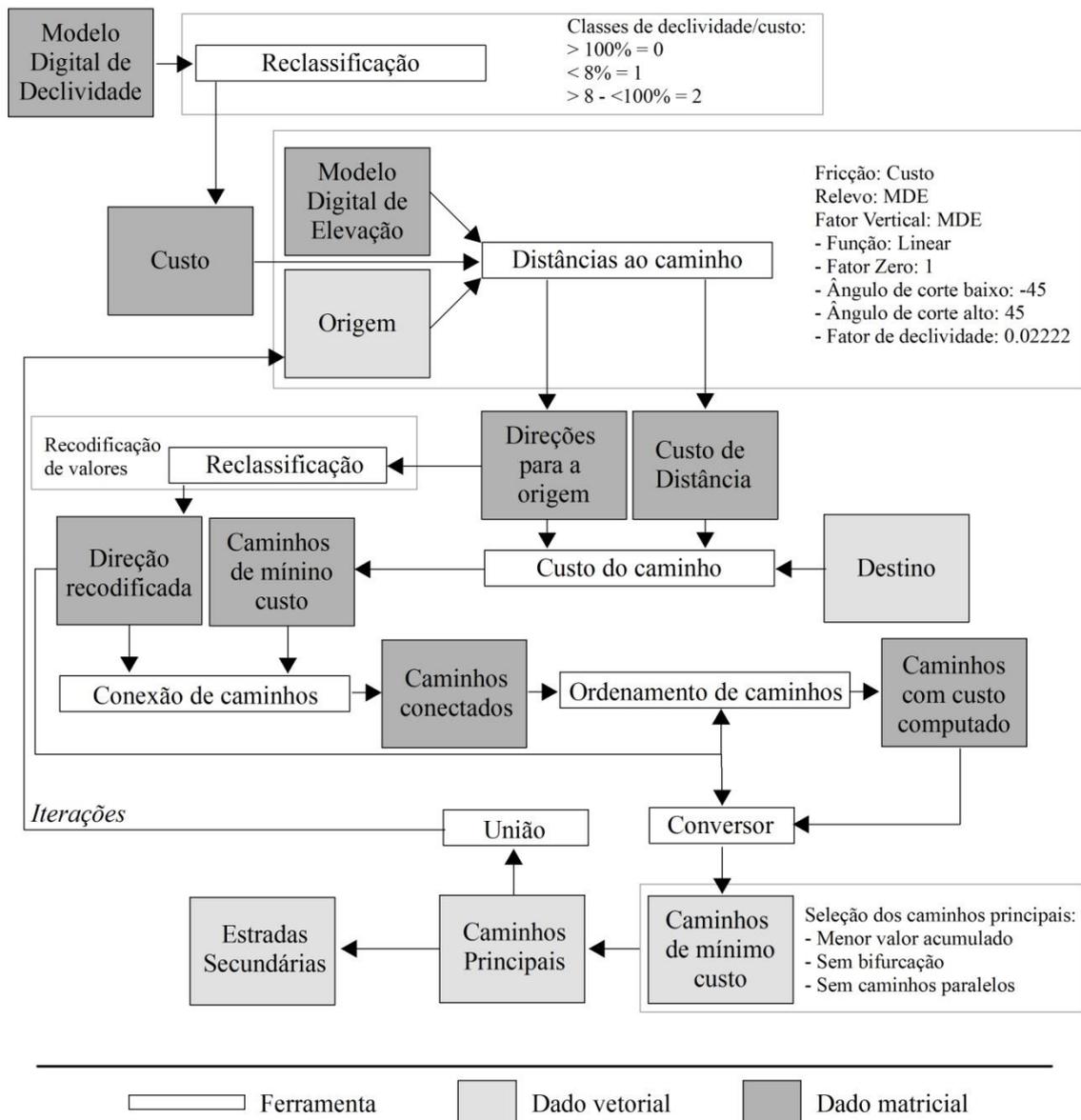


**Figura 4.6.** Procedimentos computacionais em ambiente ArcGIS para determinação da estrada principal.

#### 4.2.5.2. Estradas secundárias

Seguindo as classes de declividade propostas por Heinrich (1975) para estradas secundárias, abaixo de 10% e com código de custo de valor 1 (um) foram as áreas disponíveis para implantação dessas estradas. Declividades acima de 10 até 100% tem valor de custo 2 (dois) (Tabela 4.2). Da mesma maneira, os valores do custo foram multiplicados pela largura da faixa de servidão da estrada secundária, de 9 m. A resolução espacial das superfícies foi a mesma do modelo digital de elevação, de aproximadamente 30 m.

As ferramentas e parâmetros requerido em ambiente ArcGIS nos procedimentos para o planejamento das estradas secundárias podem ser visualizados na Figura 4.7.



**Figura 4.7.** Procedimentos computacionais em ambiente ArcGIS para determinação das estradas secundárias.

#### 4.2.5.3. Trilhas de arraste

As áreas disponíveis para a implantação de trilhas de arraste foram todas as que se encontraram abaixo de 100%, ou seja, fora das áreas destinadas a proteção. Diferentemente das estradas, o custo para trilhas de arraste foi determinado em função da densidade das árvores, isto é, as áreas de menor custo foram as que estavam mais próximas do maior número de árvores em um raio de 50 m. Esse raio foi determinado a partir do comprimento máximo do cabo utilizado na operação de pré-arraste. Essa área de raio de 50 m foi aqui chamada de área de pré-arraste.

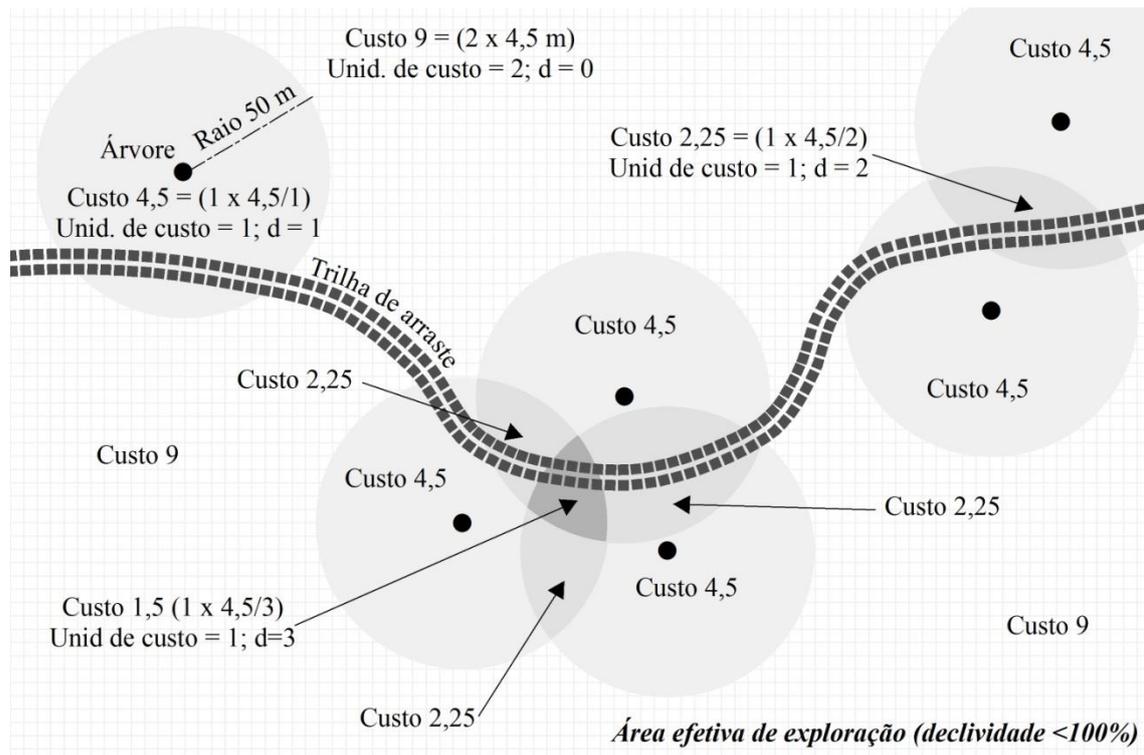
A ideia do custo relacionado à densidade partiu do raciocínio de que, em termos gerais, para cada árvore explorada existe uma quantidade média de trilha implantada ou de impacto causado. Essa média pode ser reduzida se a mesma quantidade de trilha puder ser implantada e compartilhada por um maior número de árvores. Em outras palavras, essas áreas são as áreas de maior densidade de árvores, então se as trilhas puderem ser alocadas nessas áreas o impacto pode ser compartilhado ao ponto de reduzir a quantidade de trilha por árvore. Ainda, essas áreas favorecem as operações de extração, principalmente a de pré-arraste, pois em um mesmo ponto da trilha várias árvores podem ser guinchadas, reduzindo a quantidade de trabalho e os custos com deslocamento dos tratores florestais.

Seguindo esse raciocínio, a trilha alocada dentro da área de pré-arraste de uma árvore teve código de custo 1, alocada dentro da área de pré-arraste de duas árvores (sobreposição) foi atribuído o código 0,5 (1/2), para três árvores foi atribuído o código 0,33 (1/3) e assim por diante. Fora da área de pré-arraste o código de custo foi considerado 2 (dois). O valor de custo é a largura da trilha de arraste de 4,5 m dividido pela densidade de árvores nas áreas de pré-arraste (Tabela 4.2). Quando a trilha foi alocada fora das áreas de pré-arraste, o custo foi o valor do código (2) multiplicado por 4,5. Um esquema espacial pode ser visto na Figura 4.8. A resolução espacial atribuída para a superfície foi de 5 m, de forma a tentar captar ao máximo às distâncias entre as árvores. A determinação dos valores da superfície de custo para as trilhas de arraste seguiu a seguinte fórmula:

$$C_{ta} = 4,5 \times Cc / (1+d)$$

(Equação 4.1)

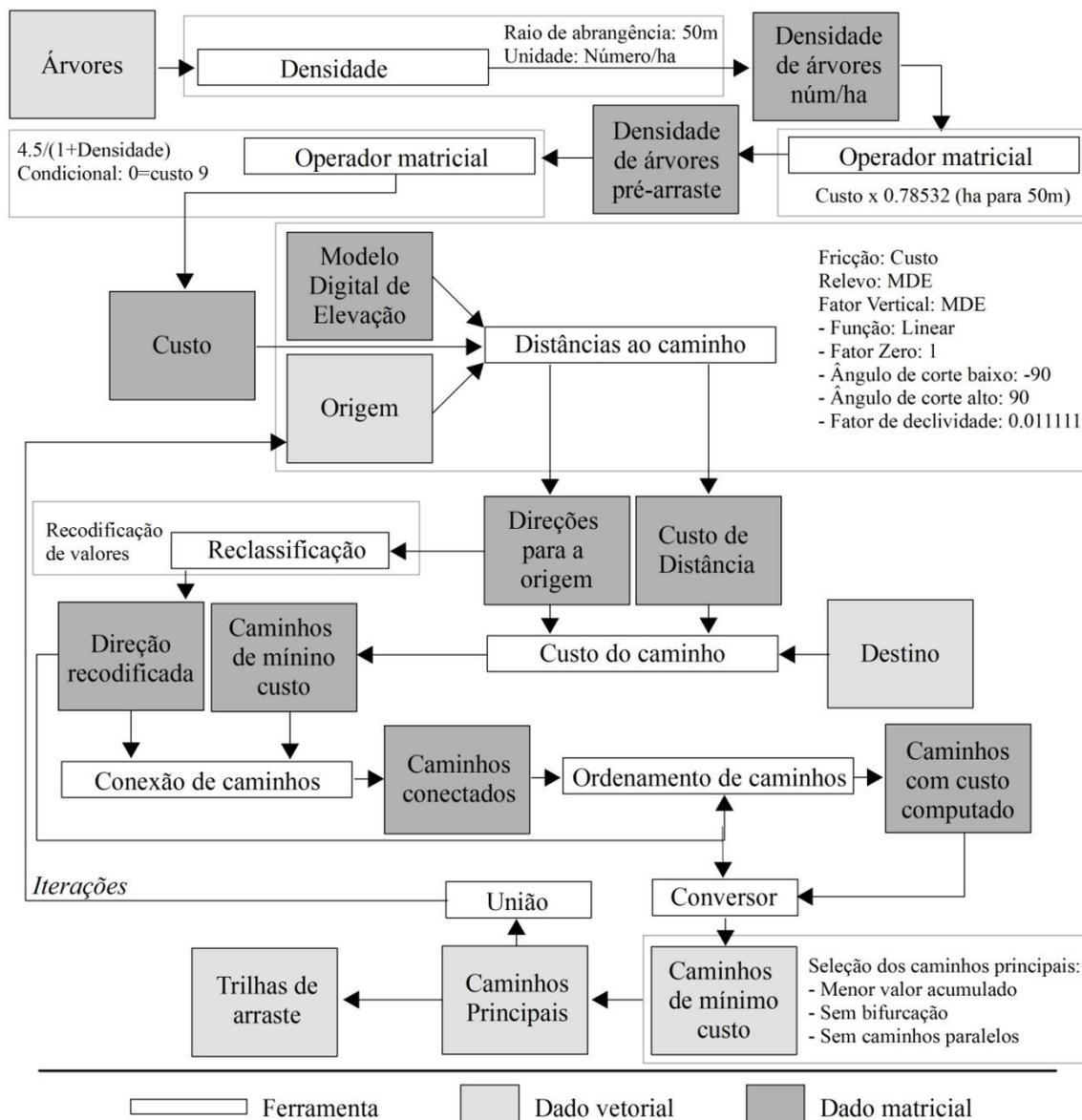
em que,  $C_{ta}$  = custo de alocação de trilhas de arraste, em metros (m);  $Cc$  = código de custo, 1 quando a trilha é alocada dentro da área de pré-arraste e 2 quando alocada fora dessa área ( $d=0$ ); e,  $d$  = número de sobreposição de áreas de pré-arraste  $\{d = 0, 1, 2, 3, \dots\}$ .



**Figura 4.8.** Modelo proposto para os valores da superfície de custo para trilhas de arraste. A localização das feições demonstrada na figura trata-se de um modelo esquemático.

As ferramentas e parâmetros requerido em ambiente ArcGIS nos procedimentos para o planejamento das trilhas de arraste podem ser visualizados na Figura 4.9.

Após a finalização do planejamento de toda infraestrutura, o ambiente ArcGIS retorna os resultados em formato *raster*. As bases de infraestrutura foram convertidas para o formato vetorial possibilitando a edição dos caminhamentos, como o ajuste topológico das ligações entre as infraestruturas e suavização de curvas.



**Figura 4.9.** Procedimentos computacionais em ambiente ArcGIS para determinação das trilhas de arraste.

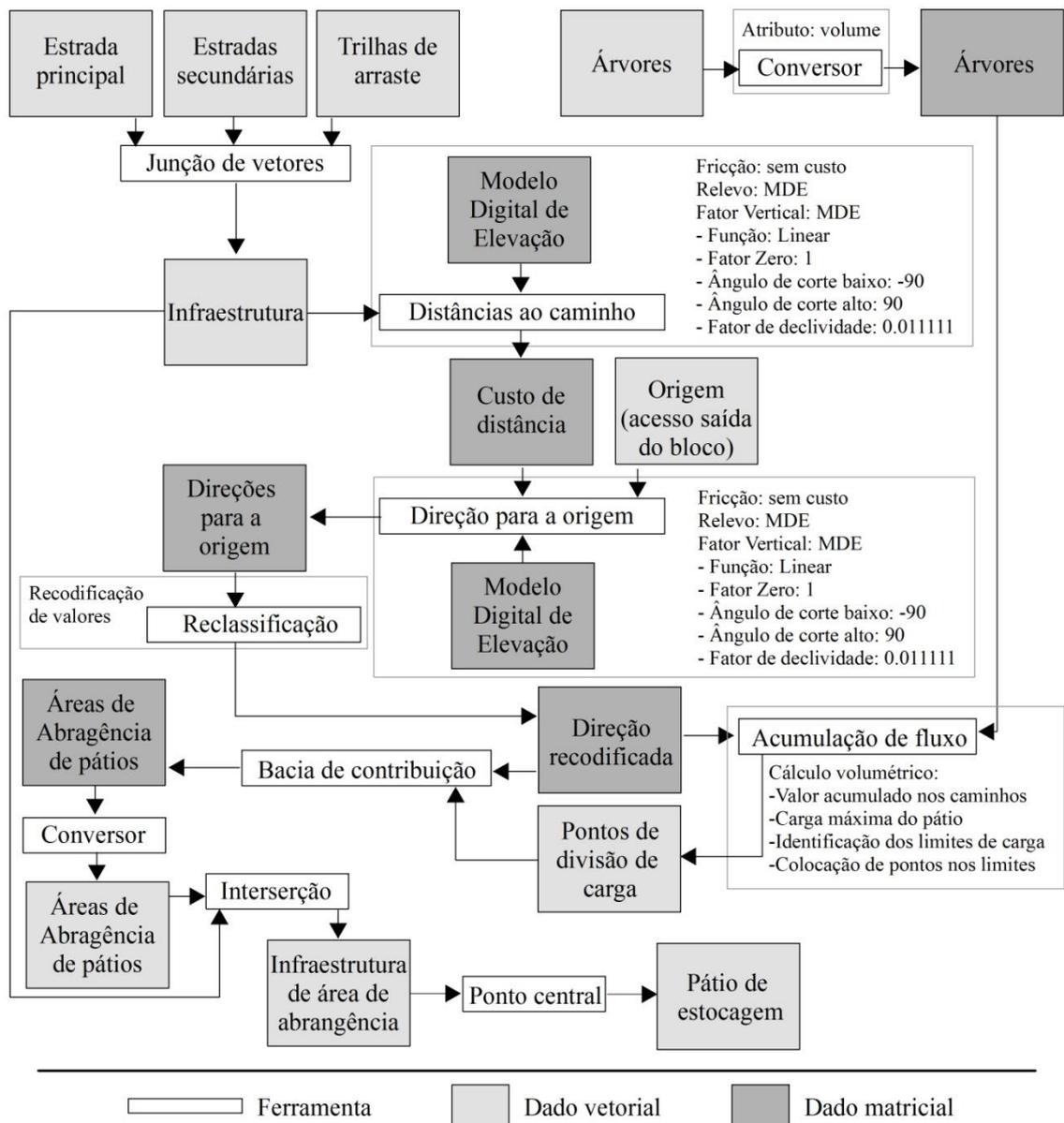
#### 4.2.5.4. Pátios de estocagem e áreas de abrangência (unidades de trabalho)

Tendo como base as informações do limite máximo de volume que cada pátio pode receber em função de suas dimensões (30 x 30 m) obtido a partir dos manejadores, a determinação da posição dos pátios foi realizada a partir do conhecimento do volume de madeira fluindo por cada caminho. Foi utilizada a ferramenta *Flow accumulation* contida na extensão *Hydrology* em ambiente ArcGIS para conhecer em cada ponto ao longo dos caminhos o volume acumulado. Quando o volume máximo foi encontrado, pelo uso da ferramenta *Watershed* foi possível gerar a área a montante desses pontos e assim, determinadas as unidades de trabalho, ou seja, áreas de abrangência de cada pátio.

Para cada unidade de trabalho um pátio foi alocado. Isso garantiu que todo o volume da unidade chegasse a esse pátio através da infraestrutura implantada e que o pátio seria completamente utilizado em termos de capacidade.

A posição do pátio foi determinada utilizando-se a ferramenta *Central features* contida na extensão *Spatial Statistics Tools*. Definidas as unidades de trabalho, por meio da seleção espacial da infraestrutura em formato vetorial contida em cada unidade foi estabelecido o ponto central da infraestrutura. Esse ponto foi o local em que o pátio de estocagem foi alocado, garantindo também que uma distância média de extração fosse mantida semelhante entre os caminhos (infraestrutura) de cada unidade de trabalho. As extensões, ferramentas e parâmetros requerido em ambiente ArcGIS nos procedimentos para o planejamento dos pátios de estocagem podem ser visualizados na Figura 4.10.

Para determinar a área de abrangência de pátios a partir do planejamento praticado, foi utilizada o conceito dos polígonos de *Thiessen* ou *Voronoi*. Essa ferramenta parte da localização de vários pontos para gerar as áreas de domínio para cada ponto. As áreas de domínio ou aqui denominadas áreas de abrangência de pátios – AAP são limitadas pela metade da distância euclidiana entre cada ponto, ou seja, é baseado na distância do vizinho mais próximo. Como propriedade, cada polígono de *Thiessen* está refere-se ao seu respectivo ponto associado, não necessariamente situado no centro de seu polígono e, qualquer feição que esteja inclusa dentro dos limites de cada polígono estarão, conseqüentemente, mais próximos desse ponto, que em termos florestais, são os pátios. Assim, utilizando a base espacial dos pontos de pátios fornecidos pelos manejadores, em ambiente ArcGIS, foram gerados os respectivos AAP utilizando a extensão *Create Thiessen Polygon*.



**Figura 4.10.** Procedimentos computacionais em ambiente ArcGIS para determinação das áreas de abrangência e dos pátios de estocagem de madeira.

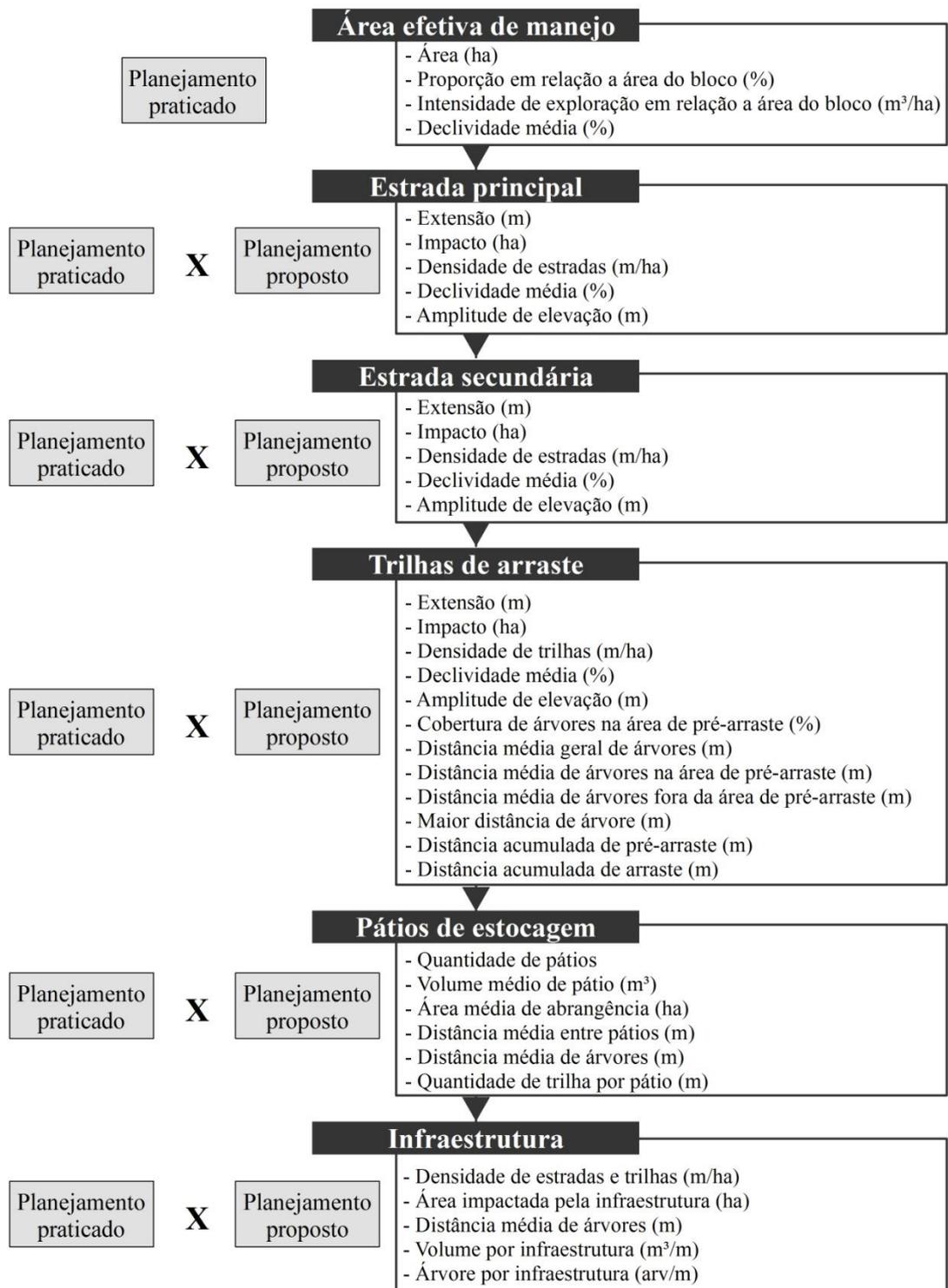
#### 4.2.6. Análise

A análise de qual modelo (praticado e proposto) apresenta melhor desempenho foi feita através de simples comparação de índices. Idealmente, seria desejável que a análise se baseasse em um experimento estatístico onde um grande número de planos praticados fosse comparado com um grande número de modelos propostos. Dessa forma, ter-se-ia a confiança de que um método é consistentemente melhor do que o outro e de que a melhora não é baseada apenas na sorte ou caso particular. Entretanto, seria necessária, ainda, uma repetição numerosa de planos praticados o que se mostra inviável na prática, pois os manejadores realizam um planejamento apenas para cada área a cada período de colheita. A padronização

do planejamento empregado da exploração baseou-se no sistema CELOS, porém, a experiência e as pessoas empregadas no processo de planejamento de cada safra foram diferentes para cada unidade de produção anual pertencente aos manejadores.

Mesmo não apresentando as significâncias estáticas mais apuradas, o planejamento proposto pelo estudo pode ser tratado como um método computacional para execução das diversas etapas do planejamento, principalmente em ambiente SIG, possibilitando a inserção de dados e parâmetros relacionados aos aspectos do terreno, a modelagem algébrica de superfícies de custo e a redução do tempo gasto com a manipulação de dados, procedimentos e análise dos resultados.

Dessa maneira, a comparação entre o planejamento praticado e o proposto foi realizada por meio da estatística descritiva de parâmetros espaciais como delineado na Figura 4.11.



**Figura 4.11.** Delineamento da análise do planejamento florestal. Formas retangulares em preto representam as etapas do planejamento, em cinza os tratamentos comparados e em branco os parâmetros comparados.

#### 4.2.7. Extensão

Nessa sessão, a ideia foi expandir o uso de técnicas matemáticas e computacionais, juntamente com métodos de análise em um SIG, para realizar o planejamento espacial de uma área florestal. Assim como descrito nas seções anteriores, o objetivo foi alocar estradas, trilhas de arraste e pátios de estocagem e suas respectivas áreas de abrangência (AAPs) em uma unidade de produção florestal de maneira otimizada, visando a redução de danos causados pela implantação das mesmas. Para isso, utilizou-se o ambiente computacional ArcGIS, o IDL (*Interface Definition Language*) versão 8.2.0 e o algoritmo desenvolvido por Arima (2005). O ArcGIS foi utilizado para a preparação das superfícies matriciais as quais foram necessárias para a execução do algoritmo e o ambiente IDL serviu como plataforma orientada a análise matricial e como linguagem de programação (IDL), permitindo, assim, compilar e executar algoritmos nela desenvolvidos.

O problema aqui refere-se à busca de um caminho que conecte uma origem, um pátio de estocagem, por exemplo, à todos os destinos, sejam eles árvores. Esse problema tornar-se-ia simples caso existisse poucos destinos. Entretanto, pensando em um ambiente florestal, centenas de árvores devem ser movidas de suas posições originais até os pátios de estocagem. Na prática, esse deslocamento é realizado pelas operações de extração, cujos os caminhos utilizados são as trilhas de arraste e, pelo transporte, cujo os caminhos são as estradas. Assim, qual seria a melhor forma, em termos de caminhos (estradas e trilhas), para que todas as árvores fossem conectadas entre si e a um uma origem?

Esse tipo de problema classifica-se como um *NP-hard problem*, como mencionado em sessão anterior. A solução torna-se uma tarefa extremamente difícil e, até hoje, não se sabe qual realmente é o caminho de menor distância ou custo acumulado para um problema como esse. Diversos foram os algoritmos desenvolvidos para a busca de boas soluções, porém, eles não garantem a melhor solução para o problema em si.

Contextualizando esse problema, uma outra área de produção madeireira foi estudada com vistas à execução do planejamento espacial. A área tratou-se de uma unidade de produção anual (UPA) de 594,17 ha localizada no Município de Itapuã do Oeste, Rondônia, Brasil, coordenadas do ponto central S 9°07'49" e W 6°00'23". A UPA está contida na Floresta Nacional do Jamari, a qual parte de suas áreas foram concedidas pelo governo brasileiro para a exploração. A área de estudo é explorada pela empresa concessionária MADEFLONA,

A empresa emprega o sistema de exploração seguindo as diretrizes da legislação florestal brasileira (BRASIL, 2006; 2012). No sistema de exploração praticado, a UPA foi

subdividida em seis unidades de trabalhos (UTs) com larguras regulares, visando à organização dos trabalhos. Ainda, a rede de estradas secundárias foi distribuída sistematicamente em intervalos regulares de 500 m e paralelas entre elas e, perpendiculares à estrada principal. Os pátios de estocagem foram distribuídos ao longo das estradas secundárias a cada 250 m. Dessa forma, teoricamente, a distância máxima de arraste se padronizou em, aproximadamente, 250 m. A empresa utiliza as operações de corte e arraste na exploração.

A operação de arraste é realizada por um trator *skidder*, o qual deve deslocar-se do pátio até o local de cada árvore e retornar transportando-a até o mesmo pátio. As trilhas de arraste tem sempre como origem um pátio de estocagem. Essas foram planejadas e demarcadas em campo buscando o melhor caminho na floresta para conectar todas as árvores às trilhas e as trilhas a um pátio.

A empresa disponibilizou sua base de dados espaciais contendo a localização das árvores, as estradas principal e secundária, os pátios de estocagem e as delimitações das UTs e da UPA. Essa base foi considerada como o planejamento da infraestrutura praticado.

O planejamento aqui proposto tratou-se, como anteriormente descrito, da alocação otimizada da infraestrutura de exploração na UPA. Para a alocação das estradas principais utilizou-se o método proposto conforme a Figura 4.6, considerando o valor do impacto como 10 m (largura da pista segundo o plano operacional anual da empresa). Para a estrada secundária, o planejamento de sua distribuição baseou-se na junção dos métodos de estradas secundárias e trilhas de arraste realizado anteriormente no sistema CELOS, segundo apresentado nas Figuras 07 e 09. Entretanto, como a empresa MADEFLONA não utiliza a operação de pré-arraste, as estradas secundárias determinam a distância de arraste e devem obedecer simultaneamente aos critérios de declividade (HEINRICH, 1975). Como a distância de arraste padronizada foi de 250 m, criou-se uma superfície matricial contendo o raio de 250 m em volta de cada árvore e nessa adicionado o valor de 6 m de impacto (largura da pista segundo o POA). O valor de impacto foi dividido pelo número de sobreposições desse raio, enquanto que áreas fora do raio, o valor de impacto foi o dobro, 12. Esse procedimento foi idêntico ao demonstrado na Figura 4.7. Uma outra superfície matricial com os limites de declividade foi somada a superfície de impacto (custo), assegurando os padrões de inclinações para estradas secundárias.

As áreas de abrangência de pátios - AAPs refletem a área máxima que a rede trilhas de arraste deve se distribuir para abastecer um determinado pátio. Essas funcionam como unidades de trabalho menores, relativas a cada pátio. Para suas delimitações no planejamento

praticado, utilizou-se localização dos pátios e aplicou-se o método dos polígonos de Thiessen. No planejamento proposto, assim como descrito anteriormente, as AAPs foram determinadas em função da quantidade média de madeira suficiente para abastecer um pátio, esse método foi, por analogia, denominado modelo hidrográfico. Ao total foram 1899 árvores a serem exploradas e 46 pátios planejados. Assim, a média de armazenamento de cada pátio foi de 42 árvores. Então, a cada seção da estrada em que o fluxo de tora acumulava 42 árvores, um vetor de ponto foi criado para definir esse limite, o qual delimitou, à jusante, a AAP, analogamente a um ponto de acumulação ou barramento de água em uma bacia hidrográfica. Após as definições das AAPs, os pontos de acumulação foram deslocados para o centro geométrico de cada AAP, porém, conectado a uma estrada. Espacialmente semelhante, uma AAP pode ser entendida como uma subbacia hidrográfica.

Finalmente, após a alocação proposta das estradas, pátios e AAPs, para a definição das trilhas de arraste utilizou um novo método, considerando os utilizados nesse trabalho até aqui. O planejamento das trilhas de arraste evidencia, mais claramente, o problema colocado anteriormente sobre a otimização dos caminhos de conexão entre origens e destinos.

Baseando-se na teoria de gráficos foi utilizado o algoritmo em IDL desenvolvido por Arima (2005), o qual busca o caminho de menor custo acumulado compilando em sua programação os algoritmos *spanning tree* e *Steiner tree*.

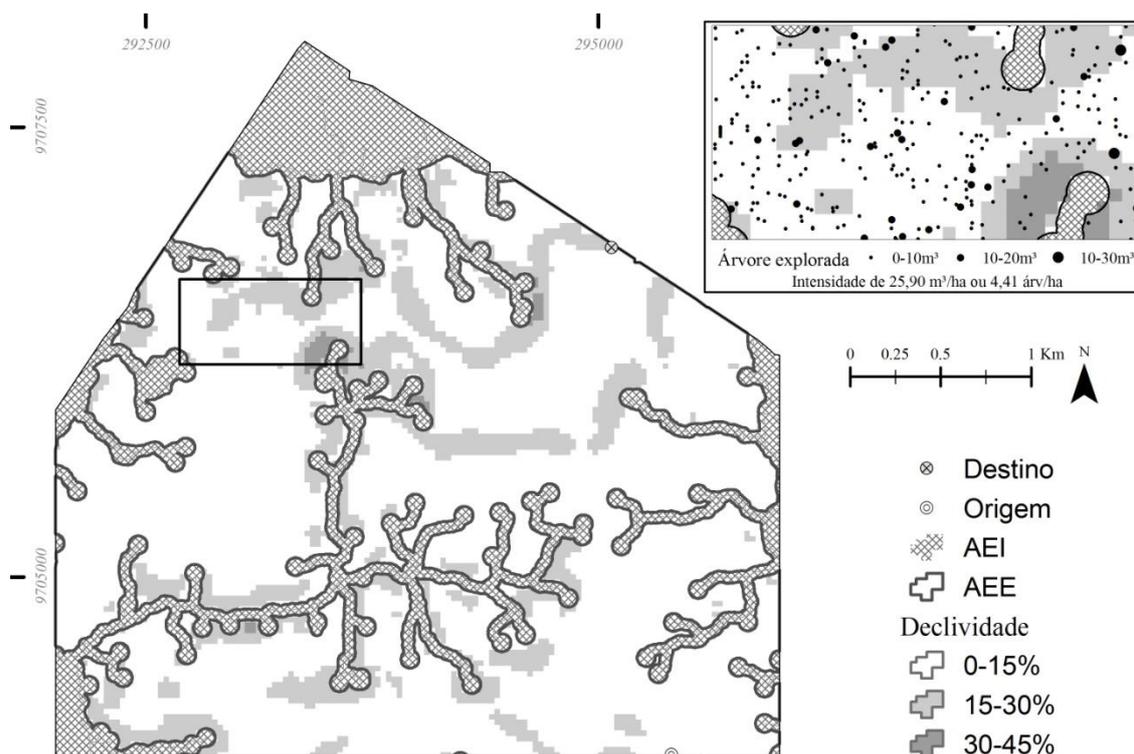
Para a execução em ambiente IDL foram requeridas pelo algoritmo as superfícies *raster* com a localização dos pátios, a posição das árvores, o custo (altimetria) e a área de abrangência de pátio - AAP. A preparação dessas superfícies matriciais foi elaborada utilizando funções e ferramentas no programa ArcGIS (Tabela 4.1). Foram selecionadas três AAPs para o método de *Thiessen* e para o modelo hidrográfico para executar o planejamento. O critério de seleção das AAPs para ambos os planejamentos foi em função de suas áreas: a menor, a mais próxima da média e a maior.

Os resultados gerados a partir do planejamento espacial proposto foram comparados como o praticado por meio de análise estatística descritiva. O maior objetivo dessa sessão foi apenas demonstrar a flexibilidade do uso dos métodos propostos. Basicamente, então, foram comparados os impactos gerados pelas alocações das estradas, suas densidades, o número de pátios e a variação do número de árvores por AAPs. Além disso serão realizadas análises espaciais de proximidade e sobreposição como itens de verificação de eficiência dos planejamentos. Quanto às trilhas de arraste, o mesmo método foi realizado para ambos os planejamentos e comparados em termos de extensão de trilhas.

### 4.3. RESULTADOS

#### 4.3.1. Área efetiva de exploração (AEE)

A área total do bloco selecionado foi de 1222,07 ha. Da área do bloco foram excluídos 214,30 ha de áreas de preservação permanente – APP, 7,65 ha de áreas “ilhadas” pelas APPs e 43,52 ha de áreas isoladas pela rede hidrográfica, somando um total de 265,48 ha de áreas inacessíveis à exploração (AIE). A AEE foi de 956,58 ha, correspondendo, assim, a 78,28 % da área total do bloco (Figura 4.12).



**Figura 4.12.** Área efetiva de manejo (AEE). Área menor destacada no mapa (500x1000m) mostra a distribuição espacial e volumétrica das árvores exploradas.

Não foram encontradas áreas com declividade acima de 45 %, as quais são consideradas APPs segundo a legislação brasileira (BRASIL, 1965). A declividade média da AEE foi de 6,49 %, com mínima de 0 e máxima de 40,06 %. Considerando o relevo da AEE, 5,71 ha encontraram-se em relevo plano (0-3 %), 32,51 % em relevo suave ondulado (3-8 %), 56,31 % em relevo ondulado (8-20 %) e 5,45 % em relevo forte ondulado (20-45 %) (EMBRAPA, 2009). A amplitude altimétrica segundo o modelo de elevação (02S60\_ZN) variou 89,09 m. Considerando as árvores selecionadas para exploração baseando-se nos dados do inventário para a área do bloco, a intensidade de exploração planejada foi de 25,90 m³ ha<sup>-1</sup> ou 4,41 árv. ha<sup>-1</sup>. Após a delimitação da AEE, a densidade de árvores exploradas foi 34,40 m³ ha<sup>-1</sup>, equivalente a 5,63 árv. ha<sup>-1</sup>.

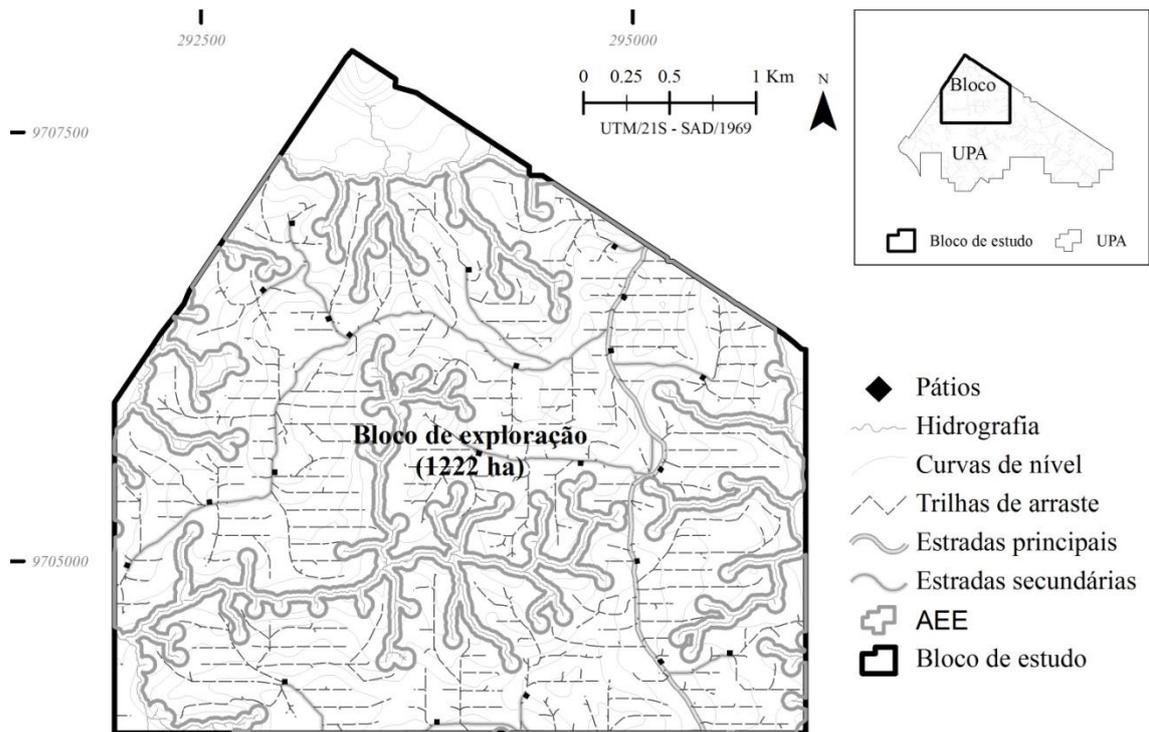
### 4.3.2. Estrada principal

#### 4.3.2.1. Planejamento praticado

Na AEE foi planejada a estrada principal com 3239,15 m e, considerando a faixa de desmatamento de 12 m, a área impactada foi de 3,88 ha, que correspondeu a 0,41 % da AEE. Com base na área total do bloco e na AEE, as densidades de estrada principal foram de 2,65 e 3,38 m ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As declividades mínima, máxima e média da estrada principal foram de 0, 4,64 e 0,96 %, respectivamente. Em termos de elevação, a amplitude altimétrica da estrada principal variou 40,98 m (Tabela 4.3) (Figura 4.13).

**Tabela 4.3.** Resultados com valores gerais médios dos planejamentos praticados e proposto para a determinação de pátios de estocagem na AEE.

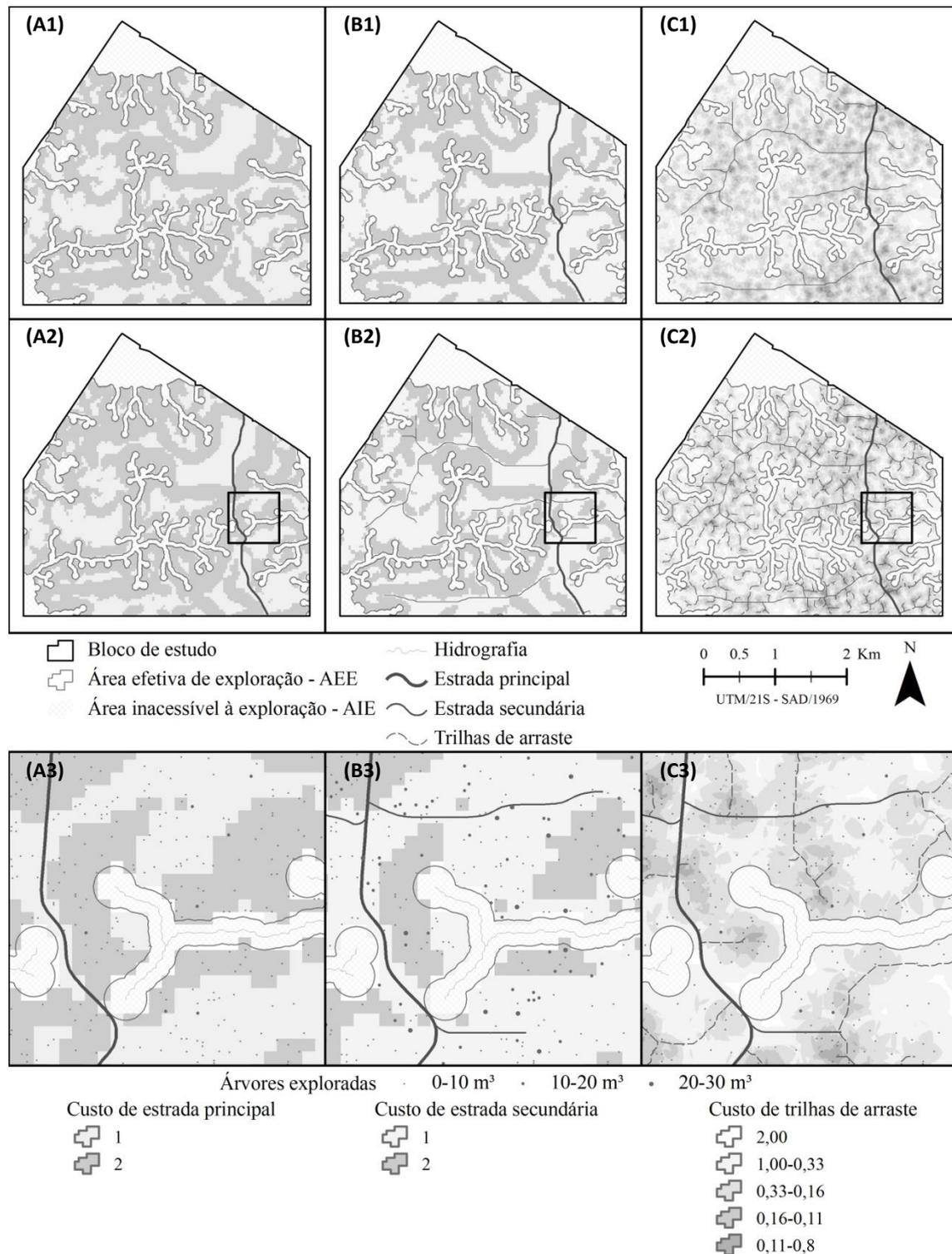
| Parâmetros                                 |                           | Planejamento de pátios |          |
|--|---------------------------|------------------------|----------|
|  |                           | Praticado              | Proposto |
| Número de pátios                           |                           | 22                     | 14       |
| AAP  | Área (ha)                 | 43.81                  | 87.29    |
| Impacto de abertura de pátios              | Área (ha)                 | 1.96                   | 1.26     |
|  | Proporção (%)             | 0.21                   | 0.13     |
| Estocagem média por pátio                  | Número de árvores         | 188                    | 385      |
|  | Volume (m <sup>3</sup> )  | 618.47                 | 1266.24  |
| Distância média                            | Entre pátios (m)          | 457.34                 | 592.32   |
|  | Entre árvore e pátios (m) | 295.04                 | 348.18   |
| Densidade de infraestrutura por AAP (m/ha) |                           | 90.64                  | 65.44    |



**Figura 4.13.** Infraestrutura alocada pelo planejamento praticado.

#### 4.3.2.2. Planejamento proposto

Segundo a metodologia proposta, na AEE foram planejados, gerando uma área impactada de 3,63 ha, correspondendo a 0,37 % da AEE. As densidades de estradas para a área do bloco e para a AEE foram de 2,47 e 3,16 m/ha, respectivamente. As declividades mínima, máxima e média da estrada principal foram de 0,00, 6,18 e 1,42 %, respectivamente. Em termos de elevação, a amplitude altimétrica da estrada 3026,16 m principal variou 35,46 m (Tabela 4.3) (Figura 4.14).



**Figura 4.14.** Infraestruturas alocadas pelo planejamento praticado: (A1) superfície *raster* com o código de custo para estradas principais; (A2) alocação da estrada principal; (A3) detalhe da localização da estrada principal em relação à superfície de custo; (B1) superfície *raster* com o código de custo para estradas secundárias e tendo como origem a estrada principal; (B2) alocação da estrada secundária; (B3) detalhe da localização da estrada secundária em relação à superfície de custo; (C1) superfície *raster* com o código de custo para trilhas de arraste e tendo como origem as estradas; (C2) alocação das trilhas de arraste; (C3) detalhe da localização das trilhas de arraste em relação à superfície de custo;

### **4.3.3. Estrada secundária**

#### 4.3.3.1. Planejamento praticado

Os manejadores planejaram um total de 10526,15 m de estradas secundárias e, considerando a faixa de desmatamento de 9 m, foi calculada a área impactada de 9,47 ha, correspondendo a 0,67 % da AEE. Com base na área total do bloco e na AEE, as densidades de estradas foram de 8,34 e 10,65 m/ha, respectivamente. As declividades mínima, máxima e média das estradas secundárias foram 0,00, 7,91 e 2,00 %, respectivamente. A amplitude altimétrica das estradas secundárias foi de 67,03 m (Tabela 4.3) (Figura 4.14).

#### 4.3.3.2. Planejamento proposto

Empregando a metodologia proposta para o planejamento das estradas secundárias, onde foi considerada a declividade, a altimetria, a menor distância acumulada, a estrada principal como origem e a localização das árvores como destinos, foram planejadas 11559,30 m, significando uma área impactada de 10,40 ha. Esse impacto correspondeu a 1,08 % da AEE. As densidades de estradas secundárias na área do bloco e na AEE foram de 9,45 e 12,08 m/ha, respectivamente. As declividades mínima, máxima e média das estradas secundárias foram 0,00, 9,94 e 2,05 %, respectivamente. A amplitude altimétrica das estradas secundárias foi de 54,72 m (Tabela 4.3) (Figura 4.14).

### **4.3.4. Trilhas de arraste**

#### 4.3.4.1. Planejamento praticado

Na AEE foi calculado um total de 73096,60 m de trilhas de arraste e, considerando a faixa de desmatamento de 4,5 m, foi calculada a área impactada de 32,89 ha, representando 3,40 e 2,70% da área do bloco e da AEE, respectivamente. Com base ainda na área total do bloco e na AEE, as densidades de trilhas de arraste foram de 59,68 e 76,24 m/ha, respectivamente. As trilhas de arraste apresentaram declividades mínima, máxima e média de 0,00, 15,94 e 2,72 %, respectivamente. A amplitude altimétrica das trilhas de arraste foi de 77,95 m (Tabela 4.3) (Figura 4.14).

No planejamento empregado pelos manejadores, as trilhas de arraste foram distribuídas em intervalos de 100 m, sempre que possível (*CELOS Harvest System*). Essa distribuição baseou-se na extensão do cabo utilizado na operação de pré-arraste, onde, a partir de qualquer ponto da trilha, as árvores poderiam ser guinchadas em um raio de 50 m. Entretanto, a localização da trilha não necessariamente considerou o posicionamento das árvores de forma a diminuir a distância de guinchamento. Considerando esse raio de 50 m a

partir das trilhas de arraste (área de pré-arraste), as distâncias mínima, máxima e média foram de 0,01, 49,98 e 23,46 m, respectivamente. Quando considerado todas as árvores (dentro e fora da área de pré-arraste), as distâncias mínima, máxima e média a partir das trilhas até as árvores foram de 0,01, 188,74 e 32,08 m, respectivamente (Tabela 4.3).

A quantidade acumulada de guinchamento, isto é, a soma das distâncias entre as árvores e as trilhas foi de 103707,37 m para a área de pré-arraste e, de 173077,74 m, independente da distância, ou seja, para todas as árvores fora e dentro da área de pré-arraste (Tabela 4.3). Esses valores poderiam ser utilizados para cálculo do tempo total necessário para o guinchamento de toras, caso fosse conhecido os valores de eficiência e produtividade operacional.

Considerando a área de pré-arraste e dividindo o total de trilhas pela quantidade e pelo volume das árvores inclusas, ou seja, a contribuição marginal de trilhas que cada indivíduo explorado proporciona, foi encontrada uma média de 16,54 m para cada árvore e uma média de 2,31 m para cada metro cúbico explorado. Considerando todas as árvores exploradas da AEE (dentro e fora do raio de 50 m), para cada árvore foram necessários 13,55 metros de trilhas e a quantidade de trilhas planejada por unidade de volume foi de 2,30 m/m<sup>3</sup> (Tabela 4.3). Vale destacar que, esses resultados foram encontrados para uma intensidade de exploração de 4,41 indivíduos/ha, ou 25,90 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>a, para a área do bloco de 1222,07 ha (5,63 indivíduos/ha ou 34,40 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>a para a AEE de 956,58 ha).

Outro aspecto a ser considerado foi a cobertura efetiva de guinchamento, ou a área de pré-arraste. Esse aspecto demonstra a proporção de árvores que podem ser guinchadas sem a necessidade de aberturas adicionais de trilhas. Em campo e durante a operação de pré-arraste, para o guinchamento das árvores que estão distantes da área de pré-arraste foram abertas trilhas adicionais para acessá-las. Assim, o posicionamento da trilha planejada gerou uma cobertura de 81,92 % em relação ao número total de árvores exploradas e de 83,08% em termos de volume total explorado (Tabela 4.3) (Figura 4.14).

#### 4.3.4.2. Planejamento proposto

A extensão total planejada pela metodologia proposta foi de 47857,48 m, gerando um impacto de 21,53 ha. Comparando com as áreas do bloco e da AEE, o impacto correspondeu a 1,76 e 2,25 %, respectivamente. A densidade de trilhas de arraste para as áreas do bloco e da AEE foram de 39,15 e 50,05 m/ha, respectivamente. As declividades mínima, máxima e média encontradas nas trilhas de arraste foram de 0,00, 12,69 e 2,66 %, respectivamente. A amplitude altimétrica foi de 78,73 m. (Tabela 4.3) (Figura 4.14).

O planejamento das trilhas de arraste pelo modelo proposto necessitou da entrada dos dados espaciais das estradas (principal e secundária) como a origem, das árvores como o destino, do relevo e da superfície de custo como fatores de fricção vertical e horizontal, respectivamente. A superfície de custo foi elaborada em função da densidade de árvores que, na verdade, significou a quantidade de sobreposições das áreas de pré-arraste. Um local com muitas sobreposições permite que o guinchamento de toras seja feito de praticamente um só ponto na trilha, podendo reduzir os custos com deslocamento dos tratores utilizados na operação e facilitar a organização e a movimentação dos trabalhadores das equipes de pré-arraste. Quando uma trilha fosse alocada dentro de apenas uma área de sobreposição, seu custo foi 1, dentro de duas áreas, 0,5 (1/2), dentro de três áreas, 0,33 (1/3) e, assim por diante, multiplicando esses valores pela largura de abertura de 4,5 m para obtenção da área impactada. Fora das áreas de pré-arraste o custo foi de 2, ou seja, alocar uma trilha sem que existam árvores próximas em 50m custou o dobro (Figura 4.14). Assim, o algoritmo buscou os caminhos de menor custo, ou seja, com maiores sobreposições de áreas de pré-arraste e, o esperado foi que, uma menor quantidade de trilhas fosse alocada e essas, por sua vez, deveriam localizar-se o mais próximo das árvores exploradas.

Os resultados mostraram que para as árvores dentro do raio de pré-arraste (50m), as distâncias mínima, máxima e média das árvores até as trilhas foram de 0,00, 49,96 e 24,66 m, respectivamente. Para todas as árvores a serem exploradas (dentro e fora da área de pré-arraste) as distâncias mínima, máxima e média entre árvores e trilhas foram de 0,00, 234,79 e 38,21 m, respectivamente (Tabela 4.3).

Com base nos resultados das distâncias entre árvores e trilhas, o guinchamento de todas as árvores (fora e dentro da área de pré-arraste) equivaleu a um deslocamento total das toras de 206106,04 m. Para a área de pré-arraste, a distância acumulada de guinchamento foi de 100979,72 m (Tabela 4.3).

Considerando as contribuições marginais de trilhas para todas as árvores exploradas (dentro e fora da área de pré-arraste), foi necessária a abertura de 8,87 m de trilhas para cada árvore, equivalente a 1,51 m de trilhas por volume explorado. A contribuição marginal dentro da área de pré-arraste foi de 11,68 m por cada árvore explorada, ou 2,00 m de trilhas por cada volume explorado (Tabela 4.3).

Em relação à cobertura da alocação das trilhas de arraste, ou seja, o número de árvores acessíveis às áreas de pré-arraste, as trilhas alocadas pelo planejamento proposto geram uma cobertura de árvores e de volume de 75,89 e 75,26 % do total explorado, respectivamente (Tabela 4.3).

### **4.3.5. Pátios de estocagem e AAPs**

#### **4.3.5.1. Planejamento praticado**

O planejamento alocou 22 pátios de estocagem, representando uma área impactada de 1,96 ha. Em termos proporcionais, os pátios alocados causaram um impacto em relação à área do bloco de 0,16 % e à AEE de 0,21 % (Tabela 4.3).

Dividindo o número de pátios pela AEE e pela área do bloco, cada pátio teria uma área média de influência de 43,81 e 55,54 ha, respectivamente. Da mesma maneira, em relação às infraestruturas alocadas, para cada pátio de estocagem foram construídos 610,49 m de estradas e 3322,57 m de trilhas de arraste. Utilizando a base de dados do inventário, em termos médios, cada pátio foi abastecido, aproximadamente, por 245 árvores ou 1349 m<sup>3</sup> (Tabela 4.3). Esses resultados foram obtidos baseando-se nos dados espaciais das áreas do bloco e da AEE, dos pátios e das árvores exploradas de acordo com o inventário. Simples operações foram necessárias para chegar a esses resultados.

Segundo a base espacial das árvores a serem exploradas, cujo atributo de volume foi proveniente das medidas de árvores tomadas no inventário florestal, o planejado foi explorar um total de 31658,48 m<sup>3</sup> de madeira. No entanto, segundo as informações de campo após a exploração, a quantidade de árvores exploradas correspondeu a um volume de 17939,70 m<sup>3</sup>. A redução em relação ao volume planejado foi de 43,33 %. Essa redução poderia ser atribuída em parte à diferença entre o volume real e o estimado, árvores ocas, toras esquecidas na floresta, distúrbios naturais ocorridos entre o período do inventário e da exploração que danificaram as árvores selecionadas para exploração.

Com base nas as informações de campo (romaneio) após a finalização da exploração, a média de árvores e de volume que cada pátio recebeu foi de, aproximadamente, 188 indivíduos e de 618,47 m<sup>3</sup>, respectivamente. A quantidade mínima e máxima de árvores armazenadas nos pátios foram de 16 e 457 toras, respectivamente. Para o volume, a quantidade mínima e máxima armazenada nos pátios foram de 63,89 e 1432,9 m<sup>3</sup>, respectivamente (Tabela 4.3). O volume máximo foi considerado para o estudo proposto como o limite de armazenamento de pátio.

Para os 22 pátios planejados, as distâncias mínima, máxima e média entre eles foram de 152,42, 911,24 e 457,34 m, respectivamente. Em relação às distâncias mínima, máxima e média entre as árvores e os pátios, os valores encontrados foram de 2,52, 841,43 e 295,04 m, respectivamente (Tabela 4.3).

#### 4.3.5.2. Planejamento proposto

Baseando-se no comportamento hidrográfico, o modelo de planejamento proposto definiu bacias de contribuição, ou em termos florestais, unidades de trabalho, que funcionam como áreas de abrangência de pátios (AAP). Cada pátio possui uma área de influência delimitada em função do volume de estocagem máximo planejado. O limite de estocagem fixado no planejamento proposto foi baseado no volume máximo encontrado no planejamento praticado, de 1432,9 m<sup>3</sup>. Assim, como o comportamento de uma rede hidrográfica e suas áreas de contribuição, o planejamento proposto limitou as áreas de influência de pátio a cada vez que essas apresentassem valores o mais próximo do limite. O esperado foi alocar um menor número de pátios e distribuir os volumes semelhantemente entre eles e o mais próximo do limite, maximizando a capacidade e a distribuição na AEE.

No planejamento proposto foram alocados 14 pátios de estocagem. Mantendo-se o tamanho padrão de 900 m<sup>2</sup>, as proporções de impacto na área do bloco e na AEE foram de 0,13 e 0,10 %, respectivamente (Tabela 4.3). Como foi alocado um menor número de pátios, a área de abrangência de cada pátio foi maior. Considerando a área do bloco e a AEE, as áreas de abrangência foram de 68,32 e 87,29 ha pátio<sup>-1</sup>, respectivamente.

As quantidades mínima, máxima e média de madeira armazenada nos 14 pátios foram de 758,83, 1452,13 e 1266,24 m<sup>3</sup>, respectivamente. Esses volumes corresponderam a uma quantidade mínima, máxima e média de 257, 461 e 385 toras, respectivamente.

Para os 14 pátios alocados pelo planejamento proposto, as distâncias mínima, máxima e média entre eles foram de 330,46, 1002,31 e 592,32 m, respectivamente. Em relação às distâncias mínima, máxima e média entre as árvores e os pátios, os valores encontrados foram de 2,46, 976,07 e 348,18 m, respectivamente (Tabela 4.3).

Os resultados do planejamento proposto e praticado para estradas e trilhas de arraste encontram-se na tabela 4.4.

**Tabela 4.4.** Resultados da alocação de estradas e trilhas de arraste na AEE obtidos pelos planejamentos praticado e proposto.

| Parâmetros                                |                               | Estrada principal |          | Estrada secundária |          | Trilha de Arraste |           |
|---|-------------------------------|-------------------|----------|--------------------|----------|-------------------|-----------|
|   |                               | Praticado         | Proposto | Praticado          | Proposto | Praticado         | Proposto  |
| Extensão (m)                              |                               | 3239,15           | 3026,16  | 10526,15*          | 11559,30 | 73096,60          | 47857,48  |
| Impacto (ha)                              |                               | 3,88              | 3,63     | 9,47*              | 10,4     | 32,89             | 21,53     |
| Proporção do impacto (%)                  |                               | 0,41              | 0,37     | 0,67*              | 1,08     | 2,70              | 2,25      |
| Densidade (m/ha)                          |                               | 3,38              | 3,16     | 10,65*             | 12,08    | 76,24             | 50,05     |
| Declividade                               | Mínima (%)                    | 0,00              | 0,00     | 0,00               | 0,00     | 0,00              | 0,00      |
|   | Máxima (%)                    | 4,64              | 6,18     | 7,91               | 9,94     | 15,97             | 12,69     |
|   | Média (%)                     | 0,96              | 1,42     | 2,00               | 2,05     | 2,72              | 2,66      |
| Amplitude altimétrica (m)                 |                               | 40,98             | 35,46    | 67,03              | 54,72    | 77,95             | 78,73     |
| Distância entre árvores e infraestruturas | Geral (m)                     |                   |          | 238,64             | 186,08   | 32,08             | 38,21     |
|   | Maior/Geral (m)               |                   |          | 853,02             | 773,3    | 188,74            | 234,79    |
|   | APr (m)                       |                   |          |                    |          | 23,46             | 24,66     |
| Distância acumulada                       | Geral (m)                     |                   |          |                    |          | 173077,74         | 206106,04 |
|   | APr (m)                       |                   |          |                    |          | 103707,37         | 100979,72 |
| Cobertura (APr)                           | Árvores (%)                   |                   |          |                    |          | 81,92**           | 75,89**   |
|   | Volume (%)                    |                   |          |                    |          | 83,08**           | 75,26**   |
| Contribuição marginal (Geral)             | Árvore (m árv <sup>-1</sup> ) |                   |          |                    |          | 13,55             | 8,87      |
|   | Volume (m m <sup>-3</sup> )   |                   |          |                    |          | 2,3               | 1,51      |

\* Estradas secundárias planejadas em diferente escala (UPA). A partir da análise, esse valor poderia ser aumentado em 2,30 %.

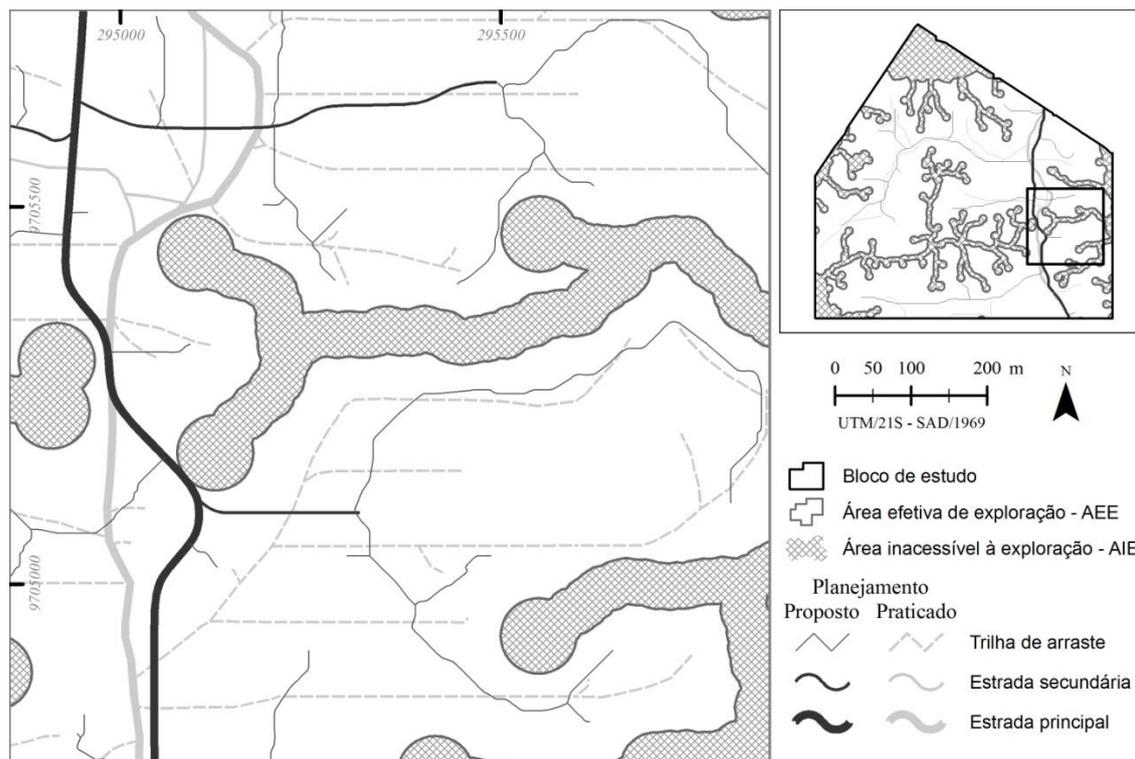
\*\* Valores brutos obtidos com diferentes densidades de trilhas. Para uma mesma cobertura de trilhas, o planejamento praticado alocou 34 % a mais em relação ao planejamento proposto.

APr = área de pré-arraste (raio de 50 m em volta das trilhas de arraste)

#### 4.3.6. Discussão

##### 4.3.6.1. Estrada principal

O planejamento praticado gerou uma menor extensão de estrada principal e, conseqüentemente, a área impactada foi menor em 6,57 %. Considerando os padrões estabelecidos para estradas principais (HEINRICH, 1975), ambos os planejamentos apresentaram valor abaixo de 8% de declividade máxima. Em termos de localização espacial, as estradas principais entre os planejamentos foram semelhantes (Figura 4.15).



**Figura 4.15.** Comparação da localização espacial das infraestruturas alocadas pelos planejamentos proposto e praticado.

Apesar da redução do impacto, o modelo proposto gerou uma estrada com declividade média maior e uma amplitude de elevação menor. Esses resultados podem ser entendidos pelo aspecto computacional. O algoritmo implementado na ferramenta *Least Cost Path* do ArcGIS busca os caminhos baseando-se na menor distância em função do custo acumulado, levando em consideração, ainda, os padrões do relevo.

O custo no planejamento proposto foi relacionado à declividade, sendo o custo 1 atribuído às áreas menores de 8 % e o 2 nas áreas maiores de 8 %. Assim, a alocação da estrada pelo algoritmo se deu nessas áreas e visando a menor distância, mesmo que pra isso tenha sido necessário atravessar áreas de maior declividade menores a 8 % (Figura 4.14).

Analisando a amplitude altimétrica do modelo proposto, o resultado demonstra que a entrada de dados de elevação (*raster* de elevação) na ferramenta do ArcGIS foi importante para alocar a estrada com uma menor variação no aspecto vertical. Analisando a geometria vertical em termos espaciais, basicamente, em apenas uma parte da área foi observada uma variação vertical mais acentuada, essa próxima às drenagens naturais. Esse local foi comum às estradas de ambos os planejamentos. Em termos práticos, a estrada do modelo proposto atravessou essa área com uma menor extensão, embora as rampas no local apresentassem declividades de até 6,57 %, maior do que a alocação do planejamento praticado de 4,64 %, que atravessou essa área com trechos menos inclinados e mais longos.

#### 4.3.6.2. Estradas secundárias

Em termos gerais, em ambos os planejamentos as estradas secundárias foram alocadas seguindo semelhantemente entre elas os mesmos padrões do terreno (Figura 4.15). O planejamento proposto gerou uma maior extensão de estradas, com uma diferença de 1033,15 m. Essa diferença correspondeu a um aumento da área impactada de 9,81 % em relação à AEE. Esse aumento não foi esperado. Analisando os resultados, dois aspectos importantes foram observados, um relacionou-se à escala do planejamento praticado e o outro ao fator de localização de árvores como destinos das estradas secundárias.

Primeiro, a escala de planejamento pode explicar em parte o aumento do impacto providenciado pelo modelo proposto. As estradas secundárias do modelo praticado foram planejadas em nível de UPA, ou seja, uma mesma parte da estrada pôde ser usada para a exploração de blocos adjacentes. Esse caso ocorreu no bloco de estudo em dois locais, onde parte de uma estrada secundária dentro da AEE conectou uma estrada no bloco adjacente e outra estrada secundária do bloco adjacente entrou na área da AEE. Essas estradas não se conectaram entre si dentro da AEE, resultando, assim, em uma menor extensão geral de estradas.

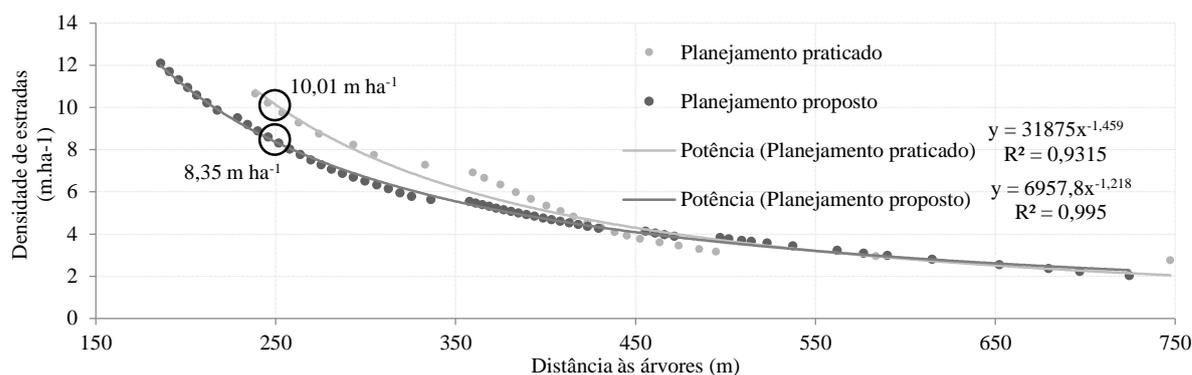
Tentando adequar esse comportamento para uma melhor comparação entre os planejamentos, essas estradas foram conectadas virtualmente em linha reta entre si no interior da AEE e, então, foi contabilizada a respectiva extensão adicional. Seguindo essa tentativa de conexão entre estradas secundárias, um adicional de 1297,78 m foi encontrado, demonstrando que, se as estradas fossem planejadas por bloco (interconectadas dentro do bloco), o planejamento proposto poderia ser mais eficiente em termos de redução de impactos. Considerando o adicional de 1297,78 m encontrado e, somados aos 10526,15 m alocados, o impacto seria de 10,64 ha. Assim, o planejamento proposto gerou 0,24 ha a menos de impacto, correspondendo a uma redução 2,30 %. Essa redução poderia ser maior em termos reais, uma vez que as estradas foram conectadas em linha reta e, se considerado o relevo, essas conexões provavelmente teriam maiores extensões para manter o aspecto vertical de estradas secundárias em baixos valores (HEINRICH, 1975).

Segundo, no planejamento proposto foi considerada a posição de cada árvore como destino para os caminhos alocados das estradas secundárias. Dessa forma, as estradas secundárias foram alocadas de maneira a se aproximarem ao máximo das árvores exploradas, conseqüentemente, resultando em uma diminuição da distância de extração. Para verificar a influência da localização das árvores, foram medidas as distâncias entre as árvores exploradas e as estradas secundárias, essas baseadas como origem na estrada principal. No

planejamento praticado, foram encontradas as distâncias mínima, máxima e média de 0,31 m, 853,02 m e 238,64 m, respectivamente. Para o planejamento proposto, as distâncias mínima, máxima e média foram de 0,03 m, 773,30 m e 186,08 m, respectivamente. De maneira simples, foi possível destacar a influência das árvores na alocação das estradas secundárias pelo planejamento proposto, o qual gerou a redução da distância média em 22,02 %.

Complementando o segundo aspecto, conforme os procedimentos computacionais realizados, todas as árvores deveriam ser alcançadas em cada iteração do algoritmo do ArcGIS levando em consideração o caminho de menor custo acumulado. O momento em que o algoritmo deveria parar de alocar estradas foi determinado quando não fosse mais possível gerar novos caminhos sem que esses se ramificassem em suas extremidades, ou seja, quando não fosse possível identificar os principais caminhos. Esse momento, ou limite, foi claramente identificado durante os procedimentos computacionais no planejamento proposto. Entretanto, não foi possível identificar o parâmetro determinante do limite para a máxima quantidade de estradas no planejamento praticado.

Para contornar essa situação, uma simulação foi realizada com as estradas secundárias obtidas nos dois planejamentos. Reduções sistemáticas das extensões partindo das extremidades das estradas foram feitas e então checadas as distâncias médias até as árvores a cada redução; Para isso, foi montado um gráfico com as curvas de densidade-distância para os dois planejamentos e, para cada curva, foi ajustado um modelo de explicação. A ideia foi encontrar quais foram as densidades de estradas secundárias dos planejamentos proposto e praticado que promoveram a mesma distância média entre as árvores e as estradas (Figura 4.16). O resultado demonstrou que, considerando a distância média de 250 m como padrão, a densidade necessária de estradas do planejamento praticado foi de 10,01 m ha<sup>-1</sup>, enquanto que para o planejamento proposto foi de 8,35 m ha<sup>-1</sup>. Isso evidenciou a influência do fator localização das árvores na alocação e extensão das estradas secundárias que, em termos técnicos, representou uma menor quantidade de estradas alocadas principalmente pela sua melhor distribuição espacial na área em relação às árvores.



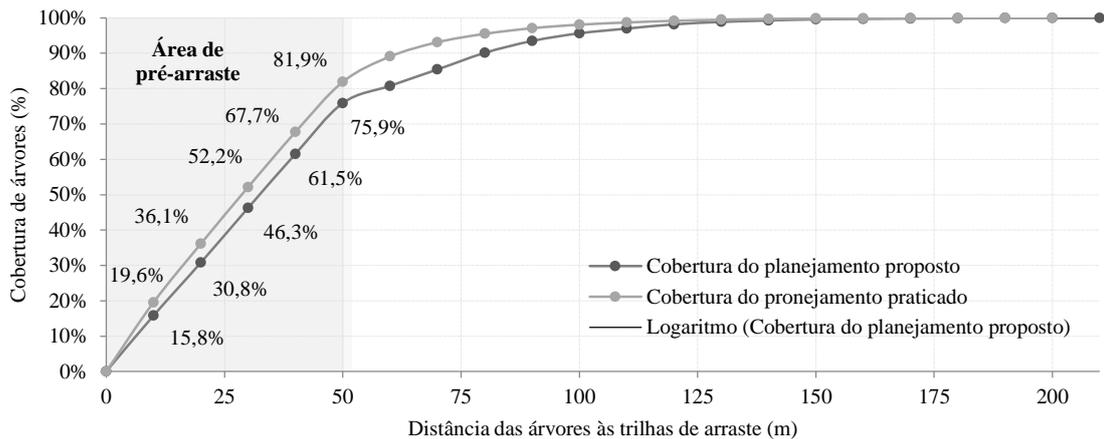
**Figura 4.16.** Gráfico de densidade de estradas em função da distância média às árvores. A linha escura representa o modelo (potência) ajustado para o planejamento proposto. A linha clara representa o modelo (potência) ajustado para o planejamento praticado. A linha tracejada representa o limite de comparação em função da distância às árvores entre ambos os planejamentos. Note que o modelo proposto, mantendo-se uma distância média de referência de 250 m, requer uma menor quantidade de estradas para acessar as árvores exploradas.

#### 4.3.6.3. Trilhas de arraste

Com base nos fatores relacionados ao relevo, as declividades médias e as amplitudes altimétricas foram semelhantes entre os planejamentos, porém menores valores foram verificados no planejamento proposto, significando uma ligeira vantagem técnica. De forma geral, a localização espacial das trilhas de arraste foi diferente entre os planejamentos (Figura 4.17).

Apesar de uma melhor eficiência demonstrada pelo planejamento praticado em termos de cobertura de árvores considerando a área de pré-arraste, no planejamento praticado alocaram-se 73096,6 m para obter uma cobertura de 81,9 %. No planejamento proposto, a cobertura de árvores foi de 75,9 %, sendo necessário para isso um total de 47857,48 m. Comparando o total de extensão de trilhas alocadas pelo planejamento proposto em relação ao praticado, houve um decréscimo de 34,00 %. Esse valor em termos brutos refere-se a uma redução de impacto de 11,36 ha de áreas a serem isentas da movimentação de máquinas.

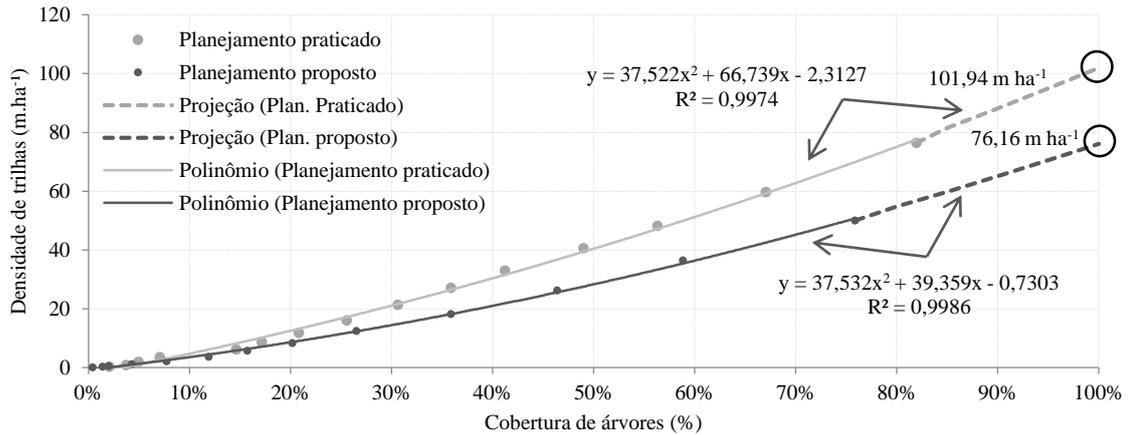
Esperando uma maior eficiência da alocação de trilhas pelo planejamento proposto, não só em termos de quantidade de trilhas, mas também em termos operacionais, ou seja, mantendo a relação de distância entre elas e as árvores, a distribuição das trilhas do planejamento praticado, em números brutos, proporcionou uma maior cobertura de árvores para a área de pré-arraste, de 81,9 %, contra os 75,9 % do planejamento proposto. Além disso, o planejamento praticado foi mais eficiente na cobertura das árvores fora da área de pré-arraste (Figura 4.17).



**Figura 4.17.** Cobertura de árvores pelas trilhas de arraste dos planejamentos proposto e praticado. A área em cinza representa a área de pré-arraste (raio de 50 m a partir das trilhas). Essa área corresponde ao raio de ação do cabo utilizado para o guinchamento das toras. As árvores situadas além desse raio necessitam de aberturas adicionais de trilhas.

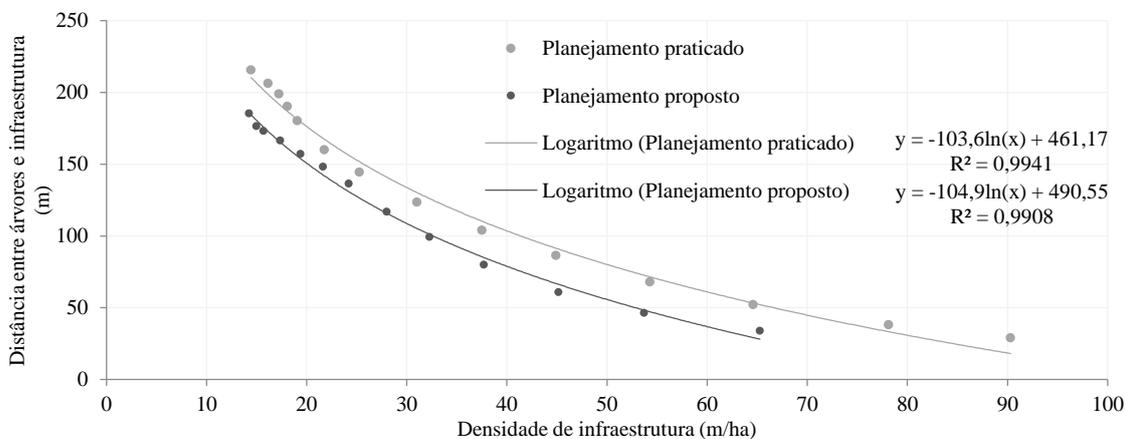
Para verificar uma correta eficiência de alocação de trilhas, foi fixado um valor de cobertura de árvores e checado a densidade de trilhas alocadas. A densidade de trilhas é um parâmetro que engloba a quantidade e a distribuição dessas em uma área. Assim, seguindo o mesmo princípio da análise para estradas secundárias, simulou-se a redução a partir das extremidades das trilhas de ambos os planejamentos e, a cada redução, obtiveram-se a cobertura e a densidade das trilhas. Foram ajustados modelos de equações para representação das curvas de densidade-cobertura para cada planejamento na AEE (Figura 4.18).

Levando em consideração a quantidade de trilhas necessárias para atingir uma cobertura fixada em 100% de árvores na área de pré-arraste, utilizando as equações polinomiais ajustadas, os resultados demonstraram que seria necessária a alocação de 97521,70 m de trilhas caso fosse utilizado o planejamento praticado, enquanto que, pelo o método do planejamento proposto, seria necessária a alocação de 72853,80 m. Essas extensões de trilhas de arraste alocadas pelos planejamentos praticado e proposto corresponderam às densidades de  $101,94 \text{ m ha}^{-1}$  e  $76,16 \text{ m ha}^{-1}$ , considerando a AEE. Além disso, a distribuição das trilhas em função da localização das árvores (superfície *raster* de custo) auxiliou o modelo proposto a apresentar uma maior eficiência em termos de redução de impactos, de 25,30 % sobre o planejamento praticado.



**Figura 4.18.** Cobertura de árvores para a área de pré-arraste em função da densidade de trilhas. Os modelos polinomiais foram ajustados e com esses foram feitas as projeções para comparação entre os planejamentos em um nível de cobertura de 100%.

Seguindo o princípio da análise da redução da extensão, foi relacionado à densidade de trilhas (conectadas às estradas) com a distância até as árvores para a AEE. Para cada redução das extremidades das trilhas foram obtidos os valores de densidade e de distância até as árvores e então, ajustado os modelos para as curvas densidade-distância (Figura 4.19). Os resultados mostram que, apesar da média de distância entre árvores e trilhas ter sido menor no planejamento praticado, quando verificado a quantidade de trilhas alocadas, ou seja, a densidade, foi necessário um total de 76,24 m ha<sup>-1</sup> de trilhas. Utilizando essa densidade como referência, o planejamento proposto proporcionou uma distância entre árvores e trilhas e estradas de 26,10 m. Assim, em termos proporcionais, o planejamento proposto gerou uma menor distância entre árvores e infraestrutura com uma mesma densidade por ambos os planejamentos. Essa redução da distância média entre árvores e infraestrutura (trilhas e estradas) foi de 10,85 %.



**Figura 4.19.** Relação entre densidade de infraestrutura (trilhas e estradas) e distância até as árvores.

#### 4.3.6.4. Pátios de estocagem

Os resultados entre os planejamentos mostram que houve uma redução do número de pátios alocados de 22 (praticado) para 14 (proposto). O número de pátios alocados pelo planejamento proposto foi 36,36 % mais eficiente na redução de impactos pela abertura individual de 900 m<sup>2</sup>, correspondendo a 0,10 % da AEE.

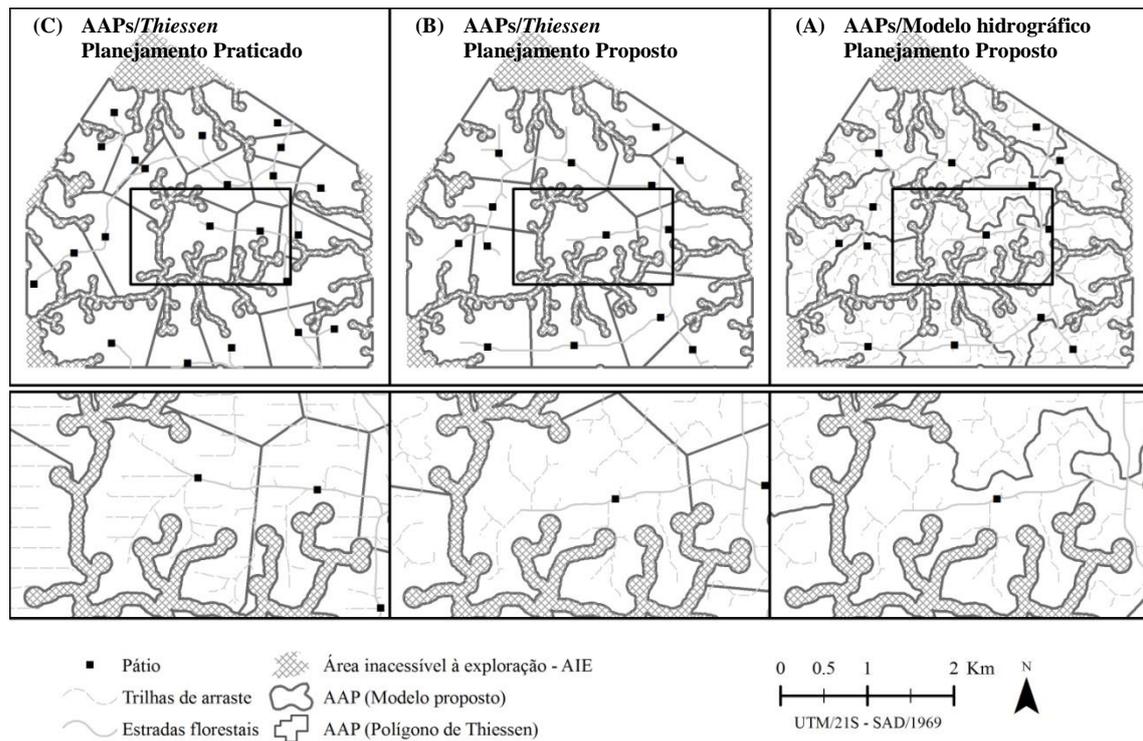
Da mesma maneira como foi esperada a redução da quantidade de pátios, uma distribuição mais equilibrada do volume a ser armazenado em cada pátio foi requerida também pelo planejamento proposto. Para verificar a distribuição espacial e a volumétrica dos pátios, foi necessário determinar as AAPs para planejamento praticado conforme a base espacial dos pátios fornecida pelos manejadores, ou seja, não apenas em termos médios, mas também, verificando as variações de área em relação ao posicionamento dos pátios. Como não foi possível realizar os mesmos métodos do planejamento proposto, a determinação das AAPs baseou-se na técnica de polígonos de *Thiessen*, os quais partem da localização dos pontos e definem os seus limites de área na metade da distância euclidiana entre os pontos. Então, com a base espacial dos pontos dos pátios foi comparada as AAPs baseando nos polígonos de *Thiessen*, esses gerados para os pátios de ambos os planejamentos. O modelo adotado no planejamento proposto foi comparado também as AAPs criadas pelos polígonos de *Thiessen*. Depois de definidas as AAPs, utilizando-se a ferramenta de análise espacial presente no ArcGIS, foram obtidas as áreas, o número de árvores, o volume e a densidade de infraestrutura em cada AAP.

Em termos florestais, a AAP pode ser considerada como um compartimento de madeira contido na AEE, o qual é simplesmente entendido como uma subárea em nível de planejamento operacional, onde se determina a quantidade de pessoal, máquinas, veículos de transporte, equipamentos e suporte técnico necessário para a realização das atividades de exploração em campo.

Como o planejamento praticado alocou mais pátios do que o proposto, as AAPs foram menores. Os polígonos de *Thiessen*, considerados AAPs do planejamento praticado, apresentaram áreas mínima, máxima e média de 23,22, 88,43 e 43,48 ha, respectivamente. No planejamento proposto, os polígonos de *Thiessen* geram AAPs com áreas mínima, máxima e média de 42,32, 86,05 e 68,32 ha, respectivamente. Os coeficientes de variação do volume entre as AAPs geradas a partir dos polígonos de *Thiessen* para o planejamento praticado e para o proposto foram de 41,08 e 20,98 %, respectivamente. Esses resultados demonstram uma maior uniformidade no tamanho das AAPs obtida pelo planejamento proposto usando *Thiessen*. As áreas mínima, máxima e média das AAPs geradas segundo

método do planejamento proposto foram 44,97, 93,28 e 68,63 ha, respectivamente, com variação de 19,01 %. Apesar de semelhantes, a maior uniformidade de áreas foi atribuída ao planejamento proposto, preferencialmente para o modelo desenvolvido no estudo (Figura 4.20).

Como o modelo proposto baseou-se, também, no limite de armazenamento de pátio padronizado em 1439 m<sup>3</sup> em toras, tendo as árvores como origem e o ponto de saída do bloco como destino, as árvores seguiram pelas trilhas e estradas até alcançarem o ponto de saída do bloco e, toda vez em que ao longo desses caminhos fosse encontrado um ponto limite nominal de aproximadamente 1439 m<sup>3</sup>, esse ponto marcaria a divisão entre AAPs. Como a variação do tamanho das AAPs foi menor no planejamento proposto, ou seja, mais uniforme, esperou-se que o mesmo fosse encontrado, também, em termos de volume de armazenamento de cada pátio. Quanto ao planejamento praticado, foi esperada uma distribuição do volume dos pátios em nível da mesma variação em termos de área da AAP.

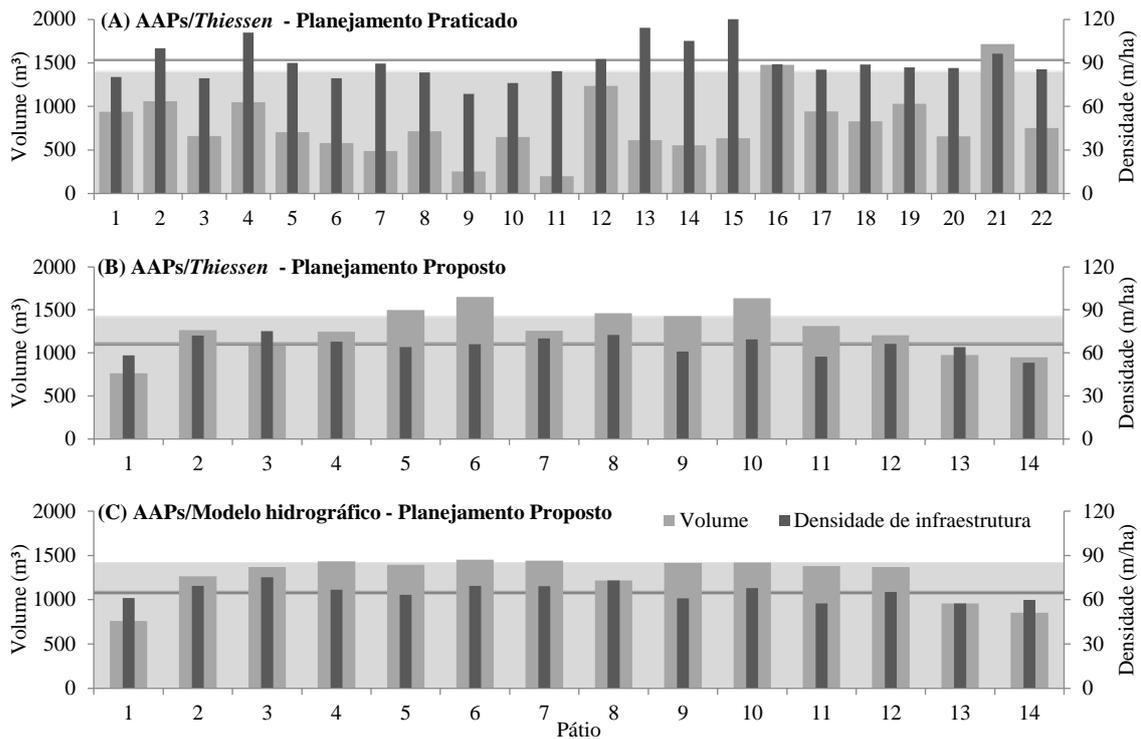


**Figura 4.20.** Delimitação das áreas de abrangência de pátios (AAPs): (A) AAPs criadas a partir da base espacial com os pontos dos pátios fornecida pelos manejadores e como método dos polígonos de *Thiessen*; (B) AAPs criadas a partir dos pontos dos pátios conforme a metodologia do planejamento proposto, porém, utilizando o método dos polígonos de *Thiessen*, e; (C) AAPs criadas partir dos pontos dos pátios e utilizando o comportamento hidrográfico de acumulação de fluxo, conforme o método do planejamento proposto.

Considerando as AAPs criadas a partir dos polígonos de *Thiessen*, para o planejamento praticado foram encontrados os volumes de armazenamento mínimo, máximo

e médio de pátios de 198,42, 1715,63 e 805,82 m<sup>3</sup>, respectivamente e, para os pátios do planejamento proposto, os volumes mínimo, máximo e médio foram de 763,22, 1650,51 e 1266,33 m<sup>3</sup>, respectivamente. Os coeficientes de variação para os volumes armazenados nos pátios dos planejamentos praticado e proposto foram de 44,68 e 19,81 %, respectivamente. Como resultados gerados no método do planejamento proposto, os volumes mínimo, máximo e médio de armazenamento de pátios foram de 758,83, 1452,13 e 1266,25 m<sup>3</sup>, respectivamente. O coeficiente de variação foi de 18,50 %. O método utilizado no planejamento proposto foi mais eficiente na uniformidade da quantidade de madeira a ser armazenada por pátio. Essa uniformidade da distribuição volumétrica poderia gerar um maior equilíbrio que, em termos operacionais, representaria uma menor variação da produtividade. Além disso, as AAPs mais distantes que tem seu custo aumentado pelo transporte de máquinas, equipamentos e pessoal poderiam ser menos onerosas economicamente.

Baseando-se ainda nas AAPs, se ambas as uniformidades da área e do volume tiveram menor variação no planejamento praticado, a quantidade de infraestrutura deveria manter os níveis de variação em termos de extensão. Assim, as densidades mínima, máxima e média de infraestrutura (estradas e trilhas de arraste) foram de 57,51, 75,17 e 65,44 m ha<sup>-1</sup> para o método do planejamento proposto, respectivamente. O Coeficiente de variação entre as densidades das AAPs foi 8,52 %. Comparando os planejamentos baseando-se nas AAPs criadas pelos polígonos de *Thiessen*, para o planejamento praticado as densidades mínima, máxima e média foram de 68,67, 120,28 e 90,64 m/ha, respectivamente e, para o proposto foram de 53,06, 75,12 e 65,49 m ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Os coeficientes de variação entre as densidades encontradas entre as AAPs foram de 9,36 e 14,09 % para os planejamentos proposto e para o praticado, respectivamente (Figura 4.21). Seguindo o esperado, os resultados apontam uma menor variação de densidade para o método do planejamento proposto. Além disso, o nível de variação permaneceu próximo à variação de área e volume, inclusive menor. Uma consideração importante baseada nos resultados foi que uma maior uniformidade de densidade de infraestrutura reflete uma melhor utilização da AAP, ou seja, mantem-se baixa a possibilidade da implantação demasiada ou insuficiente de infraestrutura em cada AAP.



**Figura 4.21.** Distribuição do volume de estocagem e a densidade de infraestrutura das AIPs: (A) planejamento praticado, apresentando maior variação da distribuição e maior quantidade de pátios; e, (B) planejamento proposto, com menor variação e quantidade de pátios. A faixa em cinza representa o limite e de armazenamento do pátio de 1439 m<sup>3</sup> baseando-se em dados de campo pós-exploração. A linha cinza escuro representa a média da densidade de estradas das AAPs, sendo que para os gráficos (A) e (B), essas foram determinadas pelos polígonos de *Thiessen* e suas médias foram 90,64 e 64,49 m/ha, respectivamente e, para o gráfico (C), as AAPs foram determinados segundo a metodologia desenvolvida no planejamento proposto, a qual se baseia no acumulo de fluxo semelhantemente ao comportamento de subbacias hidrográficas, a média foi de 64,44 m/ha.

#### 4.3.6.5. Infraestrutura total

Três tipos de infraestrutura foram considerados para comparação entre os planejamentos: as estradas florestais, compostas pelos tipos de estradas secundária e principal; a infraestrutura de escoamento de produção composta pelo o conjunto de estradas e de trilhas de arraste, e; os pátios de estocagem de madeira e suas respectivas AAPs. Os resultados gerais dos planejamentos praticado e proposto encontram-se na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5.** Resultados gerais das infraestruturas de exploração alocadas pelos planejamentos praticado e proposto para uma mesma cobertura de árvores.

| Parâmetros   | Planejamento |          | Diferença<br>((Prop/Prat_-1) |
|--|--------------|----------|------------------------------|
|  | Praticado    | Proposto |                              |
| Área no bloco de estudo (ha)                                   | 1222.076     |          |                              |
| Área da AEE (ha)   | 956.59       |          |                              |
| Extensão de estradas (m)                                       | 13430.84*    | 14585.46 | 8.6%                         |
| Densidade de estradas no bloco (m/ha)                          | 10.99        | 11.93    | 8.6%                         |
| Densidade de estradas na AEE (m/ha)                            | 14.04        | 15.25    | 8.6%                         |
| Impacto de abertura de estradas (ha)                           | 13.06        | 14.03    | 7.4%                         |
| Proporção de impacto no bloco de estudo (%)                    | 1.07%        | 1.15%    | 7.5%                         |
| Proporção de impacto na AEE (%)                                | 1.37%        | 1.47%    | 7.3%                         |
| Extensão de estradas e trilhas (m)                             | 86368.70     | 62442.95 | -27.7%                       |
| Densidade de estradas e trilhas no bloco (m/ha)                | 70.67        | 51.10    | -27.7%                       |
| Densidade de estradas e trilhas na AEE (m/ha)                  | 90.29        | 65.28    | -27.7%                       |
| Impacto de abertura de estradas e trilhas (ha)                 | 45.88        | 35.57    | -22.5%                       |
| Proporção de impacto no bloco de estudo (%)                    | 3.75%        | 2.91%    | -22.4%                       |
| Proporção de impacto na AEE (%)                                | 4.80%        | 3.72%    | -22.5%                       |
| Número de pátios   | 22           | 14       | -36.4%                       |
| Área de abrangência de pátios - AAP (ha)                       | 43.48        | 68.63    | 57.8%                        |
| Volume médio de armazenamento de pátio (m <sup>3</sup> /pátio) | 805.82       | 1266.25  | 57.1%                        |
| Impacto de abertura de estradas, trilhas e pátios (ha)         | 60.92        | 50.87    | -16.5%                       |
| Proporção de impacto no bloco de estudo (%)                    | 4.99%        | 4.16%    | -16.6%                       |
| Proporção de impacto na AEE (%)                                | 6.37%        | 5.32%    | -16.5%                       |
| Impacto por volume (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )           | 33.96        | 28.35    | -16.5%                       |
| Estradas e trilhas por volume (m/m <sup>3</sup> )              | 4.81         | 3.48     | -27.7%                       |
| Cobertura de árvores (%)                                       | 81.91        | 81,91    | 0%                           |
| Distância média às árvores (m)                                 | 29.06        | 26,10    | -10.2%                       |

Prop = planejamento proposto; Prat = planejamento praticado

\* Considerado para o planejamento em nível de UPA, enquanto que o proposto teve a escala de planejamento em função da área do bloco. Segundo estimativa realizada no estudo, um adicional mínimo de 1297,78 m poderia ser adicionado para tornar o planejamento praticado na escala da área de bloco. Considerando esse adicional, as estradas do planejamento praticado teriam uma extensão de 14728,62 m. Portanto, o planejamento proposto alocou 1,06 % a menos de estradas.

Segundo o planejamento praticado, foi gerada uma densidade de estradas para a área do bloco e para a AEE de 10,99 e 14,04 m ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O total alocado pelo planejamento proposto correspondeu às densidades de 11,93 e 15,94 m ha<sup>-1</sup> considerando a área do bloco (1222,07 ha) e a AEE (956,59 ha), respectivamente (Tabela 4.5). Comparando ambos os planejamentos, o planejamento praticado alocou uma menor quantidade de estradas na área de exploração, 7,91% a menos. No entanto, retomando o ponto de vista da escala de planejamento, as estradas pelo método praticado foram alocadas considerando a área da UPA (5020,98 ha) e não apenas a área do bloco. Por conta desse aspecto, um adicional de 1297,78 m (análise realizada) poderia ser adicionado para conectar estradas secundárias na AEE de maneira a transformar a escala de planejamento para o nível de bloco.

Se isso fosse considerado, as densidades para o bloco e para a AEE seriam de 12,05 m ha<sup>-1</sup> e 15,39 m ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Nesse caso, considerar-se-iam que, ambos os planejamentos seriam semelhantemente eficientes em densidades de estradas. Como essa simulação tratou-se da tentativa de aproximação, foram adotados valores reais e as estradas do planejamento praticado no nível da UPA resultaram na menor densidade de estradas (Tabela 4.5).

As proporções do total da extensão de estradas do tipo principal e secundário alocadas pelo planejamento praticado foram de 24,1 % e 75,9 %, respectivamente. Assim, para cada metro de estradas principal, foram alocados 3,15 metros de estradas secundárias. A proporção gerada no planejamento proposto foi de 3,81 metros de estradas secundárias para cada metro de estrada principal. Utilizando a estimativa relativa de custo de construção de estradas segundo Heinrich (1975), as estradas principais custam de 7 a 10 unidades monetárias por metro construído (\$ m<sup>-1</sup>), ao passo que as estradas secundárias custam de 1 a 7 (\$ m<sup>-1</sup>). Como os manejadores adotaram boas técnicas de construção, foi considerado o máximo valor estimado de construção de estradas acima mencionado, ou seja, 10 \$ m<sup>-1</sup> para estradas principais e 7 \$ m<sup>-1</sup> estradas secundárias. Esses valores foram utilizados para realizar o cálculo do custo relativo conforme as proporções encontradas de ambos os planejamentos. No planejamento proposto, o custo relativo total representou um aumento de 7,38 % em relação ao planejamento praticado. Apesar de o planejamento praticado ter apresentado maior custo total, o planejamento proposto foi o mais barato para estradas principais.

As estradas alocadas pelo planejamento proposto causaram um impacto de abertura de floresta de 14,03 ha, o que correspondeu a 6,95 % a mais em relação ao planejamento praticado AEE (Tabela 4.5). Esse resultado aponta para menor redução de impacto adotando o planejamento praticado para alocar estradas. Segundo informações dos manejadores, as estradas implantadas seguiram aspectos técnicos adequados, sendo essas construídas a partir de mensuração topográfica em campo.

Trilhas de arraste foram agregadas à rede de estradas para análise dos planejamentos. No CELOS *Harvest System*, as trilhas de arrastes são consideradas infraestruturas permanentes (ELDIK, 2011; GRAAF, 1982; GRAAF; JONKERS; SCHIMIDT, 1984) e no caso das práticas adotadas pelos manejadores, a abertura na floresta para a implantação das trilhas de arraste foi de 4,5 m. Contabilizando estradas e trilhas de arraste, o planejamento proposto alocou um total de 62442,95 m, enquanto o praticado alocou 86368,69 m. A extensão total da infraestrutura alocada pelo planejamento proposto gerou uma densidade de 51,10 e 65,28 m/ha em relação à área do bloco e da AAP, respectivamente. A densidade para a área do bloco e da APP alocada pelo planejamento praticado foi de 70,67 e 90,29 %,

respectivamente. Em termos de impacto, estradas e trilhas de arraste do planejamento proposto geram 35,57 ha, representando 2,91 e 3,72 % da área do bloco e da AEE, respectivamente. A redução nos valores desses parâmetros proporcionada pelo planejamento proposto foi 27,70 % menor do que o praticado.

Relacionando a quantidade de infraestrutura pelos tipos estradas e trilhas de arraste, para cada metro de estrada foram alocados 3,28 metros de trilhas de arraste no planejamento proposto. No planejamento praticado, para cada metro de estrada foram alocados 5,43 m de trilhas de arraste. O resultado demonstra superioridade do modelo proposto na redução da extensão de trilhas de arraste. Assim, em termos proporcionais para o conjunto de infraestrutura, para cada metro de estrada principal, foram alocados 3,81 metros de estradas secundárias e 15,81 de trilhas de arraste, segundo o planejamento proposto.

Utilizando a proporção acima das infraestruturas do planejamento proposto e considerando os valores relativos de custo de construção (HEINRICH, 1975), onde para a estrada principal o custo foi de 10 \$ m<sup>-1</sup>, para estrada secundária de 7 \$/m e para trilhas de arraste de 1 \$ m<sup>-1</sup>, o custo unitário para alocação do conjunto de infraestruturas seria de 52,55 \$ m<sup>-1</sup>. Esse custo unitário de infraestrutura foi 4,65 % inferior comparado ao custo do planejamento praticado. Considerando a extensão total alocada, o custo estimado de alocação de estradas e trilhas pelo planejamento proposto foi 9,98 % menor em relação ao custo do planejamento praticado. Vale destacar que, a redução obtida foi para os valores brutos de ambos os planejamentos os quais, segundo verificação anterior, não apresentam o mesmo limite de cobertura de árvore. Considerando a equação de densidade-cobertura ajustada para o planejamento proposto e mantendo-se a mesma cobertura de árvores de 81,9 % alcançada pelo planejamento praticado, seria necessária a alocação de 68804,72 m. Essa alocação resultaria em custo de 6,38 % a menos em relação ao custo planejamento praticado.

Adicionalmente, a última infraestrutura alocada foi a rede pátios de estocagem de madeira. Com o planejamento proposto foram alocados 14 pátios, enquanto o praticado alocou 22. Em termos de impacto causado pela abertura da floresta para implantação de pátios, o planejamento proposto reduziu em 36,36 % em relação ao praticado.

Ao total, as estradas, as trilhas e os pátios geram um impacto de 60,92 ha de abertura da floresta para implantação segundo os resultados do planejamento proposto. Proporcionalmente à área do bloco e da AEE, os pátios do planejamento proposto corresponderam a 4,16 e 5,32 %, respectivamente. Contabilizando toda a área impactada pela alocação da infraestrutura, o planejamento proposto diminuiu em 16,51 % em relação ao praticado, equivalente 28,35 m<sup>2</sup> de abertura para implantação de estradas, trilhas e pátios.

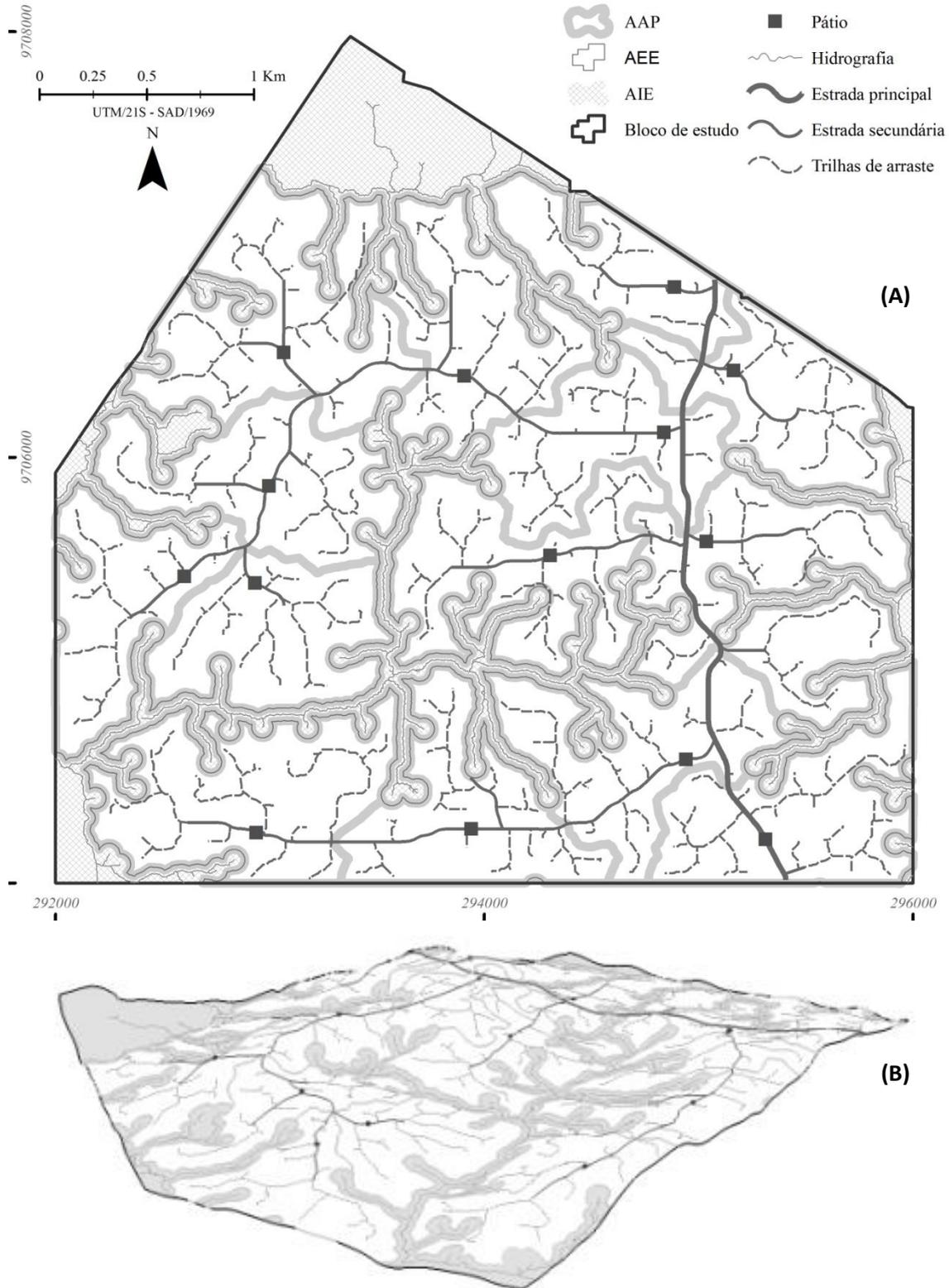
Para verificar se o planejamento proposto manteve os mesmos níveis operacionais do praticado, foram comparados os valores de contribuição marginal do volume, do impacto e da distância às árvores nas infraestruturas. O volume total considerado foi de 17939,70 m<sup>3</sup>, conforme informações pós-exploração fornecidas pelos manejadores.

Considerando o planejamento proposto, para cada volume explorado foram alocados 3,48 m de estradas e trilhas, enquanto que o praticado alocou 4,81 m. Em termos de custo, considerado a estimativa de Heinrich (1975), para cada volume explorado no planejamento proposto, o custo relativo seria de 8,86 \$ m<sup>-3</sup>, correspondendo uma redução de 11,09 % em relação ao planejamento praticado.

A quantidade e a distribuição das infraestruturas alocadas pelo planejamento proposto apresentaram uma distância até as árvores de 16,69 % maior comparada à distância proporcionada pelo planejamento praticado. A distância média entre árvores e infraestrutura para o planejamento proposto foi de 33,91 m. No entanto, vale ressaltar que, o nível de cobertura de árvores e a densidade de infraestrutura entre os planejamentos foram diferentes considerando a AEE. A infraestrutura total do planejamento praticado apresentou uma cobertura de 81,9 % a uma densidade de 90,29 m ha<sup>-1</sup> de infraestrutura (estradas e trilhas) e, o planejamento proposto apresentou valores de 75,9 % a 65,28 m ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O planejamento proposto em termos brutos de cobertura foi 6,09 % inferior. Basicamente, a adição de trilhas de arraste providenciam uma maior cobertura e, conseqüentemente, uma redução da distância entre trilhas e árvores. Como demonstrado anteriormente, para se chegar uma mesma cobertura de árvores entre os planejamentos para uma ideal comparação, seria necessário alocar um adicional de 6361,77 m de trilha no planejamento proposto para alcançar o mesmo valor de cobertura de árvores de 81,9 % providenciada pelo praticado. O total resultante da adição ocasionaria um aumento da densidade de infraestrutura do planejamento proposto para 71,92 m ha<sup>-1</sup>. Esse valor permanece, ainda, 20,34 % menor em relação ao praticado. Segundo a equação ajustada que relaciona a densidade de trilhas à distância às árvores, 71,92 m ha<sup>-1</sup> seria equivalente a uma distância média entre trilhas e árvores de 26,11 m, ou seja, 10,20 % menor da distância providenciada pelo planejamento praticado, de 29,06 m.

De maneira geral, o planejamento proposto alocou uma quantidade menor de infraestrutura que, conseqüentemente, diminuiu o impacto na AEE comparando-se ao planejamento praticado. Adicionalmente, o planejamento proposto manteve, ao mínimo, os mesmos padrões espaciais como distância e cobertura de árvores a partir da infraestrutura

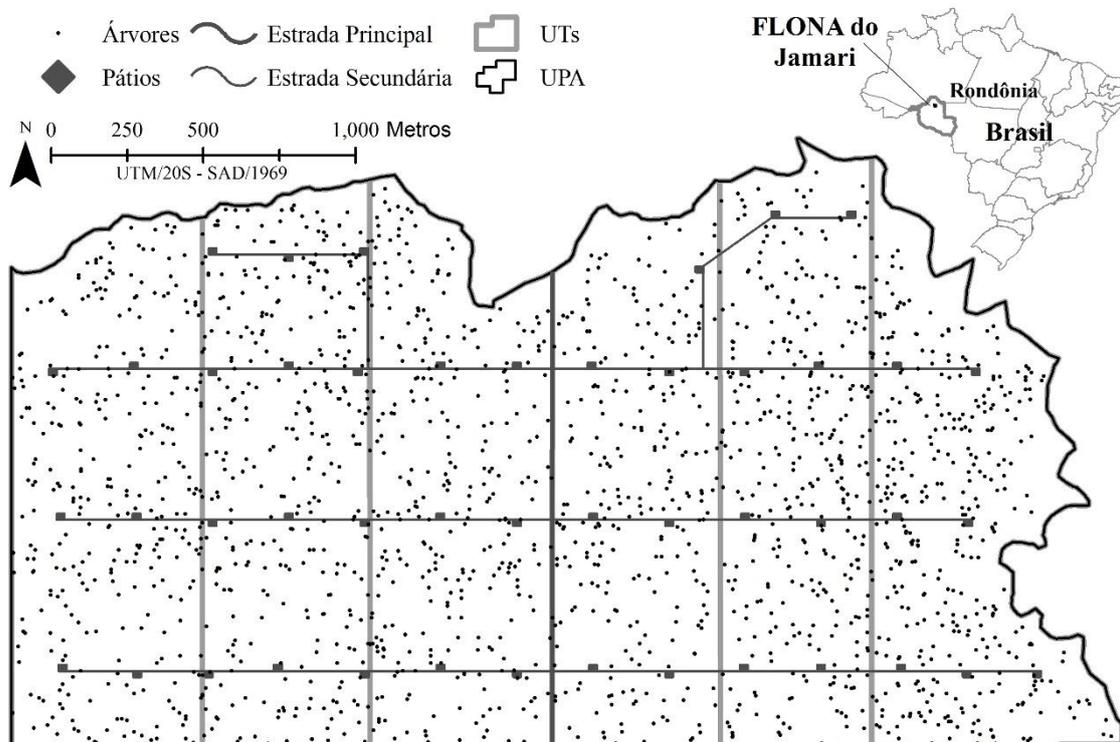
alocada, além de diminuir a contribuição marginal de infraestrutura por árvore explorada (Figura 4.22).



**Figura 4.22.** Infraestrutura de exploração alocada pelo planejamento proposto: (A) mapa em 2D, e; (B) perspectiva em 3D considerando o modelo de elevação do terreno (exagero vertical: 3).

#### 4.3.7. Extensão

De acordo com o planejamento praticado (Figura 4.23), o qual distribuiu sistematicamente toda a infraestrutura de exploração, a UPA e a área de exploração efetiva - AEE apresentaram áreas de 594,17 ha e 565,50 ha (segundo o POA), respectivamente. Ainda, segundo o POA, foram planejados a exploração de 9165.07 m<sup>3</sup>. No interior da UPA, a estrada principal em seu único trecho teve extensão de 1571,73 m e as estradas secundárias, com cinco trechos, de 11078,66 m ao total. Considerando a largura planejada das estradas principal e secundária de 10 e 6 metros, respectivamente, os impactos gerados para cada tipo de estrada foi de 1,57 ha e 6,64 ha, respectivamente para estrada principal e secundárias. Os 46 pátios planejados, com área de 500 m<sup>2</sup> cada, geraram ao total um impacto de 2,30 ha.

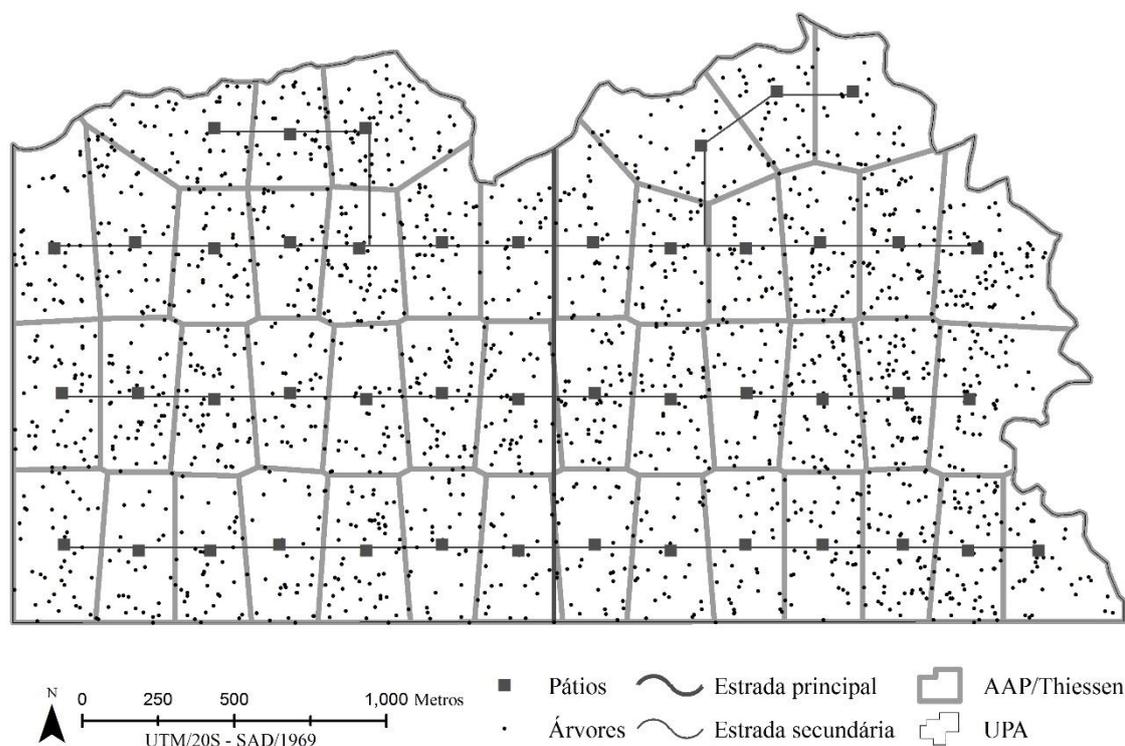


**Figura 4.23.** Planejamento da infraestrutura praticado.

A extensão das estradas encontradas equivaleu a densidade de 21,29 m ha<sup>-1</sup> e 22,37 m ha<sup>-1</sup>, considerando às áreas da UPA e AEE, respectivamente. Da mesma maneira, o impacto total gerado pela abertura das áreas para estradas e pátios acarretou em impactos de 1,77 % e 1,86 % em relação à UPA e AEE, respectivamente.

Tendo em vista o posicionamento dos pátios pelo planejamento praticado, foram geradas as AAPs com o método dos polígonos de *Thiessen* objetivando determinar uma região limite para que as trilhas de arraste fossem alocadas e essas ligadas ao respectivo pátio da AAP. Os polígonos de *Thiessen* são determinados em função da mediatriz entre os pátios

vizinhos e, após determinado o ponto médio dessas distâncias para todos vizinhos, essas áreas são criadas ligando-se geometricamente através desses pontos médios. Espacialmente, como a distribuição dos pátios foi sistemática em espaçamento e sempre nas estradas secundárias, as AAPs/*Thiessen* apresentaram forma geométrica semelhantes, exceto às localizadas nas extremidades irregulares da UPA (Figura 4.24).



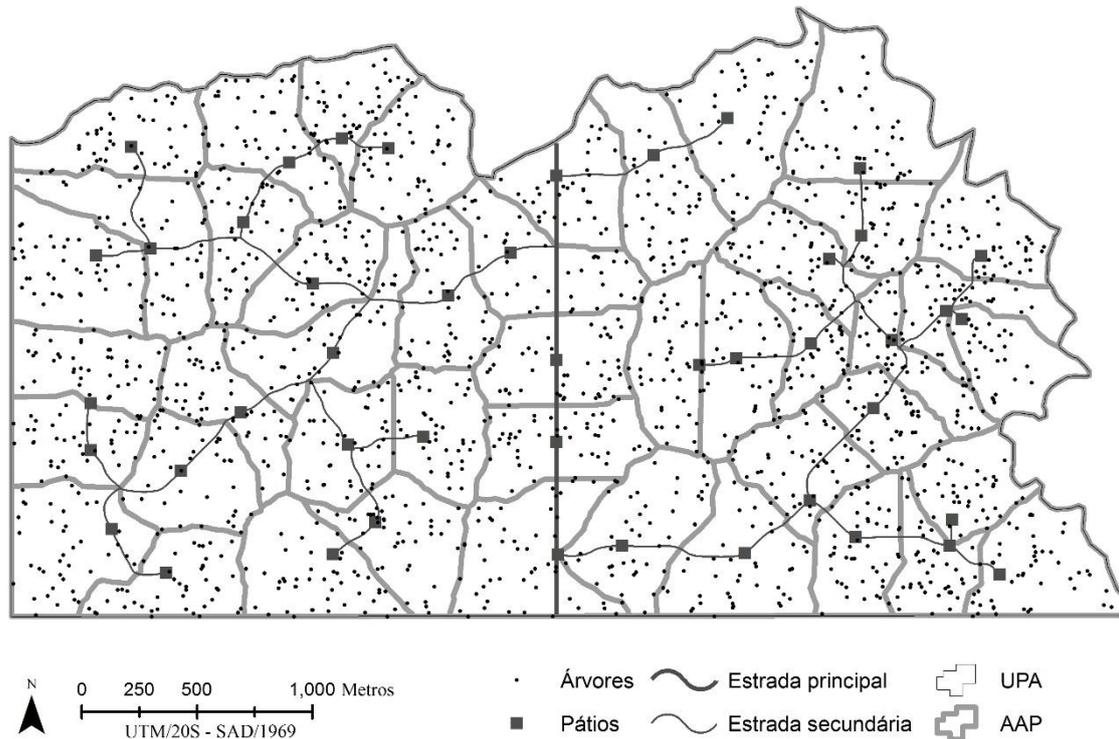
**Figura 4.24.** Visualização das AAPs segundo o método do polígono de *Thiessen*.

No planejamento proposto, foram alocadas uma extensão de estradas principal e secundária de 1559 m e 10318 m, respectivamente. Os impactos gerados pelas estradas principal e secundária foram de 1,55 ha e 6,19 ha, respectivamente. Foram necessários 45 pátios, o que representou um impacto de 2,25 ha (Figura 4.25).

As estradas principais de ambos os planejamentos foram idênticos em termos de geometria horizontal e vertical, essas alocadas em um trecho retilíneo atravessando a UPA e, explicado, basicamente, pela pouca variação altimétrica no local. Quanto às estradas secundárias, houve diferença entre as extensões alocadas, refletindo no impacto gerado. No planejamento proposto, empregando convergentes modelos cartográficos, a redução do impacto de estradas secundárias foi de 5,71 % em relação ao planejamento praticado. Isso destaca a eficiência na redução de impacto pelo modelo proposto em termos numéricos.

No planejamento proposto, as AAPs foram determinadas em função da acumulação de árvores ao longo das estradas, estipulada como 42 árvores o limite de acumulação. Foram

necessários 45 pátios para atender esse limite (Figura 4.25). A redução de impacto em relação ao planejamento praticado foi de 2,17 %.



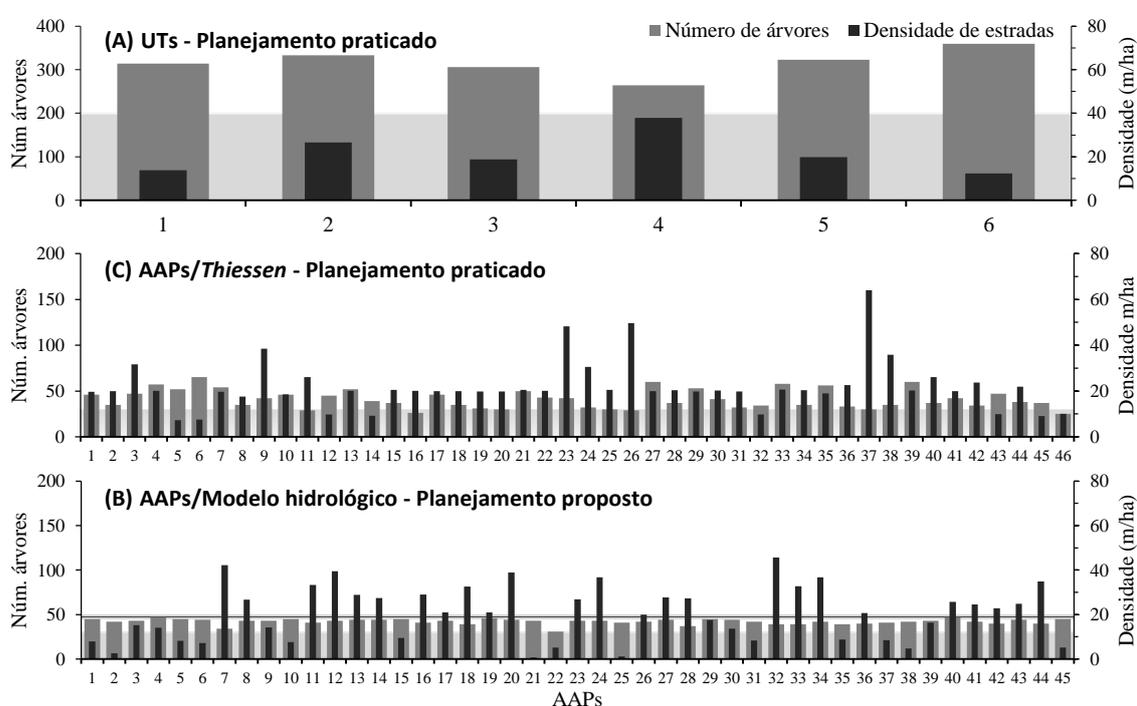
**Figura 4.25.** Alocação das infraestruturas segundo o planejamento propostos e das áreas de abrangência de pátios – AAPs.

No planejamento proposto os pátios apresentaram uma maior uniformidade de armazenamento. A variação do número de árvores foi de 7,30 % a mais, com média de 42,20 árvores. Nesse aspecto, isso demonstra ligeira superioridade em redução de impacto pelo método proposto. Quanto às estradas secundárias, houve diferença entre as extensões alocadas. No planejamento proposto, empregando convergentes modelos cartográficos, a redução do impacto de estradas secundárias foi de 5,71 % em relação ao planejamento praticado. Isso destaca a eficiência numérica na redução de impacto pelo modelo proposto.

Em termos de técnicos, seria operacionalmente desejável que todas essas AAPs englobassem números semelhantes de árvores, o que garantiria uma maior homogeneidade no abastecimento de cada pátio, ou seja, um maior aproveitamento da área aberta para o pátio. Assim, uma vez que as AAPs do planejamento praticado baseiam-se em uma distribuição quase simétrica, diferente da distribuição heterogeneia encontrada em um ambiente florestal natural, a variação entre o número de árvores em cada AAP foi de 24,7 %, isso representou um pátio carregado com um mínimo de 25 árvores e outro com um máximo de 65 árvores. A média de árvores em cada AAP foi de 41,28 árvores. No

planejamento proposto, a variação do número de árvores por pátios foi de 7,30 %. Os pátios com menor e maior armazenamento foram de 31 e 47 árvores, respectivamente. A média de armazenamento foi de 42,20 árvores (Figura 4.26).

Verificando a distribuição de estradas e suas extensões no interior de cada AAP, ambos os planejamentos apresentaram grande variação em termos de densidade de estradas. Isso demonstra que em algumas AAPs foram alocadas muitas estradas, principalmente quando estradas principais foram incluídas. Em outras, poucas estradas foram alocadas, essas principalmente às localizadas nas extremidades das estradas. De forma geral, no planejamento proposto a densidade de estradas foi ligeiramente menor comparada ao praticado (Figura 4.26).

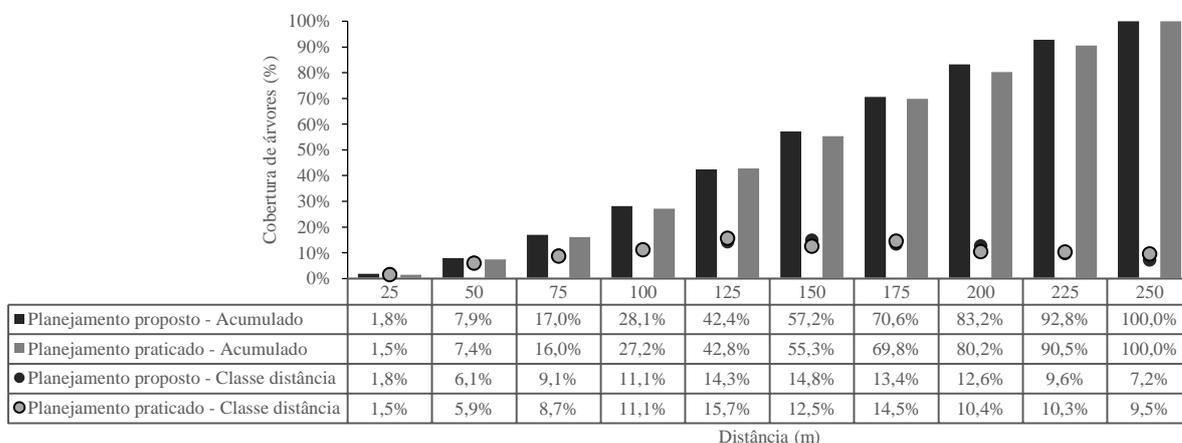


**Figura 4.26.** Distribuição do número de árvores em cada AAP e sua a densidade de infraestrutura: (A) planejamento praticado subdividido por UTs, apresentando variação de 9,98 % no número de árvores por UT e 43,98 % na densidade de estradas; (B) planejamento praticado com AAPs/Thiessen, as variações de número de árvores e densidade de estradas foram de 24,70 % e 49,81 %, respectivamente, e; (C) planejamento praticado com AAP/Modelo hidrológico as variações de número de árvores e densidade de estradas foram de 7,30 % e 59,73 %, respectivamente. A faixa em cinza representa o limite e de armazenamento do pátio de 42. A linha cinza escuro representa a média da densidade de estradas das UTs e AAPs, sendo em (A), (B) e (C) as médias foram de 21,5 m/ha, 21,9 m/ha e 20,5 m/ha, respectivamente.

Sistematicamente distribuídos ao longo das estradas secundárias, os pátios do planejamento praticado geraram uma área de abrangência que recobre 92,65 % da UPA, representando 94,96 % das árvores a serem exploradas. Ou seja, mais de 94 % das árvores

exploradas foram arrastadas dentro do raio de 250 m (distância máxima de arraste) dos pátios. Já no planejamento proposto, a área de cobertura de 250 m dos pátios foi menor, de 84,88 % em relação a área da UPA, englobando 88,88% das árvores. Esse resultado demonstra que mais de 10 % das árvores seriam arrastadas a uma distância superior a 250 m. Seria necessário estudo mais detalhado para verificar se essas árvores seriam, ainda, economicamente viáveis de serem arrastadas a uma distância maior e se seria necessário alocar mais estradas secundárias que possibilitassem posicionar ou adicionar pátios para maior eficiência de cobertura.

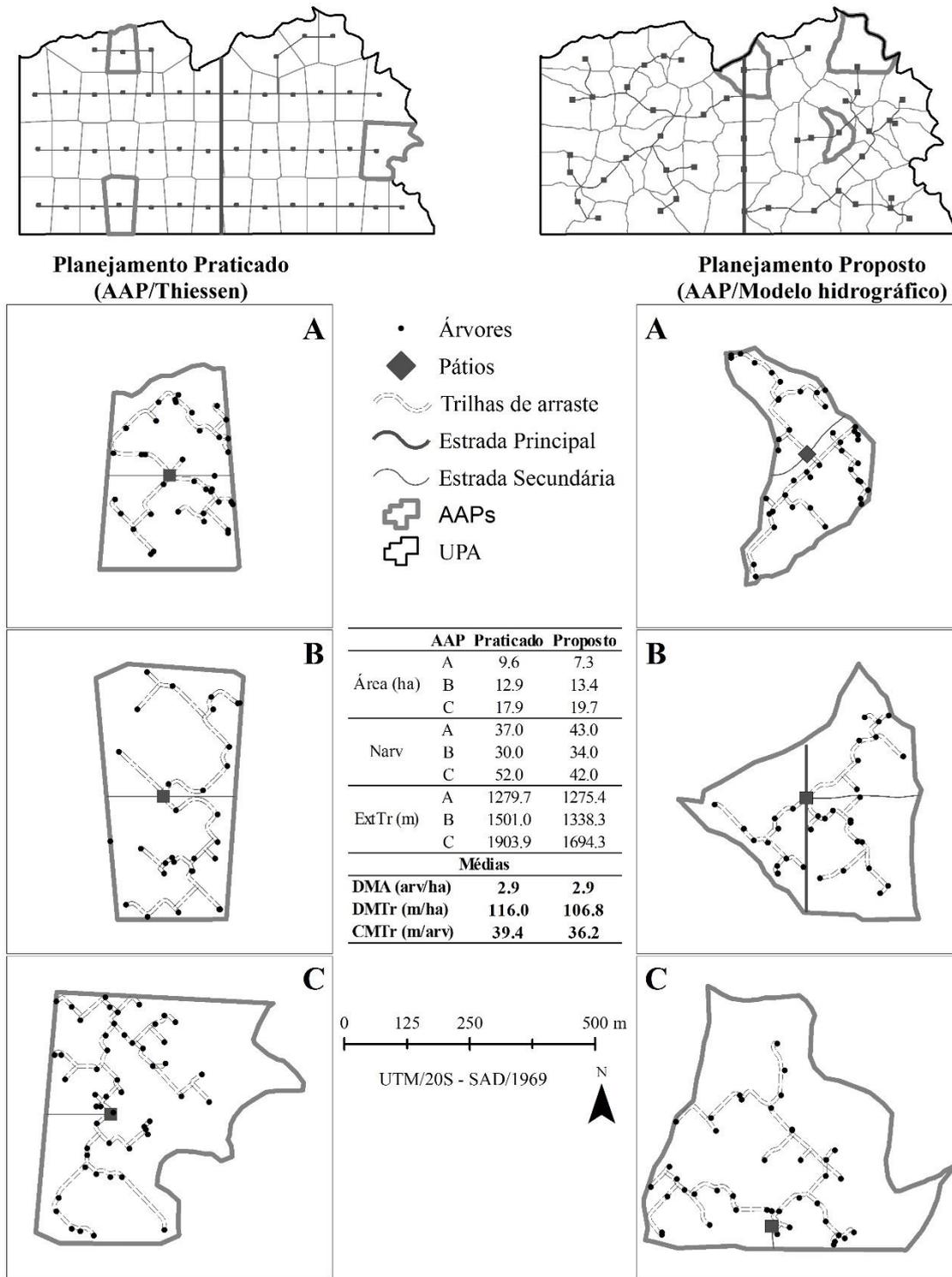
Tratando-se das árvores contidas dentro da área de cobertura de 250 m, a média das distâncias entre árvores e pátios foi 142,78 m e 137.21 m para os planejamentos praticado e proposto, respectivamente. Esse resultado aponta para uma pequena redução da distância entre árvores e os pátios, o que pode representar a redução média da distância de arraste. Dentre as árvores localizadas dentro das áreas de cobertura de 250 m para ambos os planejamentos, constatou-se que, mais da metade das árvores encontraram-se a uma distância de até 150 m dos pátios. Generalizando, no planejamento proposto, a cobertura de árvores foi maior em relação ao praticado levando em consideração nas classes de distância, quanto na distância acumulada. Em outras palavras, o modelo proposto posicionou os pátios o mais próximo da maior quantidade de árvores (Figura 4.27).



**Figura 4.27.** Cobertura de 250 m a partir dos pátios por classe e por distância acumulada.

Após a alocação dos pátios e a delimitação de suas respectivas AAPs, aplicou-se em ambos os planejamentos o algoritmo (ARIMA, 2005) no IDL para alocação das trilhas de arraste. Foram selecionados três AAPs de cada planejamento para a execução dos procedimentos. A superfície de custo utilizada foi o *raster* de elevação abrangendo as AAPs selecionadas. O algoritmo buscou conectar todas as árvores de uma determinada AAP ao seu respectivo pátio de forma a encontrar a trilha de arraste mais plana possível, ou seja, como

a menor variação altimétrica, mesmo que para isso fosse necessário aumentar sua extensão (Figura 4.28).



**Figura 4.28.** Alocação das trilhas de arraste para os planejamentos: (A) AAPs com as menores áreas; (B) AAPs com áreas médias, e; (C) AAPs com maiores áreas. Narv = número de árvores; ExtTr = extensão das trilhas; DMA = densidade de árvores nas AAPs; DMTr = densidade de trilhas nas AAPs, e; CMTr = contribuição média de trilhas por árvore.

Segundo os resultados, numericamente foi possível notar que, para uma maior AAP, foram necessárias mais trilhas. Adicionalmente, o número de árvores e a variação altimétrica dessas influenciou na alocação das trilhas nas AAPs. Comparando entre os planejamentos, no proposto foram alocados de maneira geral menos trilhas em relação ao praticado. Isso pode ser explicado pela maior proximidade dos pátios às árvores. Entretanto, quando verificado na AAP (A) do planejamento praticado (Figura 4.28), em termos de densidade de trilhas, essa foi maior do que todas as outras mesmo possuindo a menor área, demonstrando que, além do formato geométrico, a distribuição das árvores influenciou na alocação de caminhos.

Apesar de ter sido realizado o teste de alocação de trilhas de arraste em apenas três AAPs de cada planejamento, foram utilizados os valores médios encontrados (Figura 28) para estimar a quantidade de trilhas de arraste para UPA. Essa estimativa, assim como os resultados gerais dos planejamentos são apresentados na Tabela 4.6.

**Tabela 4.6.** Resultados gerais para o planejamento praticado e proposto.

| Parâmetros   | Planejamento |          | Diferença<br>((Prop/Prat)-1) |
|--|--------------|----------|------------------------------|
|  | Praticado    | Proposto |                              |
| Área no bloco de estudo (ha)   | 594.17       |          | -                            |
| <b>Estradas</b>  |              |          |                              |
| Extensão de estradas (m)   | 12650.40     | 11877.00 | -6.11%                       |
| Densidade de estradas na UPA (m ha <sup>-1</sup> )                           | 21.29        | 19.99    | -6.11%                       |
| Impacto de abertura de estradas na UPA (ha)                                  | 8.22         | 7.75     | -5.71%                       |
| Proporção de impacto de estradas na UPA                                      | 1.38%        | 1.30%    | -5.71%                       |
| <b>Pátios de estocagem e AAPs</b>  |              |          |                              |
| Número de pátios   | 46           | 45       | -2.17%                       |
| Impacto de abertura de pátios (ha)   | 2.30         | 2.25     | -2.17%                       |
| Proporção de impacto de pátios na UPA  | 0.39%        | 0.38%    | -2.17%                       |
| Área de abrangência de pátios - AAP (ha)                                     | 12.29        | 13.20    | 7.37%                        |
| Número médio de armazenamento de pátio (árv. pátio <sup>-1</sup> )           | 41.28        | 42.20    | 2.23%                        |
| Volume médio de armazenamento de pátio (m <sup>3</sup> pátio <sup>-1</sup> ) | 199.241      | 203.660  | 2.22%                        |
| Cobertura de árvores de pátios (raio 250 m)                                  | 94.96%       | 88.88%   | -6.40%                       |
| Distância média entre árvores e pátios (m)                                   | 133.14       | 154.13   | 15.76%                       |
| <b>Estimativa para trilhas de arraste</b>                                    |              |          |                              |
| Extensão estimada de trilhas de arraste na UPA (m)                           | 68944.99     | 63435.49 | -7.99%                       |
| Densidade de trilhas de arraste na UPA (m/ha)                                | 116.04       | 106.76   | -7.99%                       |
| Impacto de abertura de trilhas de arraste na UPA (ha)                        | 24.13        | 22.20    | -7.99%                       |
| Proporção de impacto de trilhas na UPA                                       | 0.04         | 0.04     | -7.99%                       |
| Trilhas de arraste por volume (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )              | 22.12        | 20.35    | -7.99%                       |
| <b>Infraestrutura total</b>  |              |          |                              |
| Impacto total na UPA (ha)  | 34.65        | 32.20    | -7.06%                       |
| Proporção de impacto total na UPA  | 5.83%        | 5.42%    | -7.06%                       |
| Impacto total por volume (m <sup>2</sup> m <sup>-3</sup> )                   | 37.80        | 35.13    | -7.06%                       |

#### 4.4. CONCLUSÃO

Nesse estudo, foram propostos modelos computacionais para o planejamento da infraestrutura de exploração. Envolvendo técnicas matemáticas e ferramentas de análise espacial, os modelos geraram as feições espaciais da infraestrutura a partir de uma série de iterações. A solução heurística da localização da infraestrutura foi encontrada automaticamente em poucas horas, resultando em um mapa de infraestrutura.

Comparados ao planejamento atualmente praticado na floresta privada, os modelos propostos reduziram a área impactada pela infraestrutura. As reduções mais expressivas foram na quantidade de trilhas de arraste e pátios de estocagem. Além disso, os modelos propostos promoveram melhor aproveitamento, expressado pela regularização do volume de madeira armazenada por pátio e pela maior quantidade de árvores acessada por trilha.

Para a floresta pública, os modelos propostos reduziram a quantidade estradas e pátios, porém não expressivamente quanto na floresta privada. Isso demonstrou a necessidade de melhorias nos modelos para o planejamento dessas infraestruturas. Dessa maneira, os modelos propostos foram mais eficientes para o planejamento baseado no sistema CELOS, adotado na floresta privada.

O planejamento na prática de trilhas de arraste na floresta pública é feito manualmente em ambiente SIG e diretamente em campo. A solução encontrada pelo modelo proposto tratou-se de um caminho de menor dano acumulado, certamente uma boa solução dentre várias possíveis. Assim, acreditou-se no potencial de modelo para o seu propósito, primeiro porque gerou menor quantidade de trilhas do que o estimado para o planejamento praticado, segundo pela garantia dessa ser uma boa solução espacial encontrada.

Baseando-se nos valores encontrados nesse estudo, na prática geraram-se quantidades excessivas de infraestrutura para a exploração. Portanto, se o planejamento da infraestrutura visar a redução dos impactos de sua implantação e o maior aproveitamento de recursos, então, os modelos desenvolvidos funcionam melhor do que o planejamento praticado. Aplicando o planejamento proposto em uma situação real de exploração, seria possível avaliar sua viabilidade conhecendo o desempenho das operações, os custos e as dificuldades em campo encontradas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de operações estudados procederam diferentemente na exploração, ou seja, os desempenhos e as interferências na floresta variaram em função de suas próprias características. O sistema da floresta privada, baseado no conjunto de operações com corte, pré-arraste e arraste, apresentou superioridade operacional e qualitativa para exploração. No entanto, esse sistema tende a ser mais caro, pois requer uma operação adicional, necessitando de máquinas, equipamentos e pessoal.

Além disso, o planejamento tradicional da infraestrutura gerou excessiva quantidade de infraestrutura, para ambos as áreas. Consequentemente, isso faz com que a infraestrutura seja subutilizada, uma vez que boa parte das áreas abertas para implantação não são suficientemente aproveitadas. Entretanto, esses aspectos foram melhorados empregando os modelos de planejamento de infraestrutura aqui desenvolvidos, principalmente para a exploração com o sistema de corte, pré-arraste e arraste da floresta privada.

De maneira geral, a execução da exploração foi superior no sistema da floresta privada. Adicionalmente, para esse sistema foi possível reduzir expressivamente a quantidade da infraestrutura requerida melhorando seu aproveitamento. Então, esse sistema é mais promissor a exploração autorizada do que o sistema da floresta pública.

Tratando a exploração de maneira geral entre as áreas estudadas, os resultados do estudo mostraram que têm sido explorados cerca de 85 % do planejado e os danos permanecem os mesmos. Talvez, uma redução total do dano ao dossel seja consequência da diminuição do volume efetivamente explorado, mas estradas, trilhas e pátios são alocados conforme a quantidade planejada. Em outras palavras, grande parte dos danos foram inerentes ao processo de exploração como um todo.

As práticas operacionais podem não mudar nos próximos anos ou até mesmo nos próximos ciclos de corte nas florestas estudadas. Então, aumentar a intensidade de corte para suprir as falhas da exploração e alargar a produção parece ser interessante em termos econômicos. Entretanto, pensando na área impactada, já estaríamos utilizando uma intensidade muito maior ao permitido. O que realmente necessita ser feito é obter o máximo possível da intensidade planejada, melhorando o desempenho das operações e minimizando danos e desperdícios.

Os modelos tradicionais de exploração autorizada, talvez, ainda não fazem bem à floresta, mas, definitivamente, não fazem aos trabalhadores florestais. As atividades

exercidas durante a exploração necessitam de adequações ocupacionais, pois comprometem a saúde e a qualidade de vida dos trabalhadores e, portanto, estão aquém da sustentabilidade.

Como futuras pesquisas, sugere-se a aplicação do planejamento espacial proposto para o real conhecimento de seus benefícios. A implementação em uma área de manejo revelará a viabilidade de sua aplicação conforme o desempenho das operações, dos custos e das adequações técnicas e ocupacionais necessárias durante à exploração. Os modelos poderiam também ser estudados e melhorados em uma variedade de locais na Amazônia brasileira, para testar sua eficiência em diferentes sítios e sistemas de exploração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **NBR14789**: Manejo florestal - Princípios, critérios e indicadores para plantações florestais. Rio de Janeiro: ABNS, 2007. 8 p.
- ADRIAENSENA et al. The application of ‘least-cost’ modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, v. 64, Issue 4, , p. 233–247, August 2003.
- ALTUN et al. Classification and mapping forest sites using geographic information system (GIS): a case study in Artvin Province. **Environmental Monitoring and Assessment**, 137, Issue 1-3, February 2008. 149-161.
- AMARAL, P. et al. **Floresta para sempre**: um manual para a produção de madeira na Amazônia. Belém: IMAZON, 1998. 130 p.
- ANDRADE, E.. **Introdução à pesquisa operacional**: métodos e modelos para análise de decisões. 4ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 202 p.
- ARIMA, E. Y.; WALKER, R. T.; CALDAS, M. Loggers and forest fragmentation: Behavioral models of road building in the Amazon basin. **Annals of the Association of American Geographers**, 2005. 525–541.
- ARIMA, Y. et al. The Fragmentation of Space in the Amazon Basin: Emergent Road Networks. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 74, No. 6, p. 1-11, June 2008.
- ASAE. **ASAE standards 2001**: machinery, equipment, and buildings: operating costs. [S.l.]: Ames, 2001. 226 p. ISBN (ASAE D472-3).
- ASNER, G. P. et al. Remote sensing of selective logging in Amazonia accessing limitations based on details field observations, Landsat ETM +, and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 483-496, 2002.
- BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos**: Projeto e medida do trabalho. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 635 p.
- BARRETO, P. et al. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. **Forest ecology and Management**, v. 108, p. 9-26, 1998.
- BASKENT, E.Z.; KELES, S. Spatial forest planning: A review. **Ecological Modelling**, Volume 188, Issues 2–4, 10 November 2005. 145–173.
- BATISTA, H. L. D. P. Estudo de tempo e rendimento da motosserra considerando fatores ergonômicos numa exploração florestal na Amazônia Central (Dissertação de Mestrado). Manaus, Amazonas: [s.n.], 2008. 105 p.
- BAUCH, S. C.; AMACHER, G. S.; MERRY, F. D. Costs of harvesting, transportation and milling in the Brazilian Amazon: Estimation and policy implications. **Forest Policy and Economics**, 9, 2007. 903–915.
- BCE. Conversão de moedas. **Banco Central do Brasil**, 2014. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/?TXCONVERSAO>>. Acesso em: 15 Abril 2014.
- BETTINGER, P.; SESSIONS,. Spatial Forest Planning: To Adopt, or Not to Adopt? **Journal of Forestry**, Março 2003.

BOLTZ et al. Financial returns under uncertainty for conventional and reduced-impact logging in permanent production forests of the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, 39, 2001. 387–398.

BOLTZ, F.; HOLMES, T. P.; CARTER, D. R. Economic and environmental impacts of conventional and reduced impact logging in Tropical South America: a comparative review. **Forest Policy and Economics**, v. 5, p. 63-81, 2003.

BOMFIM, B. D. O. Atributos do solo e da serapilheira em área de floresta de terra firme sob manejo florestal explorada de 2003 a 2009 no Estado do Amazonas. Dissertação de Mestrado. Brasília: Universidade de Brasília, 2013. 106 p.

BRASIL. LEI Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2012.

BRASIL. MMA. **Normas Florestais Federais para a Amazônia**. Brasília: IBAMA/Diretoria de Uso Sustentável da Biodiversidade e Florestas, 2007. 176 p.

BRASIL, MDMA. **INSTRUÇÃO NORMATIVA N.º 5**. Brasília: [s.n.], 2006.

BRASIL, MDT. Norma Regulamentadora NR - 15. In: 1983., R. D. P. P. N. °. 1. D. **Manual de Legislação Atlas de Segurança e Medicina do Trabalho**. São Paulo: ATLAS, v. 33, 1996. p. 523.

BRASIL, MDT. Norma Regulamentadora NR - 6, redação e alteração dada pelas Portarias Nº 06/83; Nº 3 de 20/02/1992; Nº 6 de 19/08/1992; Nº 26 de 29/12/1994; Instrução Normativa Nº 01 de 11/04/1994. In: \_\_\_\_\_ **Manual de Legislação Atlas de Segurança e Medicina do Trabalho, 33**. São Paulo: ATLAS, 2006. p. 523.

BRASIL. SUDAM. **SUDAM**, 2012. Disponível em: <[www.sudam.gov.br](http://www.sudam.gov.br)>. Acesso em: 30 Maio 2012.

BRAZ, E. M. Otimização da rede de estradas secundárias em projetos de manejo sustentável de floresta tropical. Rio Branco: EMBRAPA-CPAF/AC: [s.n.], v. Circular Técnica, n.15, março, 1997. 36 p.

BRAZ, E. M. **Planejamento da exploração em florestas naturais**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2005. 32 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 118).

BRAZ, E. M. et al. TAXA DE CORTE SUSTENTÁVEL PARA MANEJO DAS FLORESTAS TROPICAIS. **Rev. Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22 (1), p. 137-145, 2012.

BRAZ, E. M.; OLIVEIRA, M. V. N. **Planejamento de arraste mecanizado em floresta tropical**. Rio Branco: EMBRAPA-CPAF/AC, v. Circular Técnica, n.5, outubro, 1997. 6 p.

BRAZ, M. et al. **Plano de exploração sob critérios de manejo florestal de baixo impacto**. Rio Branco: EMBRAPA-CPAF/AC: [s.n.], v. Circular Técnica nº 27, dezembro, 1998. 20 p.

BUNN, A. G.; URBAN, D. L.; KEITT, T. H. Landscape connectivity: A conservation application of graph theory. **Journal of Environmental Management**, v. 59, p. 265–278, 2000.

CABRAL, J. C. Estudo do trabalho de exploração florestal mecanizada na floresta tropical úmida de terra firme. Dissertação de Mestrado. Manaus, Amazonas: INPA, 1991. 70 p.

CAIXETA-FILHO, J. V. **Pesquisa operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 169 p.

- CHARTRAND, G. **Introductory Graph Theory**. New York: Dovel, 1977.
- CHAVE, J. Medição da densidade da madeira em árvores tropicais, manual de campo. Toulouse, France : [s.n.], 2006.
- COLLISCHONN, ; PILAR, J.. direction dependent least-cost-path algorithm for roads and canals. **Int. j. geographical information science**, v. 14, no. 4, p. 397-406, 2000.
- COSTA FILHO, P. P.; COSTA, H. B.; AGUIAR, O. R. **Exploração mecanizada na Floresta Tropical Úmida Sem Babaçu**. Belém, Pará: EMBRAPA/CPATU, 1980. 38 p.
- DIAS, A. C.; NORTCLIFF, S. Effects of tractor passes on the passes on the physical properties of an oxisol in the Brazilian Amazon. **Trop. Agric**, 1995. 137-141.
- DIJKSTRA, E. W. A note on two problems in connection with graphs. **Numerische Mathematik**, 1959. 269–271.
- DRUCK, S. et al. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: EMBRAPA, 2004. 204 p.
- DUCHEYNE, E. I.; DE WULF, R. R.; DE BAETS, B. A spatial approach to forest-management optimization: linking GIS and multiple objective genetic algorithms. **International Journal of Geographical Information Science**, 20, No. 8, September 2006. 917–928.
- DYKSTRA, D. P. **FAO model code of forest harvesting practice**. Rome: FAO, 1996. ISBN ISBN 92-5-103690-X.
- EDWARDS, D. P. et al. Reduced-impact logging and biodiversity conservation: a case study from Borneo. **Ecological Applications**, v. 22 (2), p. 561–571, 2012.
- ELIAS. **Reduced impact timber harvesting in the tropical natural forest in Indonesia**. Forest Harvesting Case Study 11. ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 2007. 212 p.
- EMBRAPA, CNDPDS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. 412 p.
- FAO. **Introduction to ergonomics in forestry in developing countries**. Rome, FAO: Unasylva/FAO, v. Forestry Paper No. 100., 1992.
- FAO. FAO model code of forest harvesting practice. Rome: FAO Forestry Department, 1996.
- FAO. Environmentally sound forest harvesting. testing the aplicability of the FAO Model Code in the Amazon in Brazil. Rome: [s.n.], v. 8, 1997. 78 p.
- FAO. Guidelines for the management of tropical forests. 1. The production of wood. FAO Forestry Paper n° 135. Rome: FAO, 1998. disponível em: acesso em 30/08/2012.
- FAO. **Tropical forest management techniques**: a review of the sustainability of forest management practices in tropical countries. Italy, Roma: [s.n.], 1999. 50 p. Disponível em: <<http://www.fao.org>>.
- FAO. Directrices para la ordenacion de los bosques tropicales. Studio FAO/MONTES. ed. Roma: fao, 1999a.

FAO. REDUCED IMPACT LOGGING IN TROPICAL FOREST. Literature synthesis, analysis and prototype statistical framework. Roma: FAO, 2004.

FAO. **Situación de los bosques del mundo**: 2011. Italy, Roma: FAO, 2011.

FAO. The State of Forests in the Amazon Basin, Congo Basin and Southeast Asia, Brazzaville, Republic of Congo, 2011.

FAO, F. A. A. O. O. T. U. N. **Tropical forest management techniques**: a review of the sustainability of forest management practices in tropical countries. Italy, Rome: Forestry Policy and Planning Division, 1999. 50 p. Disponível em acesso em: 26 de agosto de 2012.

FELDPAUSCH, T. R. et al. When big trees fall: damage and carbon export by reduced impact logging in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 219, p. 199-215, 2005.

FERREIRA, L. V.; PRANCE, G. T. Species richness and floristic composition in four hectares in the Jaú National Park in upland forests in Central Amazonia. **Biodiversity and Conservation**, 7, 1998. 1349-1364.

FIGUEIREDO, E. O. **Manejo de precisão em florestas tropicais**: modelo digital de exploração florestal. Rio Branco: Embrapa Acre, 2007. 183 p.

FRANCEZ, L. M. B.; CARVALHO, J. O. O.; JARDIM, F. C. S. Mudanças ocorridas na composição florística em decorrência da exploração florestal em uma área de floresta de Terra firme na região de Paragominas, PA. **Acta Amazônica**, Manaus, 32, n. 2, 2007. 219-228.

FUNDACENTRO, MDT. Norma de Higiene Ocupacional - NHO01. Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído. São Paulo: [s.n.], 2001.

FUNDACENTRO, MDT. Normas de Higiene Ocupacional - NHO 06 - Avaliação da Exposição Ocupacional ao Calor. São Paulo: [s.n.], 2002.

GAMA, J. R. V. et al. ESTRUTURA E POTENCIAL FUTURO DE UTILIZAÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL DE FLORESTA DE VÁRZEA ALTA NO MUNICÍPIO DE AFUÁ, ESTADO DO PARÁ. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, 13, n. n. 2, 2003. 71-82.

GARDINGEN, R. V.; VALLE, ; THOMPSON,. Evaluation of yield regulation options for primary forest in Tapajo's National Forest, Brazil. **Forest Ecology and Management**, 2006. 184-195.

GONÇALVES, F. G.; SANTOS, J. B. Composição florística e estrutura de uma unidade de manejo florestal sustentável na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38(2), p. 229 - 244, 2008.

GRAAF, N. R. Sustained timber production in the tropical rainforest of Suriname. In: WIENK, J. F.; DEWT, H. A. **Proceedings of the joint workshop on management of low fertility acid soils of the humid tropics**. Costa Rica, San Jose: IICA, 1982.

GRAAF, N. R.; ELDIK, T. V. Precious Woods Brazil. In: WERGER, M. J. A. **Sustainable Management of Tropical Rainforests: The CELOS Management System**. Paramarimbo, Suriname: Trompendos Internacional, 2011. Cap. 10, p. 282.

GREACEN, E. L.; SANDS, R. Compaction of forest soils – a review. **Aust. J. Soil Res.**, 1980. 163-189.

- GUITET, S. et al. Impacts of logging on the canopy and the consequences for forest management in French Guiana. **Forest Ecology and Management**, v. 277, p. 124–131, 2012.
- GULLISON, R. E.; HARDNER, J. J. The effects of road design and harvest intensity on forest damage caused by selective logging: empirical results and a simulation model from the Bosque Chimanes, Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 59(1-2), p. 1-14, 1993.
- GUMUS, S; ACAR, H.H; TOKSOY, D. Functional forest road network planning by consideration of environmental impact assessment for wood harvesting. **Environ Monit Assess**, 142, 2008. 109–116.
- HAUGAASEN, T.; PERES, C. A. Florestic, edphic and structural characteristics of flooded and unflooded forests in the lower Rio Purús region of central Amazonia, Brazil. **Acta Amazônica**, Manaus, 36 (1), 2006. 25-26.
- HAWTHORNE, W. D.; SHEIL, D.; AGYEMAN, V. K. Logging scars in Ghanaian high forest: Towards improved models. **Forest Ecology and Management**, 2012. 27–36.
- HAYATI et al. An expert-based approach to forest road network planning by combining Delphi and spatial multi-criteria evaluation. **Environ Monit Assess**, 2013. 1767–1776.
- HEINRICH, R. Problems of forest road construction in Tropical high forests. technical Report of FAO/Austria training course on forest roads and harvesting in mountainous forest. FAO. Rome. 1975.
- HIGUCHI, N. Utilização e manejo dos recursos madeireiros das florestas tropicais úmidas. **Acta Amazônica**, Manaus, 24 (3/4), 1994. 275-288.
- HIGUCHI, N. et al. Exploração florestal nas várzeas do Estado do Amazonas: seleção de árvores, derrubada e transporte. In: MALINOVSKI, J. R. et al. **VIII Seminário de Atualização sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte**. Curitiba, Paraná: [s.n.], 1994. p. 168-193.
- HIGUCHI, N. et al. Sistema SEL (Seleção de Espécies Listadas) para Manejar a Floresta Tropical Úmida de Terra-firme da Amazônia. In: VAL, A. L.; FIGLIUOLO, R.; FELDBERG, R. **Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento: Fatos e Perspectivas**. [S.l.]: [s.n.], v. 1, 1991. p. 197-206.
- HIRAI, E. H. Avaliação da Exploração de Impacto Reduzido em Atributos Físicos e Químicos do solo e na regeneração natural em Paragominas, PA. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, UFPa. Belém, PA: [s.n.], 2008. 148 p.
- HOLMES, T. P. et al. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. **Forest and Ecology Management**, v. 5583, p. 1-18, 2001.
- HOLMES, T. P. et al. Custos e benefícios financeiros da exploração de impacto reduzido em comparação à exploração florestal convencional na Amazônia Oriental. 2ª. ed. Belém: Fundação Floresta Tropical/Instituto Floresta Tropical (IFT), 2004. 68 p.
- HOSSEINI et al. Designing an optimal forest road network by consideration of environmental impacts in GIS. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, 20.1, Mar 2012. 58.
- IBDF. Madeiras da Amazônia, características e utilização, Estação Experimental de Curuá-Una. Brasília: IBDF/LPF, v. 2, 1989. 236 p.

- IBGE, I. B. D. G. E. E. D. D. G. **Mapa de Clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 1 mapa: 90x109 cm. Escala: 1:5.000.000.
- IBGE, I. N. D. G. E. E. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p. ISBN 0103-9598/85-240-0427-4.
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2ª ver e ampl. ed. São Paulo: Bluncher, 2005.
- ILO. **Safety and health in the Forestry Work: An ILO code of practice**. Geneva: International Labour Office, 1998.
- INPE. Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil. **TOPODATA**, 2009. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 05 março 2013.
- INPE, I. N. D. P. E. Projeto PRODES. **PRODES**, 19 Agosto 2013. Disponível em: <[www.inpe.br/prodes/](http://www.inpe.br/prodes/)>. Acesso em: 30 Maio 2013.
- ISMAIL, M.H. Developing Policy for Suitable Harvest Zone using Multi Criteria Evaluation and GIS-Based Decision Support System. **International Journal of Economics and Finance**, 1, No. 2, August 2009. 105-117.
- ITTO. ANNUAL REVIEW AND ASSESSMENT OF THE WORLD TIMBER SITUATION. 2011. Yokohama, Japan: [s.n.], 2011. 190 p.
- JACKSON, S. M.; FREDERICKSEN, T. S.; MALCOLM, J. R. Area disturbed and residual stand damage following logging in a bolivian tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 166, p. 271-283, 2002.
- JACOBS, M.; KRUK, R.; OLDEMAN, R. A. A. **The Tropical Rain Fores: A Fist Encounter**. Berlin: Springer, 1988. 295 p.
- JARNÍK, V. O jistém problému minimálním. **Práca Moravské Přírodovedecké Spolecnosti**, v. 6, p. 57-63, 1930.
- JOHNS, J. S.; BARRETO, P.; UHL, C. Logging damage during planned and unplanned logging operations in eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 89, p. 59-77, 1996.
- JONKERS, W. B. J. Logging, damage and efficiency: a study on the feasibility of Reduced Impact Logging in Cameroon. Kribi (Cameroon). The Tropenbos-Cameroon Programme, Kribi (Cameroon). Final Report, p. 57. 1999.
- JONKERS, W. B. J.; HENDRISON, J. The CELOS Management System: concept, treatments and costs. In: WERGER, M. J. A. **Sustainable Management of Tropical Rainforests: The CELOS Management System**. Paramaribo, Suriname: Tropenbos International, 2011. p. 282.
- JONKERS, W. B. J.; SCHIMIDT, P. Ecology and Timber Production in Tropical Rain Forest in Suriname. **INTERCIENCIA**, Caracas, v. 9 (5), p. 290-297, 1984.
- JONKERS, W. B.; HENDRISON, J. The Celos Manafement System: concept, treatments and costs. In: WERGER, M. J. A. **Sustainable Management of Tropical Raindforest: the CELOS Management System**. Paramaribo, Suriname: Trompedos Internacional, 2011. p. 282.
- JUNGNICKEL,. **Graphs, Networks and Algorithms**. 2ª. ed. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg , 2005.
- KANGAS, ; KANGAS, ; KURTTILA,. **Decision Support for Forest Management**. [S.l.]: Springer Science, 2008. 224 p.

- KARHU, O.; KANSI, P.; KUORINKA, I. Correcting working posture in industry: a practical method for analysis. **Applied Ergonomics**, v. 8 , p. 199-201, 1977. ISSN 4.
- KOGER, J. L.; BURT, E. C.; TROUSE JR, A. C. Multiple pass effects on skidder tires on soil compaction. **Trans. ASAE** , 1985. 11-16.
- KRÄMER, G.; FÜRSTENBERG, C. V. Pesquisa e desenvolvimento de métodos para minimização de danos da exploração florestal com objetivo de viabilizar o uso de florestas tropicais em regime sustentado. Relatório da segunda fase de pesquisa. Monte Dourado/Jari, p. 30. 1993.
- KRUSKAL, JR. , J. B. On the shortest spanning subtree of a graph and the traveling salesman problem. **Proceedings of the American mathematical society**, v. 7, p. 48-50, 1956.
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura en los trópicos**: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas: posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Tradução de Anonio Carrillo. Eschborn: Deutsch Ges Tech Zusammenarbeit, 1990.
- LAWLEY, J. et al. Spatio-temporal GIS Development to Aid Multiple-use Forest Management. **Geocarto International**, 18:2, 2013. 49-59.
- LENTINI, M. W.; ZWEEDE, J. C.; HOLMES, P. MEASURING ECOLOGICAL IMPACTS FROM LOGGING IN NATURAL FORESTS OF THE EASTERN AMAZÔNIA AS A TOOL TO ASSESS FOREST DEGRADATION. **The Forest Resources Assessment (FRA)**, Rome, p. 9, 2009. ISSN 165.
- LOPES, S. E. ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE COLHEITA (Tese de Doutorado). Viçosa: [s.n.], 2007. 124 p.
- LOZADA, J. R.; ARENDS, E. Impacto de diferentes intensidades de aprovechamiento forestal sobre la masa remanente, em la estación experimental Caparo. **Revista Florestal Venezuelana**, v. 44(1), p. 73-80, 2000.
- MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 2ª. ed. Viçosa: UFV, 2008. 501 p.
- MACHLINE, C. **Manual de administração da produção**. 9. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1990. 617 p.
- MACPHERSON, A. J. et al. The sustainability of timber production from Eastern Amazonian forests. **Land Use Policy**, v. 29, p. 339– 350, 2011.
- MARTELL, D. L.; GUNN, E. A.; WEINTRAUB, A. Forest management challenges for operational researchers. **European Journal of Operational Research** , v. 104 , p. 1 -17, 2008.
- MATRICARDI, E. A. T. S. D. L. P. M. A. C. W. F. L. C. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, 2010. 1117–1129.
- MCNABB, K. L. et al. Selection harvests in Amazonian rainforests: long-term impacts on soil properties. **Forest Ecology and Management**, 1997. 153-160.
- MEDJIBE , P. et al. Impacts of selective logging on above-ground forest biomass in the Monts de Cristal in Gabon. **Forest Ecology and Management**, 2011. 1799–1806.
- MELLO-IVO, W. M. O.; ROSS, S. Efeito da colheita seletiva de madeira sobre algumas características físicas de um latossolo amarelo sob floresta na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 769-776, 2006.

- MERRY, F. et al. Balancing Conservation and Economic Sustainability: The Future of the Amazon Timber Industry. **Environmental Management**, v. 44, p. 395-407, 2009.
- MIRREH, H. F.; KETCHESON, J. W. Influence of soil bulk density and matric pressure on soil resistance to penetration. **Can. J. Soil Sci**, 1972. 477-483.
- MISRA, R. K.; DEXTER, A. R.; ALSTON, A. M. Maximum axial and radial growth pressures of plant roots. **Plant Soil**, 1986. 315-326.
- MIYATA, E. S. **Determining fixed and operating costs of logging equipment**. St. Paul, Minnesota: USDA Forest Service, 1980.
- MONTEIRO, A. L. S. et al. Impactos da exploração madeireira e do fogo em florestas de transição da Amazônia Legal. **Scientia Florestalis**, v. (65), p. 11-21, Junho 2004.
- MURRAY, A. T. Route planning for harvest site access. **Canadian Journal of Forest Research**, 1998. 1084-1087.
- NEPSTAD, D. et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **NATURE** |, Abril 1999.
- NOGUEIRA, M. et al. **Manejo de Florestas Naturais da Amazônia: corte, traçamento e segurança**. Belém, PA: Instituto Floresta Tropical, 2011.
- NOGUERIA, E. N.; NELSON, B. W.; FEARNSIDE, P. M. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. **Forest and Ecology Management**, v. 208, p. 261–286, 2005.
- OLANDER, L. P. et al. Surface Soil Changes Following Selective Logging in an Eastern Amazon Forest. **Earth Interactions**, 9, 2005. 1-19.
- OLIVEIRA FILHO, R. F. Estudos de tempos e movimentos aplicado no abate racional semimecanizado de floresta tropical úmida de terra firme. Monografia. [S.l.]: Instituto de Tecnologia da Amazônia, 1997. 46 p.
- OLIVEIRA, A. N. et al. Composição e diversidade florístico-estrutural de um hectare de floresta densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, 38 (4), 2008. 627 - 642.
- PARK, A.; JUSTINIANO, M. J.; FREDERICKSEN, T. S. Natural regeneration and environmental relationships of tree species in logging gaps in a Bolivian tropical forest. **Forest Ecology and Management**, 2005. 147–157.
- PENG et al. Network analysis modeling towards GIS based on object-relation database. **Geo-spatial Information Science**, v. 7, Issue 3, p. 174-179, September 2004.
- PEREIRA JR., R. et al. Forest canopy damage and recovery in reduce-impact and conventional selective logging in eastern Para, Brazil. **Forest Ecology Management**, v. 168, p. 77-99, 2002.
- PFEIFFER, K. Analysis of methods of studying operational efficiency in forestry. Vancouver: [s.n.], 1967.
- PINAGÉ et al. Estimativa da fração de cobertura florestal em áreas de manejo florestal com a utilização do analisador ótico LAI-2000 e fotografias hemisféricas. **Anais - XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013. 2945 - 2951.
- PINARD, M. A.; BARKER, M. G.; TAY, J. Soil disturbance and post-logging forest recovery. **Forest Ecology and Management**, 2000. 213- 225.

- PINTO, A. C. M. et al. Análise de danos de colheita de madeira em floresta tropical úmida sob regime de manejo florestal sustentado na Amazônia Ocidental. **Revista Árvore**, v. 26(4), p. 459-466, 2002.
- PRADO, D. **Programação Linear**. Nova Lima, MG: INDG, 2007. 238 p.
- PRIM, R. C. Shortest connection networks and some generalizations. **Bell system technical journal**, v. 36, p. 1389-1401, 1957.
- PRÖMEL, H. J.; STEGER, A. The Steiner Tree Problem. A tour through graphs, algorithms, and complexity. [S.l.]: Vieweg, 2002.
- REEVES, C. R. Modern heuristic techniques for combinatorial problems. Oxford: Blackwell, 1993. 320 p.
- RIETBERGEN, S. The History and Impact of Forest Management. In: EVANS, J. **The Forests Handbook. Applying forest science for sustainable management**. [S.l.]: Blackwell Science Ltd, v. 2, 2000.
- ROTTA, G. W.; MICOL, L.; SANTOS, N. B. **Manejo sustentável no portal da Amazônia: um benefício econômico, social e ambiental**. Alta Florestal, MT: ICV, 2006. 24 p.
- SALOMÃO, R. P.; SILVA, M. F.; ROSA, N. A. Inventário ecológico em floresta pluvial tropical de terra firme, Serra Norte, Carajás, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Botânica**, Belém, 4, 1988. 1-46.
- SCHULZE, ; ZWEEDE,. Canopy dynamics in unlogged and logged forest stands in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, 236, Issue 1, 15 November 2006. 56–64.
- SCHULZE, M.; ZWEEDE, J. Canopy dynamics in unlogged and logged Forest stands in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 236, p. 56-64, 2006.
- SCHWARTZ et al. Post-harvesting silvicultural treatments in logging gaps: A comparison between enrichment planting and tending of natural regeneration. **Forest Ecology and Management**, 2013. 57–64.
- SESSIONS, J. **Forest Road Operations in the Tropics**. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007a.
- SESSIONS, J. **Harvesting operations in the tropics**. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007b.
- SESSIONS, J.; BETTINGER, P.; MURPHY, G. Heuristic in Forest Planning. In: WEINTRAUB, A. et al. **Handbook of Operations Research in Natural Resources**. [S.l.]: Springer, 2007. Cap. 23.
- SESSIONS, J.; HEINRICH, R. Harvesting. In: PANCEL, L. **Tropical Forestry Handbook**. Berlin: Springer, v. 2, 1993.
- SFB. Serviço Florestal Brasileiro, 2013. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/pngf/>>. Acesso em: 12 Novembro 2013.
- SFB, S. F. B. Florestas do Brasil em resumo - 2010: dados de 2005-2010, Brasília, p. 152, 2010. Disponível em: <[www.sfb.gov.br](http://www.sfb.gov.br)>. Acesso em: 30 Maio 2012.
- SHREVE, L. Infinite topologically random channel networks.. **Journal of geology**, 1967.
- SINGH, I. J. et al. QUANTIFICATION OF FOREST STOCK USING REMOTE SENSING AND GIS. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, 32, No. 1, 2004. 115-118.

- SIST, ; FERREIRA, . Sustainability of reduced-impact logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, 243, 2007. 199–209.
- SOUZA, D. R.; SOUZA, A. L. ESTRATIFICAÇÃO VERTICAL EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa DE TERRA FIRME NÃO EXPLORADA, AMAZÔNIA ORIENTAL. **Rev. Árvore**, Viçosa, 28, 2004. 691-698. n.5.
- SPINELLI, R.; VISSER, R. Analyzing and Estimating Delays in Harvesting Operations. **International Journal of Forest Engineering Vol. 19, No. 1**, 19, Janeiro 2008. 36-41.
- STODDARD, C.; STODDARD, G. M. **Essentials of forestry practice**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 1987. 407 p.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 1991. 229-235.
- TAY, ; HEALEY, ; PRICE,. Financial assessment of reduced impact logging techniques in Sabah, Malaysia. **Asia-Pacific Forestry Commission - International Conference - Proceedings**, Kuching, Malaysia, 2002.
- TOMLIN, C. D. **Geographic Information Systems and Cartographic Modeling**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1990.
- TURNER, I. M. **Ecology of Trees in the Tropical Rain Forest**. Port Chester, NY, USA: Cambridge University, 2001. 312 p. disponível em: acesso em 28/08/2012.
- UHL, C. et al. Impactos sociais, econômicos e ecológicos da exploração seletiva de madeiras numa região de fronteira na Amazônia Oriental: o caso de Tailândia. **Forest and Ecology Management**, 1991. 243-273.
- VAN DER HOUT, P. Reduced-impact logging in the tropical rain forest of. **Tropenbos—Guyana**, 1999. 355.
- VANHOVE; FACK,. PhD Showcase: Applications of Graph Algorithms in GIS. **The SIGSPATIAL Special**, v. 2, Number 3, November 2010.
- WADSWORTH, H.; ZWEEDE, C. Liberation: Acceptable production of tropical forest timber. **Forest Ecology and Managemet**, 233, Maio 2006. 45-51.
- WALLIS, W. D. **A Beginner's Guide to Graph Theory**. 2<sup>a</sup>. ed. [S.l.]: Birkhauser, 2006.