

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR**

**AVALIAÇÃO OPERACIONAL DA COLHEITA  
DE MADEIRA EM DESBASTES DE *Pinus taeda* L.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**OSCAR MANUEL DE JESÚS VERA CABRAL**

**IRATI-PR**

**2014**

**OSCAR MANUEL DE JESÚS VERA CABRAL**

**AVALIAÇÃO OPERACIONAL DA COLHEITA DE MADEIRA EM DESBASTES DE**  
*Pinus taeda L.*

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Colheita e Transporte Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes  
Orientador

Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho  
Co-orientador

IRATI-PR

2014

Catálogo na Fonte  
Biblioteca da UNICENTRO

CABRAL, Oscar Manuel de Jesús Vera  
C117a Avaliação operacional da colheita de madeira em desbastes de *Pinus taeda* L. / Oscar Manuel de Jesús Vera Cabral. -- Irati, PR : [s.n.], 2014. 94f.

Dissertação (mestrado) – Pós-graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Colheita e Transporte Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes

Coorientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Harvester. 3. Forwarder. 4. Produtividade. 5. Custos – qualidade. 6. Mecanização. I. Lopes, Eduardo da Silva. II. Figueiredo Filho, Afonso. III. UNICENTRO. IV. Título.

CDD 20ª ed. 585.2



# Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

### PARECER

Defesa Nº 59

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, após arguir o mestrando **Oscar Manuel de Jesús Vera Cabral** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "AVALIAÇÃO OPERACIONAL DA COLHEITA DE MADEIRA EM DESBASTES DE *Pinus taeda* L.", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 10 de março de 2014.

**Dr. Nilton Cesar Fiedler**

Universidade Federal do Espírito Santo  
Primeiro Examinador

**Dr. Paulo Torres Fenner**

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Segundo Examinador

**Dr. Eduardo da Silva Lopes**

Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

**Campus Santa Cruz:** Rua Pres. Zacarias 875 – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090 – CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR

**Campus CEDETEG:** Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 – Fone/FAX: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-080 – GUARAPUAVA – PR

**Campus de Irati:** PR 153 – Km 07 – Riozinho – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000 – FAX: (42) 3421-3067 – CEP 84.500-000 – IRATI – PR

A minhas princesas Janet, Araceli e Rosa.

A meus pais Kika, Oscar, Lucy e Carlos.

DEDICO

“As máquinas de colheita florestal foram criadas para trabalhar como máquinas, só que elas são operadas pelo homem e atuam em ambientes administrados pela natureza”.

## AGRADECIMENTOS

Ao Deus, por ter abençoado sempre a minha vida.

Ao Professor Dr. Eduardo da Silva Lopes, pela orientação no trabalho, oportunidade de aprendizagem e formação e amizade.

Ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais da Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO) e também aos meus Professores Dr. Afonso Figueiredo Filho, Dr. Gabriel Magalhaes Miranda, Dr. Luciano Farinha, Dr. Júlio Eduardo Arce, Dr. Flávio de Oliveira Garcia e a Sra. Flávia Bühler Santos.

À minha esposa Janet, à minhas filhas Araceli e Rosita, que foram minhas parceiras na realização do trabalho. A meus pais Porfíria, Oscar, Lucia e Carlos, pelo apoio incondicional. A meus irmãos e amigos Rocio e Héctor pela força brindada ao longo do Mestrado com a sua amizade. Aos Tios Miguel Bergman e Susana Marin, Eugenio e Teresa.

Aos gerentes, supervisores, operadores da área de colheita da empresa ARAUPEL.

Aos Professores Dra. Lourdes Patricia Elias, Eng. Mirtha Vera de Ortíz, Eng. Agr. Lorenzo Meza López, Eng. Agr. Miguel Ruiz Diaz, Lic. Ana Maria Macedo, Dr. Juan José Bonin, Rocío Lebrón.

Ao João Baldinho Pacheco e Saulo Boldrini pela ajuda no trabalho. Aos colegas do Laboratório de Ergonomia, Colheita e Transporte Florestal da UNICENTRO: Pedro de Britto, Carla Krulikowski, Alyne Rudek e todos os colegas e amigos do Mestrado. Aos acadêmicos que ajudaram na coleta de dados: Carlos Henrique Drinko, Carlos César Diniz, Maicon Veronez, Mariana Stang e o Sr. Alexandre Czreck.

A meus prezados amigos William Tomas Follmam, Laura Quevedo, Nádia Kendizerky, Lucio Kendizerky, Mariana Kendizerky e Celso de Souza.

Aos colegas instrutores do Centro de Formação de Operadores de Máquinas Florestais (CENFOR).

Às instituições que apoiaram minha formação no Paraguai: Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CONACYT), Reitorado da Universidade Nacional de Assunção, Faculdade de Ciências Agrárias da UNA e o Curso de Engenharia Florestal FCA/UNA.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	iv
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS .....	4
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	5
3.1. Setor florestal brasileiro das florestas plantadas.....	5
3.2. Manejo dos plantios florestais com regime de desbastes .....	5
3.2.1. Conceito de desbaste .....	5
3.2.2. Objetivos dos desbastes .....	6
3.2.3. Tipos de desbastes.....	7
3.2.4. Efeito da densidade do povoamento e dos desbastes .....	8
3.2.5. Manejo de povoamentos com desbastes para produção de madeira .....	9
3.3. Desbaste mecanizado em plantios florestais .....	10
3.3.1. Formato ou modelos nos desbastes mecanizados .....	11
3.3.2. Aspectos da mecanização nos desbastes .....	14
3.3.2.1. Aspectos operacionais .....	14
3.3.2.2. Aspectos econômicos .....	15
3.3.2.3. Aspectos silviculturais .....	16
3.3.2.4. Danos às árvores remanescentes .....	17
3.3.2.5. Alterações das operações de desbaste mecanizado no solo .....	19
3.3.3. Seleção e avaliação dos sistemas de colheita utilizados em desbaste .....	20
3.3.4. Classificação dos sistemas de colheita mecanizados aplicados em desbaste .....	21
3.3.4.1 Sistema de toras curtas ( <i>Cut-to-length</i> ) .....	21
3.3.4.2 Sistema de toras longas ( <i>Tree-length</i> ) .....	22
3.3.4.3 Sistema de árvores inteiras ( <i>Full-tree</i> ) .....	23
3.3.5. Comparação da operação de diversos sistemas de colheita mecanizados em desbastes .....	24
3.3.6. Alternativas para os problemas nas operações de desbaste .....	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	27
4.1. Caracterização da área de estudo .....	27
4.2. Caracterização do povoamento florestal .....	28
4.3. Caracterização das máquinas, sistema e subsistema de colheita, utilizadas nas operações de desbaste estudadas.....	28
4.4. Descrição dos métodos e modelos de desbastes estudados .....	29
4.4.1. Método de desbaste .....	29
4.4.2. Modelos de desbaste .....	29
4.4.3. Descrição dos tratamentos de desbastes estudados .....	30
4.4.3.1. Tratamento 1: modelo de desbaste 1 .....	30
4.4.3.2. Tratamento 2: modelo de desbaste 2 .....	32
4.4.4. Características dos produtos dos desbastes .....	35
4.5. Instalação da área experimental .....	35
4.5.1. Análise de homogeneidade da área em relação ao solo e relevo .....	35
4.5.2. Análise de homogeneidade da floresta e os padrões para a aplicação dos tratamentos de desbaste .....	36



4.5.3. Processo do inventário florestal .....	36
4.5.3.1. Obtenção de dados dendrométricos.....	40
4.6. Coleta de dados .....	41
4.6.1. Análise técnica da operação das máquinas de colheita de madeira .....	41
4.6.1.1. Tempos médios de duração dos elementos dos ciclos operacionais .....	44
4.6.1.2. Eficiência Operacional (Eo) .....	44
4.6.1.3. Produtividade (Pr) .....	44
4.6.2. Análise de custos das máquinas .....	45
4.6.2.1. Custo operacional .....	45
4.6.2.2. Custo de produção .....	45
4.6.3. Rendimento energético .....	45
4.6.4. Qualidade das operações de desbaste .....	45
4.6.4.1. Amostragem de danos .....	45
4.7. Análises dos dados .....	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	49
5.1. Análise técnica da operação de desbaste.....	49
5.1.1. Número mínimo de unidades de amostras requeridas .....	49
5.1.2. Análise do ciclo operacional das máquinas na execução do desbaste .....	49
5.1.2.1. Ciclo operacional do trator florestal <i>harvester</i> .....	49
5.1.2.2. Ciclo operacional do trator florestal <i>forwarder</i> .....	57
5.1.3. Eficiência operacional das máquinas nos tratamentos de desbaste .....	60
5.1.4. Produtividade (Pr) .....	61
5.1.4.1. Produtividade do <i>harvester</i> .....	61
5.1.4.2. Produtividade do <i>forwarder</i> .....	63
5.1.4.3. Produtividade dos subsistemas de colheita operando nos tratamentos de desbaste estudados .....	66
5.2. Análise de custos da operação de desbaste .....	66
5.3. Qualidade da operação de desbaste .....	68
5.3.1. Análise de controle estatístico de processo (CEP) .....	72
6. CONCLUSÕES .....	76
7. RECOMENDAÇÕES .....	77
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78
ANEXOS .....	88

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo.....	27
Figura 2. Esquema do tratamento 1.....	31
Figura 3. Esquema de operacionalização do tratamento 1 pelo subsistema de colheita mecanizado.....	32
Figura 4. Esquema do tratamento 2.....	33
Figura 5. Esquema de operacionalização do tratamento 2 pelo subsistema de colheita de madeira misto.....	34
Figura 6. Esquema de cruzamento e análise de dados para a seleção da área.....	36
Figura 7. Resultado da marcação das linhas para eliminação sistemática.....	37
Figura 8. Principais medidas das trilhas de operação e faixas de trabalho das máquinas nos tratamentos ou modelos de desbastes.....	38
Figura 9. Distribuição das parcelas amostrais na área de estudo.....	38
Figura 10. Características das unidades amostrais ou parcelas de inventário florestal empregadas nos tratamentos ou modelos de desbaste.....	40
Figura 11. Parte das árvores consideradas no levantamento dos danos.....	46
Figura 12. Princípio da construção dos gráficos de controle estatístico dos processos.....	48
Figura 13. Distribuição percentual do ciclo operacional do trator florestal <i>harvester</i> na execução do corte dos tratamentos de desbastes.....	50
Figura 14. Modelo teórico da disponibilidade de árvores para o <i>harvester</i> de acordo ao DM, em cada um dos tratamentos de desbaste.....	51
Figura 15. Distribuição das frequências relativas (%) em relação à quantidade de árvores cortadas ao final de todos os DM, nos dois tratamentos de desbaste.....	51
Figura 16. Tempo médio e total dos principais elementos do ciclo operacional do <i>harvester</i> na execução dos tratamentos de desbastes.....	53
Figura 17. Distribuição percentual dos tempos dos elementos do ciclo operacional da operação de derrubada com motosserra no “centro de campo” no tratamento de desbaste 2.....	56
Figura 18. Distribuição percentual do ciclo operacional do trator florestal <i>forwarder</i> na execução da extração dos modelos o tratamentos de desbastes.....	57
Figura 19. Esquema teórico da situação gerada nos tratamentos de desbaste em relação à distribuição e volume das pilhas de madeira.....	58
Figura 20. Tempo médio de do ciclo operacional do <i>forwarder</i> com diferentes tipos de madeira e distâncias de extração.....	59
Figura 21. Produtividade média do <i>harvester</i> em relação à quantidade de árvores e toras produzidas e tipo de processo por hora.....	62
Figura 22. Produtividade média do <i>harvester</i> em função do processamento das árvores e produção média total.....	62
Figura 23. Produtividade do <i>forwarder</i> conforme o destino das toras e a distância de extração nos tratamentos de desbaste.....	64
Figura 24. Percentual de viagens realizadas pelo <i>forwarder</i> para os diferentes tipos toras e distâncias de extração nos tratamentos de desbaste estudados.....	65
Figura 25. Distribuição percentual dos custos operacionais dos subsistemas de colheita nos modelos ou tratamentos de desbaste estudados.....	67
Figura 26. Percentual de árvores remanescentes danificadas ou feridas pelas máquinas de colheita de madeira nos tratamentos de desbaste estudados.....	68
Figura 27. Distribuição dos danos nas árvores remanescentes e as máquinas responsáveis pelos ferimentos nos dois tratamentos de desbaste estudados.....	70

Figura 28. Distribuição em frequências das dimensões de feridas obtidas nas árvores remanescentes do povoamento nos tratamentos de desbastes estudados.....	71
Figura 29. Gráficos de controle estatísticos de processos aplicados à quantidade de danos apresentados nas árvores remanescentes do povoamento, nos tratamentos de desbastes estudados.....	72
Figura 30. Distribuição percentual das árvores feridas segundo a sua localização espacial nos tratamentos de desbastes estudados.....	73
Figura 31. Distribuição percentual das feridas nas árvores em relação à localização e trilha de operação.....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Especificações técnicas das máquinas utilizadas nas operações de desbaste.....	28
Tabela 2. Tipo e organização dos subsistemas de colheita empregados nas operações de desbastes estudadas.....	29
Tabela 3. Caracterização dos métodos e modelos de desbastes estudados.....	30
Tabela 4. Características dos sortimentos de toras obtidas nas operações de desbaste.....	35
Tabela 5. Características das unidades amostrais empregadas no inventário florestal.....	39
Tabela 6. Elementos do ciclo operacional das máquinas estudadas.....	42
Tabela 7: Tipos de árvores trabalhadas no corte florestal em cada modelo de desbaste, classificadas de acordo a sua localização, meio e tipo de derrubada e processamento.....	43
Tabela 8. “ <i>Check List</i> ” utilizado na avaliação de danos nas árvores remanescentes.....	46
Tabela 9. Parâmetros estatísticos do estudo piloto para cálculo da quantidade mínima de amostras de ciclos operacionais nos dois tratamentos de desbaste.....	49
Tabela 10. Tempo médio dos elementos do ciclo operacional do <i>harvester</i> na execução dos tratamentos de desbaste e resultados do teste de “ <i>t</i> ” empregado para a comparação das médias.....	54
Tabela 11. Tempo médio dos elementos do ciclo operacional do <i>harvester</i> por tipo de árvore na execução dos tratamentos de desbaste.....	55
Tabela 12. Resultados do teste de “ <i>t</i> ” empregado para a comparação das medias de duração total dos ciclos operacionais do <i>forwarder</i> , segundo o destino das toras e a distância de extração.....	60
Tabela 13. Eficiência operacional, obtida para as diferentes máquinas nos tratamentos de desbaste estudados.....	60
Tabela 14. Produtividade dos subsistemas de colheita registrados nos dois tratamentos de desbaste.....	66
Tabela 15. Rendimento Energético das máquinas componentes dos subsistemas de colheita na operação dos tratamentos de desbaste estudados.....	67

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<i>ABRAF</i>	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
<i>BC</i>	Busca e corte
<i>BRACELPA</i>	Associação Brasileira de Celulose e Papel
<i>CEP</i>	Controle Estatístico de Processo
<i>CORMA</i>	Corporação de Madeira Andina
<i>CTL</i>	Sistema de Toras Curtas ou <i>Cut-to-length</i>
<i>cm</i>	Centímetro
<i>cm<sup>2</sup></i>	Centímetro quadrado
<i>cm<sup>3</sup></i>	Centímetro cúbico
<i>CR</i>	Carregamento
<i>DAP</i>	Diâmetro na Altura do Peito
<i>DC</i>	Descarregamento
<i>DES</i>	Deslocamento
<i>DER</i>	Derrubada
<i>Dm</i>	Disponibilidade mecânica
<i>DM</i>	Deslocamento da máquina
<i>Eo</i>	Eficiência operacional
<i>ECE</i>	<i>Economic Commission for Europe</i>
<i>FAO</i>	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
<i>GPS</i>	Sistema de Posicionamento Global
<i>ha</i>	Hectare
<i>h</i>	Hora
<i>Hp</i>	Horse Power
<i>MFAF</i>	<i>Ministry for Foreign Affairs of Finland</i>
<i>INFOR</i>	Instituto Florestal do Chile.
<i>IPEF</i>	Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais
<i>lb</i>	Libras
<i>LM</i>	Limite Médio
<i>LSC</i>	Limite Superior de Controle
<i>LIC</i>	Limite Inferior de Controle
<i>MPa</i>	Megapascal
<i>min</i>	Minuto
<i>M</i>	Metro
<i>m<sup>2</sup></i>	Metro quadrado
<i>m<sup>3</sup></i>	Metro cúbico
<i>m<sup>3</sup>cc</i>	Metro cúbico com casca
<i>m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup></i>	Metro cúbico por hectare
<i>m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup></i>	Metro cúbico por hora
<i>ns</i>	Não significativo
<i>Pr</i>	Produtividade
<i>KWF</i>	<i>German Centre for Forest Work and Technology</i>
<i>kw</i>	Quilowatts
<i>kg</i>	Quilograma
<i>lb</i>	Libras
<i>PCT</i>	<i>Pre-commercial Thinning</i>

<i>RD</i>	Relação de Desbaste
<i>PR</i>	Processamento
<i>R\$</i>	Reais
<i>R\$.ha<sup>-1</sup></i>	Reais por hectare
<i>S</i>	Desvio Padrão
<i>S<sup>2</sup></i>	Variância
<i>s</i>	Segundo
<i>SIG</i>	Sistema de Informação Geográfica
<i>TL</i>	Sistema de Fustes Inteiros ou <i>Tree length</i>
<i>TOM</i>	Tombamento
<i>VV</i>	Viagem vazia
<i>VC</i>	Viagem carregada

## RESUMO

Oscar Manuel de Jesús Vera Cabral. **Avaliação operacional da colheita de madeira em desbastes de *Pinus taeda* L.**

Este trabalho teve por objetivo realizar uma análise operacional comparativa envolvendo os aspectos técnicos e de custos da colheita de madeira aplicando dois tratamentos de desbaste em povoamentos de *Pinus taeda* L., no primeiro desbaste aos 10 anos de idade. Os dados foram obtidos da área florestal de uma empresa localizada no município de Quedas do Iguaçu, estado do Paraná. Os tratamentos foram dois modelos de desbaste determinados pela eliminação sistemática da 5ª linha (modelo 1, considerado como tradicional) e 7ª linha (modelo 2, considerado como alternativo) e eliminação seletiva das demais linhas do plantio. Os tratamentos foram executados por dois subsistemas de colheita: mecanizado composto pelo *harvester* e *forwarder* e misto, composto pela motosserra, *harvester* e *forwarder*, sendo a introdução da motosserra justificada pela área que ficou fora do alcance da grua do *harvester* empregado, denominada “centro de campo”. As mudanças propostas pelo novo modelo de desbaste e subsistema misto de colheita visaram aumento de produtividade, redução de custos das operações e melhor qualidade do povoamento remanescente, além de evitar a perda de área produtiva e distúrbios ao solo em termos de compactação. Para a comparação do desempenho de ambos os subsistemas de colheita de madeira trabalhando nas mesmas condições, foi selecionado um povoamento com características homogêneas. Foi realizado um estudo de tempos e movimentos das máquinas de colheita de madeira em ambos os tratamentos de desbaste, permitindo uma comparação dos ciclos operacionais e determinando-se a produtividade, eficiência operacional, custos operacionais e de produção. Foi realizada uma avaliação da qualidade das operações por meio da aplicação de inventário de danos no povoamento remanescente. Os resultados mostraram os principais fatores que afetaram o ciclo operacional das máquinas envolvidas nestas operações: para o *harvester* foram afetados principalmente a busca e corte, o deslocamento e as interrupções; para o *forwarder* foram afetados a viagem vazia e o carregamento. O subsistema de colheita mecanizado na execução do tratamento de desbaste 1 apresentou maior produtividade ( $42,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) em relação ao modelo 2 ( $40,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ), menores custos de produção (R\$ 14,98/ $\text{m}^3$  contra R\$ 16,25 / $\text{m}^3$ ) e melhor qualidade da operação devido à menor ocorrência dos danos às árvores remanescentes (13 % contra 17 %). Além de serem definidos os danos como pouco importantes, o tratamento proposto possibilitou uma melhor distribuição dos danos na floresta. Comparativamente, o tratamento de desbaste 2 não ofereceu melhores resultados operacionais e de custos de colheita de madeira, porém apresentou os melhores resultados em relação à qualidade com menores danos nas árvores remanescentes do povoamento.

**Palavras-Chave:** *harvester*; *forwarder*, produtividade, custos, qualidade, mecanização.

## ABSTRACT

Oscar Manuel de Jesús Vera Cabral. **Operational evaluation of timber harvest in thinning of *Pinus taeda* L.**

This study had by objective to carry out an operational comparative analysis involving technical and cost aspects of timber harvesting applying two thinning treatments in *Pinus taeda* L., in the first thinning at age 10. Data were obtained from the forest area of a company located in the city Quedas de Iguaçu, Paraná State. The treatments were two thinning models determined by the systematic elimination of 5th line (model 1, considered as traditional practices) and 7th line (model 2, alternative thinning model) and selective elimination in the lines that were determined for these intervals. The treatments were executed by two harvesting subsystems: mechanized composed by harvester and forwarder and mixed system compound by chainsaw, harvester and forwarder, the introduction of the chainsaw was the creation of an area outside the range of harvester, called “midfield”. The proposed changes by the new model of thinning and mixed harvesting subsystem aimed to increasing productivity, reducing transaction costs and better quality of the remaining stands, in addition prevent the loss of productive area and disturbances in terms of soil compaction. To compare the performance of both harvesting systems working under the same conditions, a stand was selected with homogeneous characteristics. A study of the time and motion machines in both thinning treatments was performed, allowing a comparison of operational cycles and determining productivity, operational efficiency, operational costs and production costs. An evaluation of the quality of operations through the application of damages inventory in remaining population was made. The results showed the main factors that affected the operational cycle of the machines involved in these operations: for the harvester were affected mainly the searching and cutting, displacement and disruption; to the forwarder were affected the empty travel and loading. The subsystem of mechanized harvesting implementing in the thinning model 1 showed the highest productivity (42,3 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> against 40,5 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>), lower production costs (R\$ 14,98/m<sup>3</sup> against R\$ 16,25/m<sup>3</sup>) and better quality of operation due to the less occurrence of damage to remaining trees (13 % versus 17 %). In addition to being defined the damage as minor, the proposed treatment enabled a better distribution of damage in the forest. Comparatively, the thinning treatment 2 did not offer better operational and cost of harvest results, but showed better results in relation to quality with minor damage in remaining trees of the stand.

**Key words:** *harvester, forwarder, productivity, costs, quality, mechanization.*



## 1. INTRODUÇÃO

O desbaste é uma das técnicas mais importantes no manejo de florestas plantadas destinadas à produção de madeira, pois permite agregar maior valor na qualidade e possibilitar maior diversidade de usos e aplicações. Este tratamento, objetiva concentrar no produto, as características desejadas pelo consumidor final, sendo que o padrão procurado é o tamanho dos troncos (diâmetro e comprimento), forma e qualidade tecnológica da madeira, porém tais intervenções são caracterizadas por permitir um tipo específico de produção florestal.

O princípio fundamental do manejo florestal é conduzir o crescimento das árvores para a produção de madeira num determinado espaço físico, por meio da gestão dos recursos limitados do ambiente (nutrientes, água e luz) (SCHNEIDER *et al.*, 2008). A aplicação do desbaste é fundamental para o manejo do povoamento, sendo a única alternativa técnica e econômica possível para permitir chegar até determinados objetivos de produção.

A necessidade de eliminar algumas árvores de um povoamento por meio do desbaste não é uma tarefa fácil devido ao grande esforço exigido, pois a mesma é uma operação muito complexa e onerosa em termos econômicos, devido ao trabalho em espaços restringidos, baixa produtividade operacional e altos custos de execução. Neste sentido, a sua aplicação deve atender aos critérios que indiquem o equilíbrio entre custos e benefícios, também os requisitos fundamentais que devem ser satisfeitos mediante o desbaste, sendo o principal e mais importante, a qualidade do povoamento remanescente, de forma a evitar a redução da estabilidade e o valor produtivo presente e potencial do recurso florestal.

As operações de desbaste mecanizado devem atingir o objetivo de eliminação das árvores para a regulação do espaço, com baixos custos operacionais e impactos ao meio ambiente. Segundo Mederski (2006), da perspectiva operacional, a procura das questões anteriores, precisa fazer frente aos principais e clássicos problemas dos desbastes que podem ser: perda de área produtiva, maior tráfego de máquinas que podem aumentar os distúrbios ao solo, a incidência de danos no povoamento, o baixo valor dos produtos do desbaste (principalmente nas primeiras intervenções), a escassa produtividade das máquinas de colheita de madeira e o pequeno espaço de operação.

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas ABRAF (2013), com o grande desenvolvimento do setor florestal brasileiro e as suas tendências, existem exigências referentes à procura por maior competitividade nos processos de produção, implicando em mudanças significativas nos métodos de trabalho. Neste sentido, a mecanização das operações de desbaste é uma das inovações interessantes, permitindo alcançar numerosas vantagens no processo de produção de madeira.

Maganotti *et al.* (2010) e Lageson (1997) citam que a geração de novos conhecimentos específicos mediante pesquisas referentes à introdução da mecanização nos desbastes, mostra uma tendência, onde o objetivo principal dos estudos não considera os desbastes como técnica para a condução de uma floresta. A geração de inovações neste campo responde em primeiro lugar aos elementos ou meios para a sua execução em termos das tecnologias disponíveis, e a segunda, referente ao formato da eliminação das árvores do povoamento durante o desbaste. Por isso, a forma de retirada das árvores do povoamento geralmente é praticada de acordo com as características e a concepção das máquinas disponíveis, que muitas vezes, não consideram os atributos da floresta e as melhores estratégias de manejo florestal.

Na execução do desbaste mecanizado deve-se procurar em primeiro lugar atingir uma boa redistribuição espacial das árvores remanescentes e a melhora da sua qualidade. Normalmente, para a aplicação do desbaste mecanizado em plantios de Pinus, utiliza-se o sistema de colheita de toras curtas (*Cut-to-length*), onde ocorre a remoção sistemática da 5ª linha e a eliminação seletiva das 4 linhas adjacentes, sendo este formato e intervalo da linha sistemática definido de acordo com o alcance da grua do *harvester*, ou seja, segundo as características das máquinas. Então, para a mecanização do desbaste, deve-se modificar o padrão de intervenção por meio da realização do desbaste seletivo em 100 % do talhão.

É importante ainda ressaltar que, o modelo tradicional de desbaste não tem uma fundamentação técnica econômica bem definida em relação à adequação das características da floresta, possibilidade de gerar maior produtividade das máquinas de colheita de madeira, menores custos operacionais, maior qualidade da operação e a minimização dos impactos ambientais. No modelo de desbaste tradicional, a retirada sistemática da 5ª linha pode ser considerado um intervalo muito pequeno, com a respectiva retirada de uma excessiva quantidade de linhas, questões que permitem a manifestação dos principais problemas desta operação.

Portanto, estes são os motivos pelos quais o presente trabalho foi desenvolvido, procurando realizar uma avaliação técnica e de custos da operação de desbaste pelo atual modelo, fazer mudanças neste modelo e compará-las com base em parâmetros pré-definidos. Os resultados obtidos permitirão a definição de novas estratégias de trabalho com a combinação de máquinas adequadas e a execução de novos modelos de desbaste, auxiliando a tomada de decisões para atingir todos os objetivos da execução desta operação.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Realizar uma avaliação operacional de subsistemas de colheita operando em dois modelos de desbaste em povoamentos de *Pinus taeda* L., visando aumento de produtividade, redução de custos e melhoria da qualidade do povoamento florestal remanescente.

### **2.2 Especificamente objetivaram-se:**

- a) Analisar o ciclo operacional das máquinas de colheita de madeira na execução dos modelos de desbaste, suas interrupções operacionais e não operacionais com respectivas causas;
- b) Determinar a produtividade, a eficiência operacional, os custos operacionais e de produção das máquinas na execução da colheita de madeira nos modelos de desbaste; e
- c) Analisar os danos causados pelas máquinas nas árvores remanescentes durante a execução da colheita de madeira nos modelos de desbaste.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Setor florestal brasileiro das florestas plantadas**

O setor das florestas plantadas é responsável por uma relevante contribuição ao desenvolvimento econômico do Brasil, onde o investimento setorial, as riquezas geradas e os benefícios produzidos transcendem ao âmbito social e ambiental, e desta maneira, permitem encaminhar ao setor como uma referencia a nível mundial (ABRAF, 2013).

Segundo essa mesma fonte, o Brasil possui em torno de 7,0 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais, 1,56 milhões são plantios de *Pinus*, com uma diminuição ou estagnação da sua área em relação ao ano anterior e com marcada tendência de um considerável aumento no futuro (IPEF, 2011), que indicam que a cultura do *Pinus* vem se fortalecendo e diversificando há muito tempo em termos de espécies, procedências e clones, e expandindo suas áreas de plantio e formas de manejo florestal.

A distribuição geográfica da maioria das florestas plantadas com *Pinus* no Brasil nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul é devido às condições edafoclimáticas e a localização dos principais centros processadores deste tipo de madeira (BRACELPA, 2012; ABRAF, 2012). A madeira de *Pinus* é comercializada no mercado e utilizada para diversos usos industriais, como madeira *in natura*, madeira serrada, diversos tipos de compensados, celulose e seus derivados e alternativamente biomassa para energia.

#### **3.2. Manejo dos plantios florestais com regime de desbastes**

##### **3.2.1. Conceito de desbaste**

O desbaste é um tratamento de manejo florestal que consiste na eliminação intencional, planejada, racional e criteriosa de parte das árvores que crescem num determinado povoamento florestal (DAVEL, 2009; RIBEIRO *et al.*, 2002), sendo que a remoção das árvores é realizada para a administração ou regulação da competição (OLIVEIRA, 2009; FINGER e SCHNEIDER, 1999), com redução da quantidade de indivíduos plantados e competidores por uma determinada quantidade de recursos disponíveis em uma determinada superfície ao longo do período de desenvolvimento da floresta (MULLER e ANGELI, 2006).

Para Lamprecht (1990) é uma intervenção que visa uma regulação espacial “geométrica” das árvores no interior do plantio, enquanto Cozzo (1995) diz que o desbaste constitui numa tecnologia de precisão, devendo ser empregada em um período cronológico e com intensidade bioeconômica adequados.

Os aspectos mais importantes na aplicação dos desbastes são o momento oportuno e a intensidade da intervenção, que são fatores fundamentais para atingir seus objetivos, como medida de manejo do povoamento florestal (HUUSKONEN e HYNYNEN, 2006).

Davel (2009) menciona que o momento oportuno é indicado pelo fechamento das copas das árvores, que mostra o ponto mais intenso da falta de espaço, devendo ser marcada como a finalização desta competição intensa por meio da aplicação do desbaste. Por outro lado, Crechi *et al.* (2005) relataram que a intensidade do desbaste constitui a percentagem de árvores a serem retiradas, enquanto Finger e Schneider (1999) expõem que o período entre duas intervenções de desbaste é chamado de ciclo, devendo a definição destes fatores serem determinadas segundo características técnicas e econômicas.

Por isso, a silvicultura e o manejo florestal devem procurar atentar-se para a correta combinação do espaçamento inicial do plantio com a tomada de decisão em relação à quantidade e a oportunidade de realização dos desbastes, permitindo a maximização do crescimento. Os desbastes deverão ser aplicados de acordo com a necessidade do desenvolvimento da floresta e o objetivo de produção (DAVIS e ROBERTS, 1991).

### **3.2.2. Objetivos dos desbastes**

O principal objetivo do desbaste é manipular a competição entre as árvores de um povoamento, propiciando o bom desenvolvimento das árvores remanescentes e conduzir o potencial produtivo do sítio para atingir maior valor comercial (SCHNEIDER, 2002; OLIVEIRA, 2009), sendo, portanto, que a produção seja concentrada nas árvores mais promissoras (DIAS, 2000).

A diminuição da competição existente entre as árvores remanescentes permitirão maiores taxas de crescimento, aumentando o volume de madeira e uma melhor distribuição com menores quantidades de árvores (SCHNEIDER *et al.*, 2008; MULLER e ANGELI, 2006).

Para Scolforo (1997), a seleção de árvores do desbaste busca aprimorar o padrão de qualidade do povoamento, por meio da eliminação daquelas árvores de menor qualidade, com má formação de fuste e com baixo crescimento.

Drake *et al.* (2003) disseram que o corte periódico das árvores permite utilizar todo o volume produzido no povoamento ao longo da rotação, antecipando-se a perda pelo efeito da competição natural. Foelkel (2010) adiciona como objetivo secundário do desbaste, a busca pelo lucro antecipado durante a rotação, enquanto Scolforo (1997) indica que o desbaste destina à produção adiantada de madeira, implicando na realização de uma colheita intermediária ao longo do ciclo da floresta, denominada de “desbaste comercial”.

Para Dias (2000) a geração de renda intermediária durante o ciclo de corte é uma forma de pagar os custos de plantio de um talhão, além de evitar perdas pela não utilização de árvores que poderiam morrer por causa da competição.

### **3.2.3. Tipos de desbastes**

Finger e Schneider (1999) afirmam que os desbastes em plantios florestais podem ser classificados em três grandes grupos: (a) de acordo com o formato da remoção das árvores; (b) de acordo com os tipos de árvores que serão removidas ou que permanecerão no povoamento; e (c) de acordo com os custos de operação.

Muller *et al.* (2006) classificam os tipos de desbaste de acordo com o formato da remoção das árvores, citando as seguintes opções:

- Desbaste sistemático: consiste na retirada das árvores sem prévia avaliação, sendo realizada em intervalos preestabelecidos e sendo eliminadas todas as árvores de uma determinada linha de plantio. Este tipo de desbaste pode ser aplicado em povoamentos altamente homogêneos, nos quais as árvores apresentam poucas diferenças entre si. É o tipo de desbaste mais simples e de menor custo. No caso de não haver uma homogeneidade da floresta, a sua utilização acarreta em perdas de indivíduos superiores.
- Desbaste seletivo: consiste na retirada de árvores segundo características preestabelecidas, que variam de acordo com o propósito a que se destina a produção. Para a escolha dessas árvores é necessário à prévia seleção no campo. O mais utilizado é o desbaste seletivo por baixo, que consiste na remoção das árvores inferiores (dominadas) ou defeituosas. Esse tipo de desbaste resulta em maiores custos, porém permite obter os melhores resultados na produção e na qualidade da madeira no futuro.

Em relação às árvores que serão retiradas ou permanecerão no povoamento, Lageson (1997) classifica os desbastes como “desbaste por alto” ou “desbaste por baixo”. Estes tipos de desbastes podem ser definidos mediante a “relação de desbaste” (RD), que são determinados pela relação entre a média do diâmetro na altura do peito (DAP) das árvores eliminadas e das árvores remanescentes. No desbaste por alto, o DAP médio das árvores eliminadas é maior em relação às árvores remanescentes, e consequentemente, a RD é superior a 1,0.

De acordo com os aspectos econômicos que envolvem a execução da operação de desbaste, Ligné *et al.* (2005) classificam o desbaste como: pré-comercial (*Pre-commercial Thinning ou PCT*), sendo o desbaste realizado em plantios muito jovens, onde a madeira não tem muito valor comercial. Por outro lado, Spinelli e Magagnotti (2010) definem como desbaste pré-comercial ou desbaste comercial, sendo que no primeiro caso, o valor dos produtos obtidos não subsidia os custos das operações de corte e extração da madeira, sendo um tipo de desbaste que visa atender apenas os aspectos do manejo procurando atingir maior benefício no futuro.

### **3.2.4. Efeito da densidade do povoamento e dos desbastes**

O principal efeito do desbaste e considerado de maior importância é a influência sobre o diâmetro das árvores do povoamento, sendo que o incremento do diâmetro aumenta com a diminuição da densidade do plantio (DAVEL, 2009; ARANDA, 2003; BURKES *et al.*, 2003), permitindo com isso, a possibilidade de geração de madeira de maiores dimensões e com maior valor de mercado (SCHNEIDER *et al.*, 2008).

Quanto aos seus usos, Foelkel (2010) afirma que o desbaste, ao permitir aumentar o diâmetro das árvores, fornece madeira para serraria e laminação. Para Couto (1995), o preço de mercado para este tipo de madeira pode ser quatro vezes maior em relação ao preço da madeira para celulose, enquanto Costas *et al.* (2005) afirmaram que o valor de venda da madeira produzida mediante o manejo com aplicação de tratamentos silviculturais é superior em torno de 30 a 60% no mercado internacional.

A elevada densidade de árvores num povoamento possibilita uma maior produção total de madeira por unidade de área por certo período de tempo e menor produção individual das árvores. Por isso, os desbastes reduzem a produção total do povoamento e permitem o maior crescimento das árvores remanescentes, oferecendo ainda um melhor aproveitamento



industrial da madeira (GARCIA *et al.*, 2000; FINGER e SCHNEIDER, 1999). Para Crechi *et al.* (2005) as intensidades de desbaste devem variar de acordo com os objetivos de produção, sendo que para a produção de madeira de pouca qualidade e máximo volume por área, exige a realização de desbaste leves ou com menor intensidade.

Nas árvores sujeitas à competição, ocorre o maior crescimento das partes superiores do tronco, enquanto aquelas com menor concorrência apresentam maior crescimento das partes inferiores, acarretando em maior conicidade dos fustes basais e contribuindo para a diminuição da percentagem aproveitável das toras (NOGUEIRA *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*, 2007; COSTAS *et al.*, 2005).

Por fim, deve-se mencionar que os desbastes influenciam a tecnologia da madeira, principalmente em relação à sua qualidade. As árvores que crescem em povoamentos sujeitos aos desbastes em comparação aos não desbastados produzem madeira notavelmente diferente em termos de largura dos anéis de crescimento e variabilidade da densidade da madeira. Por isso, o desbaste apresenta resultados dinâmicos na madeira devido aos efeitos sobre seus distintos tipos de tecidos (LIN *et al.*, 2012; TREVISAN *et al.*, 2007; RIBEIRO *et al.*, 2002).

### **3.2.5. Manejo de povoamentos com desbastes para produção de madeira**

Segundo Finger e Schneider (1999) e Selle *et al.* (1994), a árvore de um povoamento é influenciada por diversos fatores intrínsecos, podendo ser genótipos e fatores do meio ambiente (climáticos, solo e topografia), bem como competição com outros vegetais e animais. A qualidade do sítio é expressa pela interação destes fatores sobre a planta, afetando o seu crescimento. A diferença na taxa de crescimento pode ser causada pelos fatores já mencionados, bem como pelas diferenças no estabelecimento do plantio e do manejo florestal (NILSSON e ALBREKTSON, 1994).

Para Trevisan *et al.* (2009), o manejo da floresta atendendo aos fatores que a regulamentam pode contribuir para a melhoria da sua qualidade e produtividade. Nesse sentido, o desbaste é um dos mais importantes tratamentos que controla a competição e a interação com os demais elementos que intervêm na vida do povoamento. Estes fatores indicam quais são as árvores que permanecem no povoamento e quais deverão ser removidas (RIBEIRO *et al.*, 2002).

A condução dos plantios florestais para a produção de madeira destinada à serraria e laminação envolvem diferentes práticas, distintas daquelas para produzir madeira para outras finalidades, como celulose, energia, papel e painéis (DO COUTO, 1995). Para Caniza *et al.* (2008), o espaçamento inicial e subsequente de um plantio florestal deverá atender o uso final da madeira conhecendo que a distribuição das árvores num povoamento afeta diretamente as características da madeira.

Administrar o espaçamento ou a quantidade de árvores do povoamento mediante o desbaste é uma das principais estratégias utilizadas para a produção florestal, denominada de “Produção Múltipla”, onde é gerada uma diversidade de produtos (KIKUTI *et al.*, 1995). Neste tipo de produção florestal, além da densidade de árvores devem-se procurar medidas que procurem obter as melhores características tecnológicas da madeira e técnicas apropriadas de colheita e transporte florestal (MACHADO *et al.*, 2008).

### **3.3. Desbaste mecanizado em plantios florestais**

Segundo Davis e Roberts (1991), a função principal dos plantios florestais comerciais é a geração da maior quantidade e qualidade de produtos com menor custo. Para atingir a eficiência na produção florestal, vários fatores contribuem para que sejam mecanizadas as operações florestais.

Com a introdução da mecanização, inicia-se uma nova etapa da produção florestal, sendo que além dos modelos de desbastes a serem aplicadas, devem ser consideradas questões relativas à silvicultura, como a separação das linhas de plantio, o manejo e o planejamento das estradas antes da implantação do povoamento (INDERFOR e MFAF 2005; COZZO, 1995).

Para Ligné (2004), os desbastes mecanizados podem ser considerados como uma nova alternativa técnica na abordagem do manejo, onde é discutida a aplicação dos desbastes pré-comerciais e comerciais, sendo que o primeiro tipo sofreu uma diminuição na sua aplicação nas últimas décadas devido ao aumento dos custos operacionais e a redução do valor dos produtos obtidos, bem como o menor desenvolvimento de máquinas, métodos e técnicas de trabalho aplicado ao desbaste.

### 3.3.1. Formato ou modelos nos desbastes mecanizados

Segundo INFOR (2006) e González (1988), quando o primeiro desbaste de um plantio de *Pinus* for realizado de forma seletiva ou sistemática e pelo método manual, a aplicação do desbaste seletivo em todo o povoamento é o mais adequado. Já Ferreira e Silva (2008) também indicam este tipo de desbaste devido à distribuição espacial final e o melhor aproveitamento do espaço dentro do povoamento.

Por outro lado, Fogdestam e Bergkvistl (2010) destacam que, não há comprovação a respeito da diferença de crescimento entre os tipos de alinhamento de plantios florestais, ou seja, distribuição quadrada, retangular e não simétrica, porém destacam a importância do alinhamento para a redistribuição eficiente das árvores no desbaste e na produtividade das máquinas no momento de eliminação das árvores.

Bredenkamp (1984), conduzindo experimentos sobre modelos de desbaste de *Pinus taeda* no Sul da África, na primeira intervenção, realizou o desbaste seletivo em todo o povoamento e a eliminação sistemática da segunda linha com distintas intensidades, não encontrando diferenças significativas em relação aos efeitos dos modelos sobre o crescimento do povoamento remanescente.

Já Scott (1977) na década de 1970, levantou a discussão sobre a necessidade de mudar o formato da eliminação das árvores e os sistemas de corte e extração em plantios de *Pinus*, com a finalidade de aumentar a produtividade das máquinas, sendo que a introdução das máquinas nos desbastes exige um tipo totalmente distinto na forma de eliminação das árvores.

Na década de 1990, Lamprecht (1990), indicou que os modelos praticados nos plantios de *Pinus* no Brasil incluíam, no primeiro desbaste, a eliminação da 3ª ou 4ª linha de forma sistemática, seguido do desbaste seletivo nas duas linhas adjacentes. Estes modelos foram introduzidos para permitir a entrada do trator agrícola com caçamba no interior do talhão para realização da extração, bem como por oferecer uma pequena distância lateral para facilitar o carregamento manual das toras (SANT'ANNA, 1997).

Entretanto, com a evolução da mecanização, a entrada das máquinas de colheita de madeira no interior do talhão para executar os desbastes passou a ser uma necessidade. Com a introdução das máquinas no talhão foram criadas características próprias da operação dos desbastes mecanizados, onde as máquinas passaram a trabalhar em espaços reduzidos e com muitas limitações operacionais (SPINELLI, 2004; SPINELLI e Nati, 2009).

A abertura do espaço de trabalho requer uma mudança importante no padrão tradicional de eliminação das árvores, de forma muito diferente em relação às práticas desenvolvidas quando é feito o desbaste por meio de métodos manuais. Neste caso é empregada uma combinação do desbaste sistemático, de forma a criar o espaço que permita a entrada e operação da máquina (trilhas de operação), denominada também de “*strip-road*” (HALLONBORG *et al.*, 1999) e o desbaste seletivo, realizado em área adjacente, permitindo que a máquina possa apanhar as árvores depositadas neste local (SCOTT *et al.*, 2008; LAMPRECHT, 1990; BREDENKAMP, 1984).

Scott (1977) diz ainda que, as mudanças na forma de eliminação das árvores (modelos) nas operações de desbaste podem ser atingidas com a inovação tecnológica e introdução da mecanização. Segundo Makinen *et al.* (2004), com a mecanização, muitos aspectos relacionados com os desbastes têm apresentado mudanças em relação ao tipo de desbaste (seletivo, sistemático ou combinado) e a intensidade (por baixo, por alto ou intermediário).

O conjunto de intervalos das trilhas de operação e o espaço formado pelas linhas de plantio entre as trilhas, onde é realizada a eliminação seletiva das árvores define o “modelo de desbaste” (SPINELLI e NATTI, 2009; MÄKINEN *et al.*, 2004; SCOTT, 1977; BREDENKAMP, 1984), considerado também por Fogdestame e Bergkvistl (2010) e Lageson (1997), como desbaste pela “prática sueca normal”, método de trabalho amplamente difundido na Europa e muito estudado, principalmente, nos primeiros desbastes segundo sua eficiência e custo operacional, além das perdas de crescimento da floresta influenciada por estas práticas.

Spinelli (2004) e Magagnotti *et al.* (2010) afirmam que o desbaste não oferece condições favoráveis de trabalho aos métodos de colheita mecanizados, sendo as operações desenvolvidas em condições muito particulares e requerendo equipamentos especiais. Já Visser e Stampfer (2003) destacam que o tipo de máquina combinando com o modelo de desbaste apresenta grande influência na produtividade e nos custos de produção.

As mudanças ocorridas na operação de desbaste seguem a tendência marcada por procurar adequar esta operação com as máquinas disponíveis para a sua execução (MAKINEN *et al.*, 2004). Nesse sentido, Spinelli e Nati (2009) afirmaram que é mais comum que o modelo de desbaste seja adaptado às máquinas, sendo, portanto, a mudança dos modelos de desbaste a alternativa mais viável, surgindo então, o modelo combinado de

desbaste seletivo e sistemático.

Os desbastes mecanizados devem ser desenvolvidos em formatos ou modelos de eliminação das árvores que possam oferecer maiores benefícios no momento de sua aplicação. Os desbastes devem ser adaptados aos sistemas de colheita de madeira, permitindo uma alta produtividade das máquinas, baixo custo de produção, minimização dos impactos ambientais e benefícios ao longo do ciclo de produção florestal (LAGESON, 1997; BREDENKAMP, 1984).

Neste sentido, Ballard e Mcneel (2010) estudaram os efeitos do formato e sistema de desbaste, determinando que devam ser empregados modelos que procurem maximizar os intervalos de eliminação de linhas inteiras de árvores, permitindo a formação de menos quantidade de trilhas de operação e circulação de máquinas, evitando os efeitos negativos sobre o solo, as árvores remanescentes e os elevados custos operacionais.

Mederski (2006) testou modelos em que foi aumentado o espaçamento entre as trilhas de operação das máquinas, reduzindo, conseqüentemente, a densidade de estradas (*strip-road*). A inovação deste estudo foi a introdução da motosserra para a derrubada das árvores em linhas de desbaste seletivo e que estavam fora do alcance das máquinas (*midfield área* ou centro de campo). Como resultado, esse autor obteve neste trabalho ganhos ambientais, menor quantidade de estradas na área, menor tráfego de máquinas e menor compactação do solo. Além disso, obtiveram maiores ganhos devido à menor perda de área produtiva e, principalmente, ganhos econômicos devido à maior produtividade e menor custo operacional das máquinas na execução do desbaste.

Por fim, é importante ressaltar que Mcnell *et al.* (1992) estudando as operações de desbaste mecanizado, sem a introdução das medidas propostas pelos autores anteriores, verificou que as trilhas de operação das máquinas estavam distanciadas, em média, até 26 m, ocupando em torno de 20 % da superfície do povoamento, considerada como perda de área produtiva. Nestes locais, onde estava concentrado o tráfego das máquinas, 13 % das trilhas foram perturbadas com danos às árvores remanescentes, formação de sulcos e compactação do solo.

### **3.3.2. Aspectos da mecanização nos desbastes**

#### **3.3.2.1. Aspectos operacionais**

Os problemas operacionais relacionados ao desbaste mecanizado referem-se às restrições que limitam e que devem ser vencidas para a realização efetiva das operações florestais. Segundo Lopes (2001) existem diversos fatores que interferem diretamente na execução das operações de colheita de madeira.

Wadsworth (2000) menciona que a mecanização das operações de desbaste depende exclusivamente do terreno e da disposição do plantio, permitindo a operação das máquinas entre as fileiras de árvores, devendo operar os sistemas em distâncias relativamente curtas e com a presença de grandes volumes de madeira por unidade de área, de modo a viabilizar a operação de desbaste.

É importante também ressaltar que, os desbastes são operações que apresentam grande dificuldade de execução, devido à eliminação de somente algumas árvores, enquanto as árvores remanescentes limitam a mobilidade das máquinas no interior da floresta (SPINELLI e NATI, 2009). Neste sentido é limitado o uso de máquinas de grande porte, devido ao pequeno espaço para a mobilidade e os elevados custos operacionais (MEDERSKI, 2006; LIGNE, 2004). Por isso, o tipo de máquina a ser utilizado se constitui em um dos fatores de maior influência na execução desta operação (SPINELLI e MGAGNOTTI, 2010; LAGESON, 1997).

Segundo Spinelli (2004), nos primeiros desbastes, a limitação de espaço para execução das operações pelas máquinas apresenta maior dificuldade, ocasionada pela alta densidade de árvores, que por sua vez, varia de acordo a quantidade de intervenções realizadas. A produtividade das máquinas em operações de desbaste é influenciada pela densidade do povoamento, altura das árvores e a relação entre a altura e o diâmetro (SILVA *et al.*, 2010), enquanto para INDERFOR e MFAF (2005), o mais crítico no primeiro desbaste é o volume das árvores, podendo ser compensado por uma maior produtividade e eficiência operacional das máquinas.

Karha (2008) afirmou que as condições de operação das máquinas variam com a intensidade do desbaste, denominada por Lageson (1997) como “taxa de extração”, definida pela relação entre a área basal colhida e a área basal remanescente. Quanto maior for a taxa de extração, maior a produtividade das máquinas. O mesmo autor também cita o diâmetro médio

das árvores, a topografia do terreno e as condições do solo como fatores que influenciam as operações de desbaste.

Além disso, Mederski (2006) e Ligne (2004) afirmam que a baixa produtividade das máquinas nas operações de desbaste está relacionada ao pequeno tamanho e distribuição irregular das árvores no interior da floresta. Segundo Petty e Karha (2008), além do pequeno tamanho das árvores, a produtividade das máquinas é influenciada pela menor quantidade de árvores por unidade de área, que geralmente são eliminados nos desbastes.

Por isso, considerando o tamanho das árvores é possível fazer a relação entre o tipo de desbaste de acordo com as árvores que serão eliminadas ou que ficarão como remanescentes. Quando o desbaste é “por alto”, aumenta-se a produtividade das máquinas, diminuindo o tempo de execução por unidade de volume, enquanto apresenta comportamento inverso no caso do desbaste “por baixo”.

Por fim, além de todos os aspectos que apresentam relação com as máquinas empregadas nos desbastes, é fundamental considerar a competência do operador qualificado e treinado (LAHTINEN, 2011; SIRÉN, 2001; LAGESON, 1997).

### **3.3.2.2. Aspectos Econômicos**

De acordo com Machado *et al.* (2008), a colheita de madeira é a etapa mais importante em termos econômicos dentro do processo produtivo florestal, podendo representar nas operações de corte raso, até 50 % ou mais do custo final da madeira colocada na indústria.

De acordo com Petty e Karha (2008), Belbo (2008), Karha *et al.* (2008), os elevados custos da colheita de madeira são os principais problemas enfrentados na execução dos desbastes. Além disso, é importante ressaltar que estes problemas são afetados pela baixa produtividade das máquinas, elevado custo de produção e baixo valor dos produtos colhidos.

Portanto, os desbastes comerciais podem tornar-se rentáveis somente quando o valor da madeira for superior aos custos operacionais, devendo produzir volume suficiente de madeira que possa justificar os custos de colheita de madeira (MEDERSKI, 2006; US FOREST SERVICE, 2002). Karha *et al.* (2008) relataram ainda o fato do primeiro desbaste não permitir a produção de madeira de diversos sortimentos, exigindo imperativamente a redução dos custos de operação para a viabilização do negócio florestal.

Foelkel (2010) menciona que a primeira intervenção de desbaste, geralmente, atinge uma baixa qualidade da madeira e de difícil comercialização. No entanto, o autor declara que apesar dos benefícios do desbaste, trata-se de uma operação que despende muito tempo de execução e elevados custos, além do mercado consumidor de madeira fina não encontrar-se muito desenvolvido no mundo inteiro (BELBO, 2008). Porém, Wadsworth (2000) comenta que a madeira obtida no desbaste pode, ocasionalmente, cobrir os custos de produção. Porém, pode superar o elevado custo da colheita de madeira por meio da aplicação de desbastes com menor frequência, maior intensidade e com uso de técnicas mais produtivas.

Por fim, é importante enfatizar que a prática de desbaste em plantações florestais geralmente é executada de forma empírica. Dias (2000) enfatiza a falta de pesquisas sobre os desbastes, de modo que possam gerar informações sobre as taxas de retorno dos investimentos, informando sobre os custos e benefícios destas operações.

### **3.3.2.3. Aspectos silviculturais**

A aplicação dos desbastes tem como principal objetivo o manejo da floresta, porém criando limitações operacionais e econômicas (SPINELLI e NATI, 2009; LAMPRECHT, 1990). Lageson (1997) indica que o maior desafio da realização dos desbastes mecanizados é permitir que a floresta remanescente recebesse os benefícios da intervenção, produzindo uma madeira de alta qualidade. Por isso, em relação à intensidade dos desbastes é muito importante definir o tipo de desbaste a ser executado pelo método mecanizado, o modelo de remoção e as árvores que serão retiradas ou que ficarão como remanescentes.

Makinen e Isomaki (2004) afirmam que os desbastes também podem comprometer a produção florestal. Quando aplicados com grande intensidade poderão danificar o potencial produtivo da floresta e a qualidade da madeira, além de afetar o rendimento da rotação e comprometer o crescimento florestal, que poderá ser compensada pela produção de uma madeira de maior diâmetro e valor comercial. Por outro lado Mainardi *et al.* (1996) consideram que os desbastes precoces em sítios menos produtivos e os desbastes tardios em sítios mais produtivos podem acarretar em maior perda de produção do povoamento.



#### 3.3.2.4. Danos às árvores remanescentes

Os danos nas árvores remanescentes do povoamento são muito comuns após a realização das operações de desbaste mecanizado, ocorrendo de forma imediata, danos diretos do tipo físico e posteriormente, danos indiretos, onde, conforme a sua magnitude, podem reduzir o crescimento da floresta remanescente.

A dimensão e a severidade dos danos acarretam ainda problemas tecnológicos e sanitários na madeira. As feridas causadas pelas máquinas podem ser atacadas por fungos, comprometendo a qualidade da madeira, e consequentemente, perdas econômicas significativas (LINEROS *et al.*, 2003; RIBEIRO *et al.*, 2002; VASILIAUSKAS, 2001).

Segundo Landford e Stokes (1995), as lesões provocadas pelo impacto das máquinas nas árvores remanescentes no interior da floresta compromete a qualidade do produto final, sendo que somente no último desbaste ou no corte raso final é que a madeira apresenta um baixo valor agregado devido às lesões.

Durante as operações de desbaste é muito difícil evitar que as árvores remanescentes sejam danificadas pelas máquinas de colheita de madeira (INDERFOR e MFAF, 2005; LINEROS *et al.*, 2003; CAMARGO, 1999; LAGESON, 1997), sendo que Malinovski e Malinovski (1998) relatam que os sistemas de colheita de maiores produtividades e menores custos são aqueles que normalmente causam os danos mais severos nas árvores remanescentes do povoamento.

Ligné (2004) e Sirén (2001) afirmam que nos desbastes mecanizados existe uma relação direta entre a produtividade das máquinas e o nível de danos causados nas árvores remanescentes. Os danos podem ser causados devido ao operador, à técnica de trabalho utilizada, o volume das árvores retiradas, às distâncias das máquinas em relação às árvores e ao número de árvores existentes no povoamento. Além disso, é importante ressaltar que os danos podem ser de mais intensidade, conforme a espécie florestal e a estação do ano (SIRÉN, 2001; VASILIAUSKAS, 2001).

Os mesmos autores afirmam ainda que, o nível de danos na floresta remanescente depende do sistema de colheita de madeira a ser utilizado na execução das operações. Em estudo realizado com um sistema de toras curtas, constatou que o *harvester* durante a execução da operação de corte fez contato com 19,3 % das árvores, sendo que 28,2 % foram danificadas. Freding (1988), em estudo realizado na Suécia, constatou que os efeitos das operações de desbaste mecanizado com o mesmo sistema de colheita, acarretou uma

percentagem média de árvores danificadas da ordem de 5,9 %. Já Mcneel *et al.* (1992) ao estudarem os danos produzidos na floresta remanescente durante o desbaste, também com sistema *harvester e forwarder*, concluíram que menos de 5 % das árvores foram atingidas.

Vidrine *et al.* (1999) observaram que, o nível de danos causados nas árvores remanescentes em um plantio de *Pinus sp.*, com 12 anos de idade, no primeiro desbaste com o sistema de colheita de toras curtas ocorreu em 2,1 % dos fustes das árvores, enquanto no segundo desbaste, aos 23 anos de idade, o nível de danos baixou até 1,0 %.

No Brasil, Malinovski (1998) avaliando os impactos provocados pela colheita mecanizada em povoamentos de *Pinus taeda* com o sistema de colheita de toras curtas constatou que 45% das árvores remanescentes sofreram algum tipo de lesão no primeiro desbaste, 32 % no segundo desbaste, 16 % no terceiro desbaste e 5 % no quarto desbaste, sendo o comportamento destes valores devido ao aumento do espaço de trabalho.

Lineros *et al.* (2003), estudando a ocorrência de danos ocasionados por um sistema *harvester e forwarder* na operação de desbaste comercial no Chile, observaram que 12,3 % das árvores foram danificadas pelas máquinas de colheita de madeira. Neste estudo, as árvores mais afetadas foram as codominantes, que apresentaram danos na copa e na seção inferior com remoção de galhos. Além disso, as feridas encontraram-se distribuídas entre a base e o tronco, com feridas que danificaram a casca, porém sem exibir o câmbio do tronco.

Já nos Estados Unidos, as avaliações de danos em operações de desbaste empregando o *feller e Skidder* foram estudados por Ostrofsky *et al.* (1986) e Nichols *et al.* (1994), que encontraram percentagens de danos nas árvores remanescentes acima de 20 %. Por sua vez, Landford e Stokes (1995), ao compararem um sistema de colheita de fuste e toras curtas no primeiro desbaste comercial de um talhão de *Pinus taeda* com 18 anos de idade, verificaram que o primeiro sistema atingiu a 25 % das árvores por hectare, enquanto o segundo sistema afetou 10 %. Já Sauter (1996) determinou que a percentagem de danos em povoamentos remanescentes de coníferas no sistema de fuste foi de 9,1 %, enquanto no sistema de toras curtas foi da ordem de 3,7 %, sendo que as feridas possuíam área superior a 10 cm<sup>2</sup>.

Segundo Camargo (1999), os prejuízos das operações de desbaste devem ser monitorados por meio de um controle de danos, procurando manter a qualidade do povoamento. O Lageson (1997) indica que o conhecimento do valor das perdas ocasionadas pelos danos nas árvores remanescentes, devem ser mensurados e adicionados aos custos da operação do desbaste. Por sua vez, Sirén (2001) informa que a avaliação dos níveis de danos

na floresta remanescente deve ser empregada no estudo econômico global das operações de desbaste. Já Malinovski (2008) explica que é imprescindível conhecer a quantidade de árvores remanescentes que poderá ficar comprometida com injúrias, de acordo com os objetivos de produção e o sistema de colheita de madeira adotado.

Os danos causados pelas máquinas nos desbastes devem ainda ser bem analisados em relação da ocorrência e dos tipos de árvores atingidas. Neste sentido, Lageson (1997) e Lineros *et al.* (2003) determinaram que não há uma relação entre a incidência dos danos e a classe de diâmetro das árvores, porém ressaltam que o desbaste por baixo apresenta menores possibilidades de ocasionar lesões quando comparado ao desbaste por alto, devido ao fato que no primeiro tipo, as árvores eliminadas são pequenas e no segundo caso, as árvores de maiores troncos e copas são mais difíceis de manejar.

#### **3.3.2.5. Alterações das operações de desbaste mecanizado no solo**

As operações florestais afetam o meio ambiente, devendo os efeitos ser consideradas em termos de quantidade, gravidade, duração e localização no interior da floresta (RUMMER, 2002).

O principal impacto produzido pelas operações florestais no povoamento florestal é o distúrbio sobre o solo, acarretando em compactação e exportação de nutrientes. A compactação do solo é uma das alterações inerentes dos desbastes mecanizados, onde segundo Mcneel e Ballard (1992), o uso inadequado das máquinas de colheita de madeira na execução do desbaste pode resultar em uma severa compactação e sulcamento do solo e deslocamento de nutrientes. Por tratar-se de efeitos clássicos desta atividade, os níveis de danos devem ser mantidos em graus aceitáveis que não comprometam a capacidade produtiva dos sítios (MALINOVSKI, 2008). Por isso, é fundamental o conhecimento das alterações e dos limites de tolerância para cada impacto.

Nos estudos apresentados por Whitman *et al.* (1997) e Vidrine *et al.* (1999), são descritos os efeitos dos desbastes mecanizados sobre os solos. Nesse sentido INDERFOR e MFAF (2005) ressaltaram que o sistema de colheita de toras curtas, comparado aos outros sistemas de colheita de madeira permite que as ponteiros das árvores, galhos e folhas sejam deixadas no interior do povoamento, formando uma camada protetora por onde irá circular as máquinas, reduzindo a incidência do peso e a compactação do solo.

Viera *et al.* (2011) afirmam ainda que, nestas operações, deve-se evitar a remoção destes resíduos, contribuindo com a sustentabilidade ambiental, por meio do incremento da disponibilidade de nutrientes, e conseqüentemente, diminuição da quantidade de adubação para a reposição nutricional do sítio florestal.

### **3.3.3. Seleção e avaliação dos sistemas de colheita utilizados em desbaste**

A seleção de sistemas mecanizados de colheita de madeira a serem empregados em operações de desbaste é dependente de fatores como: relevo, solo, condições climáticas, tamanho da madeira, incremento do talhão, uso da madeira e regime de manejo, dentre outros (MACHADO *et al.*, 2000). Malinovski *et al.* (2008) mencionam ainda que depende de aspectos operacionais, como tipo e intensidade de desbaste e o uso final da madeira.

Já Lopes (2007) considera que a seleção de máquinas e o desenvolvimento de sistemas operacionais de colheita de madeira é um grande desafio dos gestores florestais para a redução dos custos e a dependência em relação à mão de obra para execução das operações de colheita e transporte florestal.

Para Foelkel (2010), Malinovski (2007) e Machado e Lopes (2000), a escolha de um sistema de colheita de madeira deve ser baseada numa análise técnica e econômica, sendo que Lopes (2001) adiciona que nesta seleção, deve-se considerar também o grau de impacto sobre o meio ambiente e danos na floresta remanescente.

A seleção dos métodos para execução dos desbastes em plantios florestais apresentam dificuldades, devendo ser estudada por equipes multidisciplinares, que considerem os aspectos do melhoramento genético, manejo, colheita e industrialização, todas baseadas na análise econômica das atividades (KIKUTI *et al.*, 1995).

Segundo Fernandes *et al.* (2009), a avaliação dos sistemas de corte e extração de madeira, independentemente do grau de mecanização, é uma ferramenta fundamental a ser usada para fazer correções de qualquer alteração do processo de produção, visando racionalizar e otimizar os recursos disponíveis. Por outro lado, Ligne (2004) afirma que em muitas oportunidades, o valor monetário da madeira obtida somados aos benefícios silviculturais de uma floresta não compensa a aplicação dos desbastes. Porém, tal afirmação necessita ser comprovada mediante um estudo detalhado dos cenários no processo de tomada de decisões.

Por isso, a seleção e o desenvolvimento de qualquer sistema de colheita de madeira a ser aplicado em regime de desbaste variam muito de acordo com as condições da escala da produção florestal, nos diferentes níveis de investimento dos projetos e as limitações e oportunidades para adotar a mecanização devem ser tratadas de distinta maneira (SPINELLI, 2004).

As avaliações técnica e econômica das operações de desbaste são realizadas em geral sobre as máquinas individualmente, não considerando o sistema como um todo. É fundamental estudar o sistema para conhecer seu potencial máximo nas diversas condições operacionais. A interação das máquinas no sistema podem oferecer resultados muito distintos na produção global comparada com a abordagem individual (VISSER e STAMPFER, 2003).

### **3.3.4. Classificação dos sistemas de colheita mecanizados aplicados em desbaste**

Os principais sistemas de colheita de madeira disponíveis podem ser classificados em:

#### **3.3.4.1 Sistema de toras curtas (*Cut-to-length*)**

Neste sistema a árvore é cortada e processada no interior do talhão, sendo em seguida, a madeira extraída para a margem da estrada ou pátio intermediário, em forma de toras com comprimento de até seis metros (MACHADO, 2008). Para Malinovski e Malinovski (1998), o sistema é composto, basicamente, por duas máquinas: *harvester* e *forwarder*, onde a primeira realiza o corte e processamento das árvores e a segunda, realiza a extração da madeira na forma de baldeio para a beira do talhão. É o sistema de colheita mais antigamente utilizado no Brasil.

No sistema de toras curtas, durante a extração, as toras são colocadas sobre uma caixa de carga, não ficando em contato com o solo e evitando a contaminação da madeira. O transporte da madeira confinado na caixa de carga do *forwarder* reduz ainda o sulcamento no solo (MALINOVSKI e MALINOVSKI, 1998; SEIXAS *et al.*, 1996).

INDERFOR e MFAF (2005) indicaram que o sistema de toras curtas pode ser empregado em cortes rasos e desbastes. No último caso, é um dos melhores para a eliminação seletiva e sistemática das árvores. Para Seixas *et al.* (1996), este sistema oferece um melhor desempenho operacional e viabilidade econômica nos desbastes. O sistema de toras curtas pode ser desenvolvido por métodos semimecanizados e mecanizados; no segundo caso,

Magagnotti *et al.* (2010) indicam que é mais aplicável quando são feitos desbastes comerciais, devido ao alto investimento em máquinas e elevado custo operacional.

Segundo Malinovski *et al.* (1998), o sistema de toras curtas acarreta um menor impacto ambiental, devido à baixa exportação de nutrientes, sendo que os resíduos da colheita permanecem depositados no interior da floresta. Para Ledoux e Huyler (2001), no sistema de toras curtas totalmente mecanizado, a operação das máquinas gera menos danos residuais e alterações ao solo, enquanto Sirén (2001), os resultados obtidos com este sistema são conhecidos pela qualidade da operação, fato marcado pela baixa incidência e distribuição dos danos nas árvores remanescentes.

Machado (1989) ainda apontou que esse sistema é muito utilizado quando o volume médio das árvores é inferior a  $0,5 \text{ m}^3$ , pois o manuseio das toras é facilitado. Porém as maiores limitações é a dificuldade de realização das operações em terrenos com declividades mais acentuadas, dificuldade no aproveitamento da biomassa residual da colheita como fonte energética e os maiores custos operacionais.

Segundo Spinelli (2004) e Makkonen (1989), a grande desvantagem deste sistema é o maior custo de produção, ocasionado pela maior manipulação da madeira durante a colheita de madeira. Para Vidrine *et al.* (1999), Ledoux e Huyler (2001) citam que constituem-se nas maiores desvantagens do sistema de toras curtas o alto custo de investimento inicial na aquisição das máquinas e a complexidade de manutenção, além de maiores limitações para trabalhar com madeira com maior densidade e dimensões.

#### **3.3.4.2 Sistema de toras longas (*Tree-length*)**

Neste sistema a árvore é cortada e semiprocessada (desgalhada e destopada) no interior do talhão, sendo em seguida, o fuste arrastado para a margem do talhão, carreador ou pátio intermediário, onde é realizado o processamento final da madeira (MALINOVSKI e MALINOVSKI, 1998).

As maiores vantagens deste sistema, segundo Machado (1989), é a permanência de nutrientes na superfície da área florestal; melhor desempenho em condições topográficas desfavoráveis; eficiência quando o volume médio das árvores é maior que  $0,5 \text{ m}^3$  e maior produtividade comparada ao sistema de toras curtas. Porém, as maiores limitações são a necessidade de um planejamento mais criterioso das operações, evitando pontos de estrangulamento e dificuldade no aproveitamento da biomassa residual da colheita.

Sua utilização em desbastes é muito limitada devido ao pequeno espaço de operação para as máquinas e o tamanho dos fustes colhidos. O emprego deste sistema em desbastes requer um cuidadoso planejamento, em especial quando os danos nas árvores remanescentes deverão manter-se nos limites aceitáveis (SPINELLI, 2004).

#### **3.3.4.3 Sistema de árvores inteiras (*Full-tree*)**

Neste sistema a árvore é apenas derrubada no interior do talhão, sendo em seguida, extraída para a margem do talhão, carreador ou pátio intermediário, onde é realizado o processamento completo da madeira (desgalhamento, destopamento e traçamento). O sistema é composto, basicamente, pelas máquinas: *feller buncher*, *skidder* e processador, onde a primeira realiza a derrubada das árvores, a segunda realiza a extração das árvores na forma de arraste e a última realiza o processamento da madeira na margem do talhão.

As vantagens deste sistema, de acordo com Machado (1989) é a possibilidade de deixar a área livre de resíduos, diminuindo os riscos de incêndios; facilidade no preparo do solo devido à área encontrar-se limpa de resíduos; aproveitamento da biomassa residual como fonte energética; facilidade de execução em condições topográficas desfavoráveis e maior produtividade. Por outro lado, Malinovski *et al.* (1998), diz que esse sistema de colheita exige um planejamento mais eficiente das operações e causa maiores danos ao ambiente, principalmente em termos de compactação do solo, ocasionados pelo arraste das árvores diretamente sobre o terreno e o emprego de máquinas de grande porte.

Para Camargo (1999) no sistema de árvores inteiras, os *feller bunchers* elevam os níveis de compactação ao longo da trilha de operação, devido que eles suportam todo o peso das árvores no cabeçote e o *skidder* pode produzir danos às árvores remanescentes devido ao arraste das árvores sobre o terreno no interior do talhão.

Para Spinelli (2004), neste sistema, a manipulação da madeira é mais difícil e com isso, é preciso níveis mais elevados de mecanização. A compensação é a disponibilização de toda a biomassa, produto do processamento nos pátios ou na margem da estrada, considerado como uma exportação dos nutrientes.

Em plantios que visam à produção de biomassa, o emprego deste sistema nos desbastes é mais aplicável nas primeiras intervenções devido ao escasso requerimento de qualidade. Neste caso o *feller buncher* é muito influenciado pelo pequeno tamanho das árvores, mas apresenta vantagens de produtividade devido a que trabalha com várias árvores ao mesmo tempo (VISSER e STAMPFER, 2003).

### **3.3.5. Comparação da operação de diversos sistemas de colheita mecanizados em desbastes**

Lanford e Stokes (1995), Lanford e Stokes (1996) realizaram dois estudos comparativos entre os sistemas de colheita de toras curtas composto pelo *harvester* e *forwarder* e o sistema de árvores inteiras, composto pelo *feller* e *skidder* na operação de desbastes em plantios de *Pinus taeda*. Nestes estudos, os autores encontraram que o sistema de toras curtas apresentou o menor nível de danos nas árvores remanescentes e no solo, enquanto o segundo apresentou maior produtividade e menores custos de produção.

Syunev *et al.* (2009) compararam os sistemas de toras curtas, fustes e árvores inteiras em operações de desbaste. Os autores definiram que a produtividade, os custos, a segurança e ergonomia do trabalho e os danos na floresta remanescente, dependem em grande parte dos sistemas de colheita adotados, bem como do treinamento dos trabalhadores e das condições da floresta. O sistema de toras curtas resultou em menores danos, maior qualidade final do produto e melhores condições ergonômicas de trabalho, enquanto os outros dois sistemas apresentaram menores custos operacionais e maiores danos ao solo e ao povoamento remanescente, bem como muitas limitações na execução das operações.

### **3.3.6. Alternativas para os problemas nas operações de desbaste**

Segundo Turner (2004) é muito importante o uso de um *harvester* adaptado às características do trabalho, sendo recomendadas máquinas de pequena dimensão para a execução das operações de desbastes, em função de realizar o corte de árvores de pequena dimensão, devido a sua maior eficiência operacional e baixo custo de produção.

Hallonborg *et al.* (2001) avaliaram a operação de desbaste com o trator florestal *harvester* com braço telescópico de 11 metros de comprimento, não encontrando diferença significativa em relação à máquina convencional de pequeno alcance, porém observaram uma importante diminuição nos danos causados ao povoamento remanescente.



Outra possibilidade recomendada por Belbo (2008) para diminuir o tempo de execução do corte florestal mecanizado é o emprego de máquinas e cabeçotes que permitam trabalhar com várias árvores simultaneamente. Nesse sentido, Gingras (2003) propõe o emprego de cabeçotes com braços acumuladores montados em *harvester* na operação dos primeiros desbastes, possibilitando melhorias na produtividade da máquina da ordem de 21 a 31 %.

Com a preocupação de resolver os problemas operacionais que ocorrem nos primeiros desbastes em plantios florestais, Magagnotti *et al.* (2010) estudaram sistemas de colheita de madeira, procurando encontrar configurações de máquinas totalmente mecanizadas e de baixo investimento inicial. Neste sentido, o autor recomenda o uso do sistema *Full tree*, com máquinas de pequeno porte e capaz de realizar o corte seletivo das árvores do povoamento e a extração sem a necessidade de abertura de trilhas de operação, sendo isso viável do ponto de vista econômico em árvores com DAP de 15 a 19 cm.

Em relação à extração florestal, Spinelli e Magagnotti (2010) estudaram novos modelos de *Mini-forwarder*, desenvolvidos especificamente para a realização das operações de desbaste. Estas máquinas muito similares aos *forwarder* convencionais apresentaram custos operacionais mais baixos, vantagens ergonômicas para o operador, maior capacidade de realizar manobras no interior do povoamento, porém, apresentaram baixa estabilidade lateral, não podendo operar em altas velocidades por muito tempo, além de serem muito suscetíveis a elevadas distâncias de extração.

Magagnotti *et al.* (2010), baseados na avaliação de desbaste com sistemas totalmente mecanizados com baixo investimento, recomendaram uma configuração de *feller* pequeno combinado com trator agrícola com grua. Foram considerados vantagens como o baixo investimento e custo operacional, a possibilidade de fazer o desbaste seletivo em toda a área e a flexibilidade de empregar máquinas que possam ser utilizadas para outras finalidades no campo. Como desvantagem, apresenta a severa limitação da topografia, a baixa produtividade e a pouca operabilidade de trabalho com árvores deformadas.

Em relação à diminuição da compactação do solo na execução das operações de desbaste com o sistema de toras curtas, é importante ressaltar a redução do tráfego das máquinas, principalmente por meio do aumento do intervalo ou distância entre as trilhas de operação e o planejamento do tráfego da máquina no interior da floresta (ELIASSON e WASTERLUND, 2007).

Do ponto de vista do manejo florestal, Schneider e Schneider (2008) informam que para reduzir os problemas operacionais enfrentados na execução dos desbastes, deve-se procurar a diminuição da duração da rotação, intensificando o desbaste e aplicando maior quantidade de intervenções ao povoamento.

Por fim, Cameron (2002) ao estudar a aplicabilidade dos desbastes sob a ótica econômica, analisou a tendência de diminuição do emprego dos desbastes pela necessidade da produção de madeira de qualidade e o baixo preço obtido. Neste trabalho, o autor indica que os desbastes comerciais, visam atender aspectos econômicos em curto prazo, porém não atendem às exigências da floresta, propondo então, regimes de manejo sem a aplicação de desbastes, além das possibilidades estratégicas de diminuição dos custos operacionais com a silvicultura e outros tipos de desbastes.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização da área de estudo

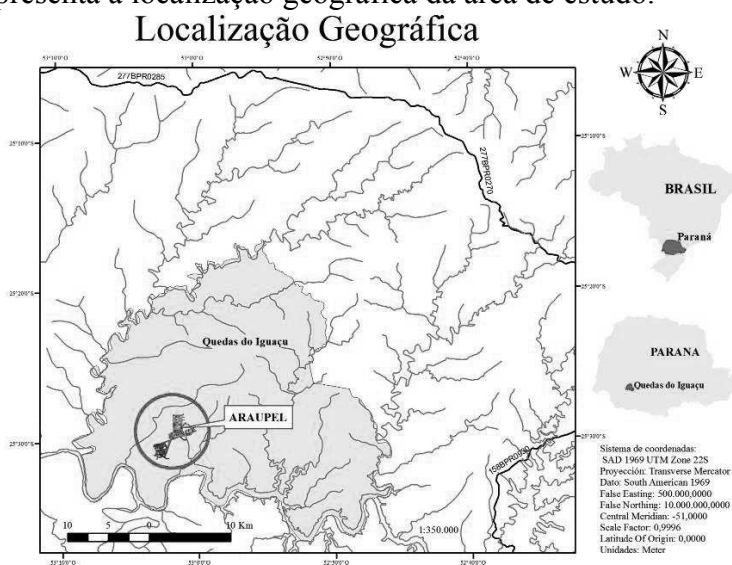
Esta pesquisa foi conduzida nas áreas operacionais da empresa florestal ARAUPEL, localizada no município de Quedas do Iguaçu, estado do Paraná, Brasil, entre as coordenadas geográficas 25° 26' 27" Sul e 52° 55' 17" Oeste.

O clima característico da região é classificado como subtropical úmido, mesotérmico (Classificação climática de Köppen-Geiger), com verões quentes e geadas pouco frequentes, tendo uma tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, e não apresentando estação seca definida. A temperatura média do mês mais quente é maior que 22 °C e do mês mais frio, menor que 18 °C.

Na região predominam os solos do tipo Latossolo, Neossolo e Nitossolo, estendidos numa topografia ondulada com altitude média de 604 m, variando de 600 a 800 m.

A área escolhida para a aplicação dos tratamentos ou modelos de desbaste possuía uma declividade de 7,6 %, com tipo de solo Neossolo litólico.

A Figura 1 apresenta a localização geográfica da área de estudo.



**Figura 1.** Localização geográfica da área de estudo.

## 4.2. Caracterização do povoamento florestal

O povoamento de *Pinus taeda* L, estudado possuía uma área de 16,3 hectares, plantado no ano de 2002 (10 anos de idade) com uma densidade inicial de 1.666 árvores por hectare (espaçamento 3 x 2 m).




Na mensuração inicial antes do desbaste, o povoamento possuía uma média de 953 árvores por hectare, com DAP médio de 20,5 cm e altura total média de 17,4 m, área basal de 33,7 m<sup>2</sup> e volume total médio de 291,4 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

## 4.3. Caracterização das máquinas, sistema e subsistema de colheita, utilizadas nas operações de desbaste estudadas

O corte florestal mecanizado foi realizado pelo trator florestal *harvester*, executando o corte e processamento das árvores, enquanto o corte florestal semimecanizado foi executado por uma motosserra, derrubando as árvores no interior do povoamento, enquanto a extração florestal foi realizada por um trator florestal *forwarder*.

As especificações técnicas das máquinas utilizadas nas operações de desbaste são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Especificações técnicas das máquinas utilizadas nas operações de desbaste.

Máquina	Marca	Modelo	Especificações técnicas
 <i>Harvester</i>	<i>Caterpillar</i>	315D L	<ul style="list-style-type: none"><li>• Motor: modelo Cat® C4.2 ACERT™, Potência: 86 kW ou 115 hp.</li><li>• Peso operacional da máquina: 17280 kg.</li><li>• Alcance máximo da grua ao nível do solo: 9,2 m.</li><li>• Alcance efetivo máximo da grua com carga: 7,2 m.</li><li>• Rodados de esteiras.</li><li>• Cabeçote: <i>Lox Max</i> 5000.</li></ul>
 Motosserra	<i>Stihl</i>	MS 381	<ul style="list-style-type: none"><li>• Motor: cilindrada 72,2 cm<sup>3</sup>.</li><li>• Peso: 6,6 kg (sem combustível, guia e corrente).</li><li>• Elemento de corte: comprimento do sabre 50 cm. Passo da corrente 3/8" (tipo rapid micro).</li><li>• Potência 3,9 kW ou 5,3 CV, relação peso/potência 1,7 kg/kW.</li></ul>
 <i>Forwarder</i>	<i>Caterpillar</i>	564	<ul style="list-style-type: none"><li>• Motor: modelo Cat® C 6.6 ACERT™, com potência de 130 kW.</li><li>• Alcance máximo da grua: 6,9 m.</li><li>• Capacidade de carga: 13608 kg.</li><li>• Peso operacional: 16329 kg.</li></ul>

As máquinas realizavam o desbaste no sistema de toras curtas, trabalhando em dois subsistemas que foram definidos pela combinação de máquinas executando a colheita da madeira do povoamento.

Na tabela 2 é apresentada a dotação dos dois subsistemas empregados no estudo.

**Tabela 2.** Tipo e organização dos subsistemas de colheita empregados nas operações de desbastes estudadas.

Subsistema de colheita	Operações florestais	Máquinas utilizadas
Mecanizado	Derrubada, desgalhamento, destopamento, traçamento e empilhamento	<i>Harvester</i>
	Extração por baldeio	<i>Forwarder</i>
Misto	Derrubada	Motosserra
	Derrubada, desgalhamento, destopamento, traçamento e empilhamento	<i>Harvester</i>
	Extração por baldeio	<i>Forwarder</i>

#### 4.4. Descrição dos métodos e modelos de desbastes estudados

##### 4.4.1. Método de desbaste

O desbaste do povoamento foi realizado pelo “método combinado”, que de acordo com a descrição exposta por Schneider e Schneider (2008), trata-se do formato da retirada das árvores do povoamento que podem ser classificados em desbaste sistemático e seletivo.

##### 4.4.2. Modelos desbaste

O desbaste realizado pelo método combinado foi realizado por meio da eliminação sistemática de uma linha inteira de árvores do povoamento, de forma a criar “trilhas de operação” para a entrada das máquinas para execução do corte e extração da madeira. No desbaste seletivo, foi realizada a remoção de um percentual de árvores da área entre as duas trilhas de operação adjacentes e paralelas entre si.

Neste estudo, os modelos de desbaste foram diferenciados pelos intervalos de linhas eliminadas sistematicamente, onde a distância entre elas definiram a área onde foi realizado o desbaste seletivo das árvores.

Na Tabela 3 são caracterizados os métodos e modelos de desbastes estudados.

**Tabela 3.** Caracterização dos métodos e modelos de desbastes estudados.

Método de desbaste	Modelo de desbaste	Subsistema de colheita empregado	
		Tipo	Máquinas envolvidas
Combinado	Sistemático na 5ª linha	Mecanizado	<i>Harvester e forwarder</i>
Combinado	Sistemático na 7ª linha	Misto	<i>Harvester, motosserra e forwarder.</i>

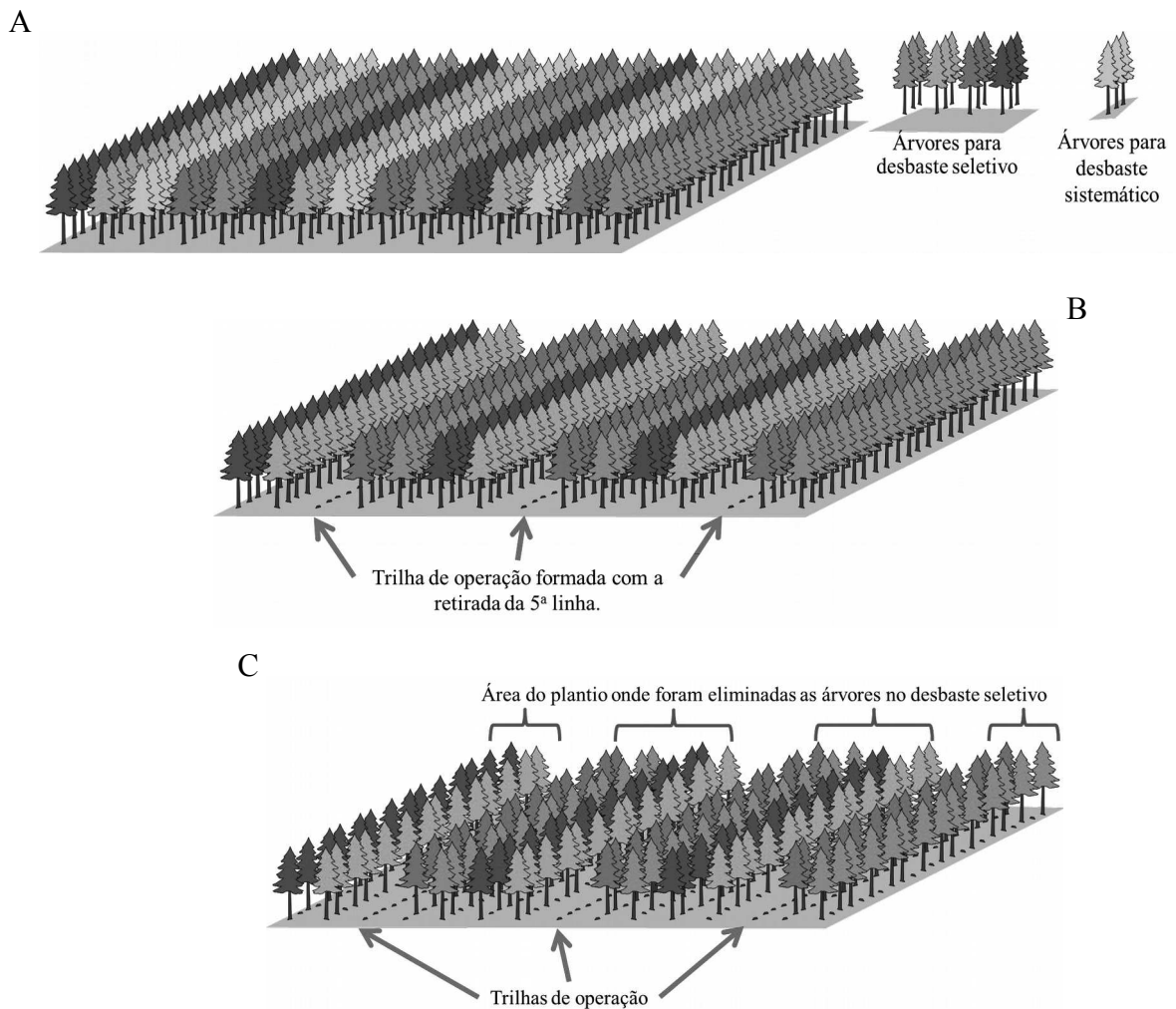
#### **4.4.3. Descrição dos tratamentos de desbastes estudados**

A pesquisa baseou-se no estudo das operações de colheita de madeira executadas no desbaste comercial do povoamento florestal, onde foram aplicados dois modelos de desbastes (tratamentos) com uso de dois subsistemas de colheita de madeira.

##### **4.4.3.1. Tratamento 1: modelo de desbaste 1**

O tratamento 1 envolveu o modelo de desbaste 1, que foi caracterizado pela remoção total da 5ª linha de árvores do povoamento por meio do desbaste sistemático e remoção de 20 % das árvores em duas linhas de ambos os lados da trilha (4ª, 5ª, 6ª e 7ª linhas), por meio do desbaste seletivo, este é o modelo atualmente utilizado pela empresa.

Na Figura 2 é apresentado o esquema de execução do tratamento 1, mostrando a área de plantio com a abertura da trilha de operação na 5ª linha, caracterizado pelo desbaste sistemático e formação das áreas para realização do desbaste seletivo delimitado entre duas trilhas.

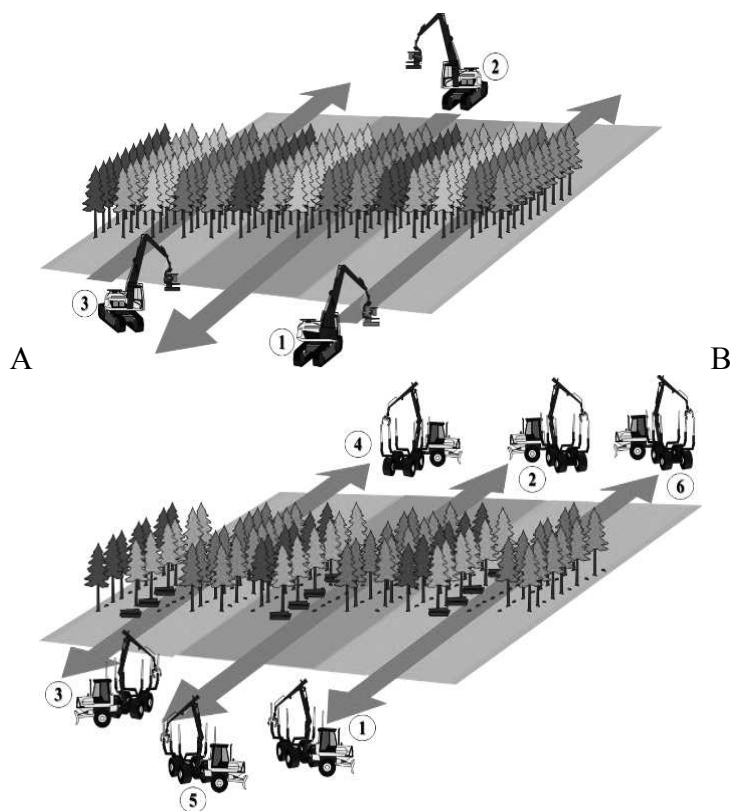


**Figura 2.** Esquema do tratamento 1.

Em que: (A) modelo de desbaste 1, (B) abertura da trilha de operação com eliminação da 5ª linha no desbaste sistemático, (C) área entre duas trilhas de operação onde foi feito o desbaste seletivo.

O tratamento e modelo de desbaste 1 (remoção da 5ª linha) foi executado pelo subsistema de colheita mecanizado, composto pelos tratores florestais *harvester* e *forwarder*. Na operação de corte, o *harvester* realizava a eliminação total da 5ª linha de árvores (desbaste sistemático), criando uma trilha de operação que permitiu a entrada das máquinas. O *harvester* realizava ainda o corte seletivo das árvores dispostas em ambos os lados da trilha de operação, conforme ao alcance de sua grua, realizando a derrubada, o processamento e o empilhamento da madeira ao lado das trilhas de operação. Em seguida, o *forwarder* realizava a extração da madeira do interior do povoamento, empilhando-as na margem da estrada principal. O carregamento foi feito de um lado da máquina no interior do talhão.

A Figura 3 mostra o esquema da operação do *harvester* e *forwarder* na execução do tratamento 1.



**Figura 3.** Esquema de operacionalização do tratamento 1 pelo subsistema de colheita mecanizado.

Em que: (A) *harvester* executando o corte florestal e (B) *forwarder* executando a extração florestal.

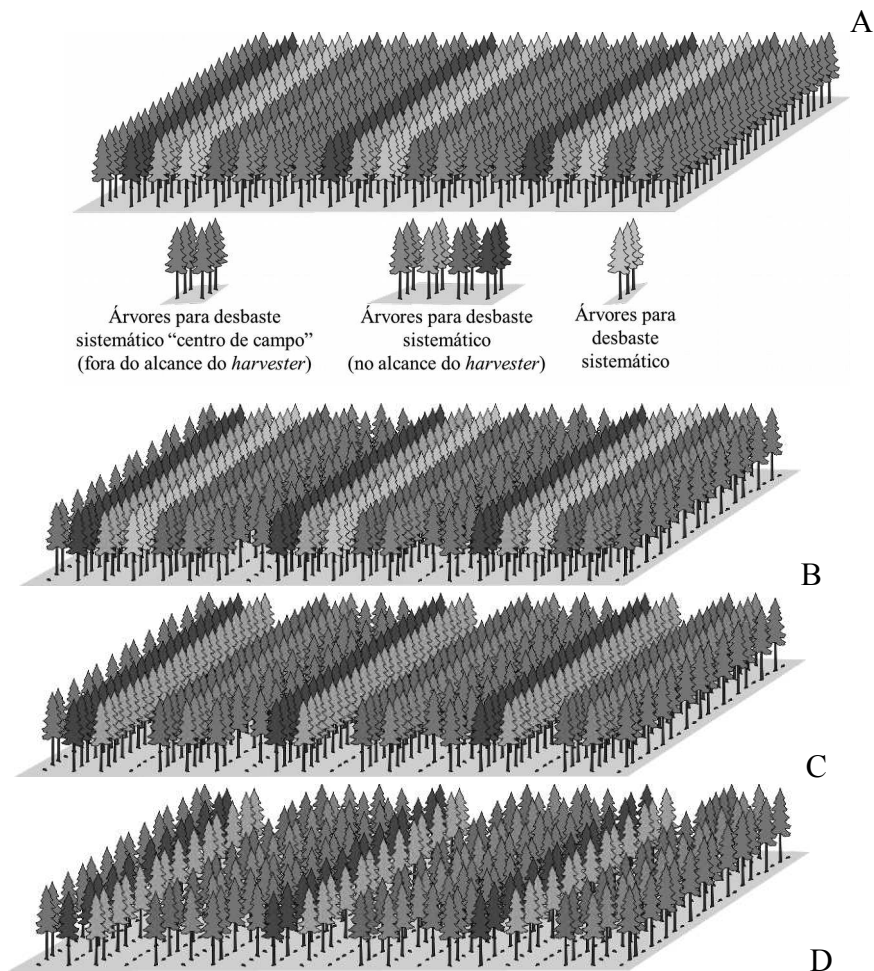
#### 4.4.3.2. Tratamento 2: modelo de desbaste 2

O tratamento 2 envolveu o modelo de desbaste 2, que foi caracterizado pela remoção total da 7ª linha de árvores do povoamento por meio do desbaste sistemático e remoção de 26 % das árvores em três linhas de ambos os lados da trilha, por meio do desbaste seletivo, sendo este o modelo de desbaste testado.

Em função do aumento da distância entre as linhas sistemáticas, formaram-se então, seis linhas de árvores dispostas para realização do desbaste seletivo, sendo que as duas linhas centrais ficaram fora do alcance do *harvester* (Figura 4), sendo que tais linhas de árvores eram constituídas por uma faixa de duas linhas denominadas de “centro de campo” ou “*midfield area*”, sendo este um modelo proposto por Medeski (2006) e aplicado em florestas da Europa.

O esquema com as etapas de execução do tratamento ou modelo de desbaste 2 com a localização das trilhas de operação e a faixa de “centro de campo” são mostradas na Figura 4.





**Figura 4.** Esquema do tratamento 2.

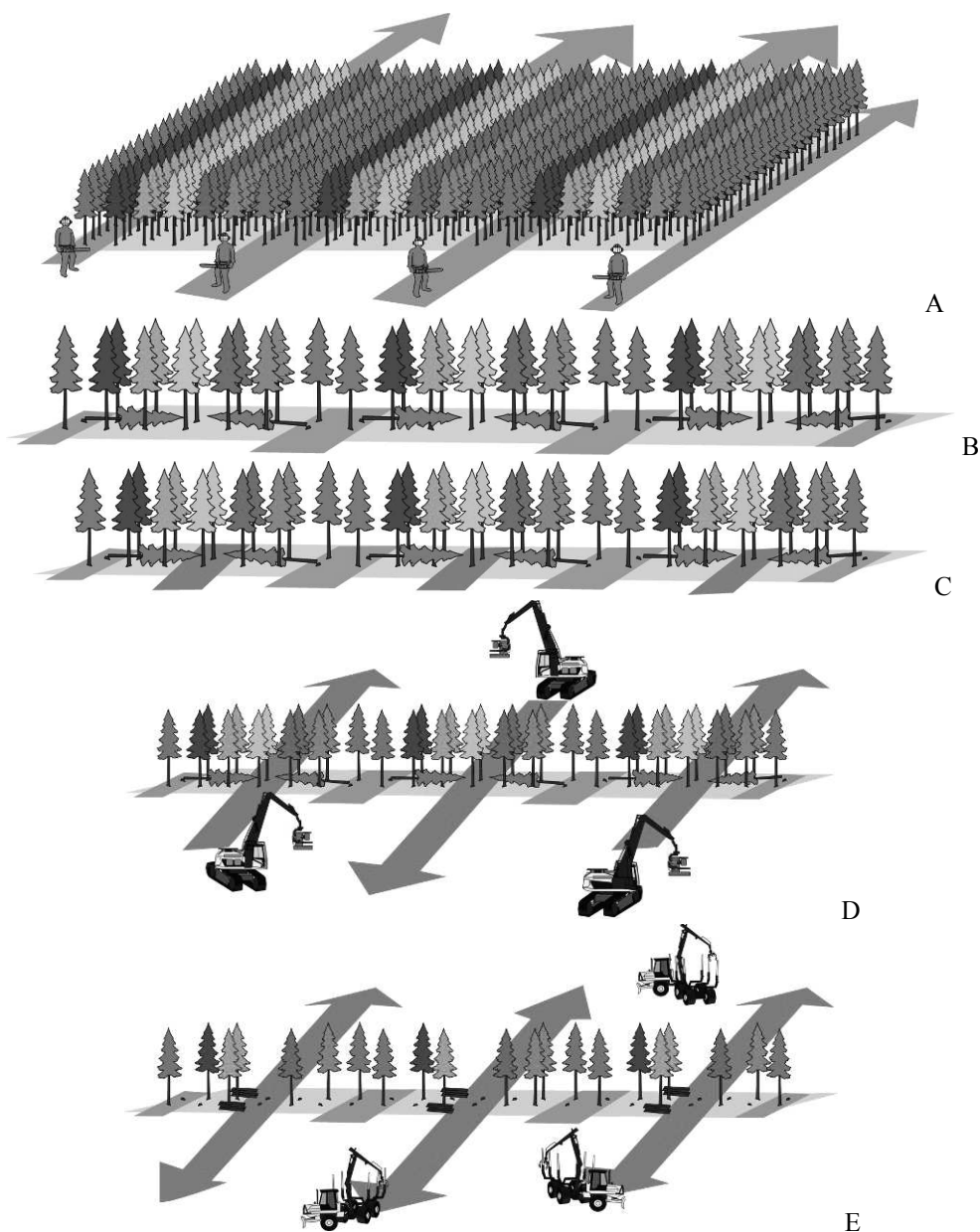
Em que: (A) modelo de desbaste 2, (B) desbaste seletivo no “centro de campo”; (C) desbaste sistemático da 7ª linha; e (D) desbaste seletivo nas duas linhas de alcance do *harvester*.

O tratamento e modelo de desbaste 2 (remoção da 7ª linha) foi executado pelo sistema de colheita misto, envolvendo o uso da motosserra, *harvester* e *forwarder*. Inicialmente, as árvores localizadas na faixa central denominada “centro de campo”, foram derrubadas seletivamente com uso de uma motosserra, ficando as árvores derrubadas dispostas dentro da faixa de alcance do *harvester*, de modo que posteriormente pudessem ser processadas.

Em seguida, o *harvester* executou o desbaste sistemático por meio da derrubada e processamento das árvores da 7ª linha, formando as pilhas de toras nas trilhas de operação, e simultaneamente, realizou o desbaste seletivo de duas linhas de ambos os lados deste corredor conforme o alcance de sua grua, bem como das árvores derrubadas anteriormente pela motosserra, realizando então, o processamento e empilhamento da madeira ao lado das trilhas

de operação.

O *forwarder* realizou a extração da madeira no interior do povoamento, empilhando-as na margem da estrada principal, sendo o carregamento realizado por apenas um lado da máquina. Na Figura 5 é apresentado o esquema da operação com motosserra, *harvester* e *forwarder* na execução do tratamento 2.



**Figura 5.** Esquema de operacionalização do tratamento 2 pelo subsistema de colheita de madeira misto.

Em que: (A) desbaste seletivo no “centro de campo” com uso da motosserra; (B) derrubada direcionada das árvores do “centro de campo”; (C) disposição das árvores derrubadas no “centro de campo” até o alcance do *harvester*; (D) *harvester* executando o corte florestal e (E) *forwarder* executando a extração florestal.



#### 4.4.4. Características dos produtos dos desbastes

É política da empresa realizar os desbastes dos plantios visando obter a máxima quantidade de madeira para uso nos processos industriais (serraria e laminação). Por isso, a idade e o crescimento da floresta são fatores muito importantes que permitem atingir este objetivo.

No momento do desbaste, o *harvester* realizava o corte e processamento das árvores, classificando-as em três sortimentos para a produção de madeira para energia e os processos industriais. Em seguida, o *forwarder* realizava a extração das toras do interior do povoamento para a margem das estradas separadamente para cada tipo de produto.

As características dos produtos gerados pelo desbaste são mostradas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Características dos sortimentos de toras obtidas nas operações de desbaste.

Tipo de processamento	Destino das toras	Medidas obtidas			
		Comprimento (m)	Volume médio (m <sup>3</sup> )	Diâmetro dos topos de toras (cm)	
Energia	Energia	Picador de cavacos	3,10	0,03	3,5 a 20,4
Sortimento	Processos industriais	Serraria e laminação	2,71	0,11	20,5 a 35,5
			3,62		

#### 4.5. Instalação da área experimental

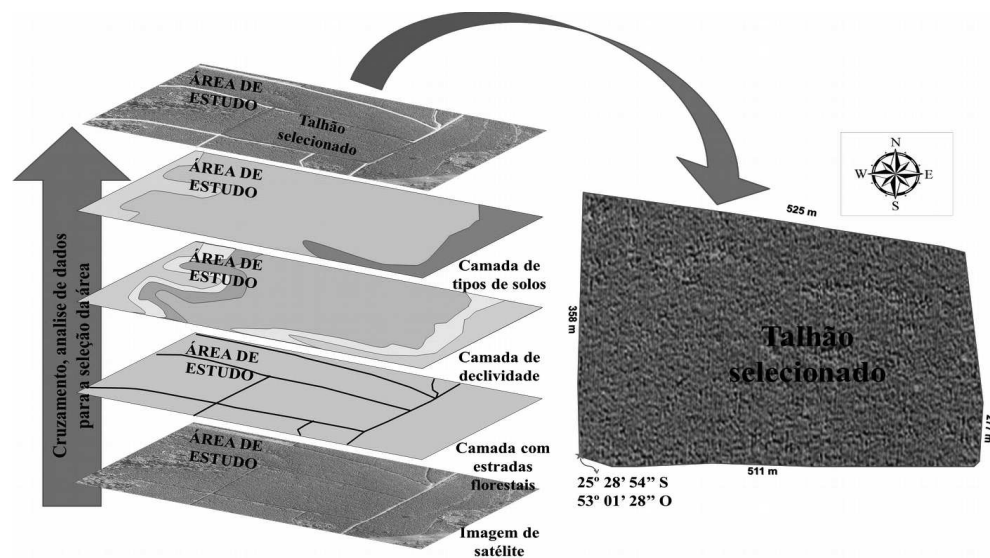
A área de estudo foi selecionada em uma fazenda florestal onde a empresa havia planejado realizar o primeiro desbaste. A área experimental foi determinada por um talhão que apresentava condições de homogeneidade, permitindo a aplicação dos dois tratamentos de desbastes.

Os critérios para a seleção da área de estudo foi baseada nas seguintes análises:

##### 4.5.1. Análise de homogeneidade da área em relação ao solo e relevo

Esta análise baseou-se no cruzamento de distintas camadas de dados específicos da área de estudo, com o auxílio de ferramentas de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), por meio da do software livre Quantum GIS.

A Figura 6 mostra o esquema que envolveu as atividades desta análise.



**Figura 6.** Esquema de cruzamento e análise de dados para a seleção da área.

A área escolhida para a aplicação dos tratamentos foi um talhão localizado numa superfície com as mesmas condições de solos e declividade (Anexo 1. Mapa A e B).

#### **4.5.2. Análise de homogeneidade da floresta e os padrões para a aplicação dos tratamentos de desbaste**

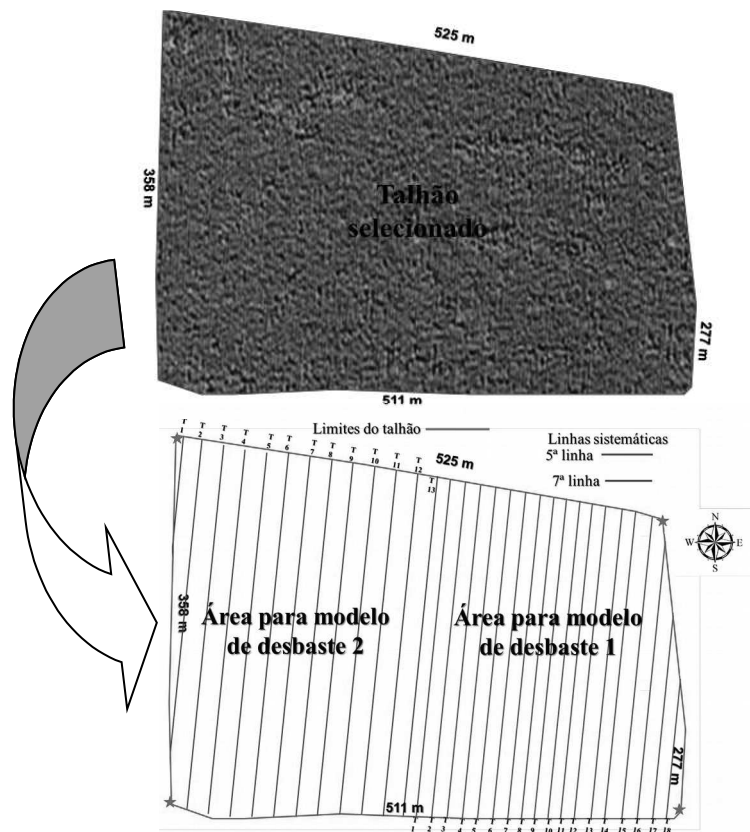
Após a seleção do talhão, segundo a homogeneidade de solos e relevo foram avaliadas as características da floresta mediante a realização de um inventário, procurando atingir as seguintes finalidades:

- Verificar se todo o talhão estava dentro de um mesmo sítio;
- Obter as características dendrométricas do povoamento;
- Definir a alocação física dos tratamentos dentro do talhão selecionado;
- Marcar as árvores para realização dos desbastes; e
- Definir a mesma intensidade de desbaste para ambos os tratamentos.

#### **4.5.3. Processo do inventário florestal**

O inventário florestal iniciou-se com a identificação e marcação das linhas a serem retiradas no desbaste sistemático, determinando ainda identificar os limites das áreas para a aplicação dos tratamentos. Os resultados da marcação das linhas a serem retiradas sistematicamente com a indicação do centro das distintas trilhas de operação das máquinas,

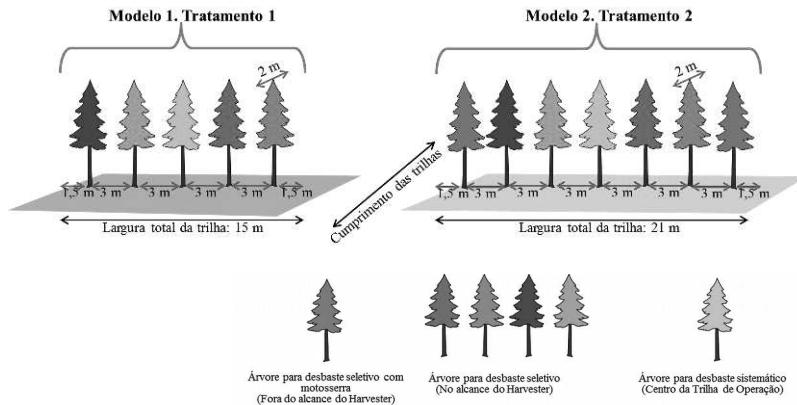
alinhamento do plantio e alocação das áreas dos tratamentos de desbaste são apresentados na Figura 7.



**Figura 7.** Resultado da marcação das linhas para eliminação sistemática.

Em seguida, a área de estudo foi subdividida em duas áreas iguais, sendo feito a delimitação de forma ponderada considerando a superfície de ocupação de uma trilha de operação e sua faixa de trabalho para cada tratamento, considerando a largura e o comprimento.

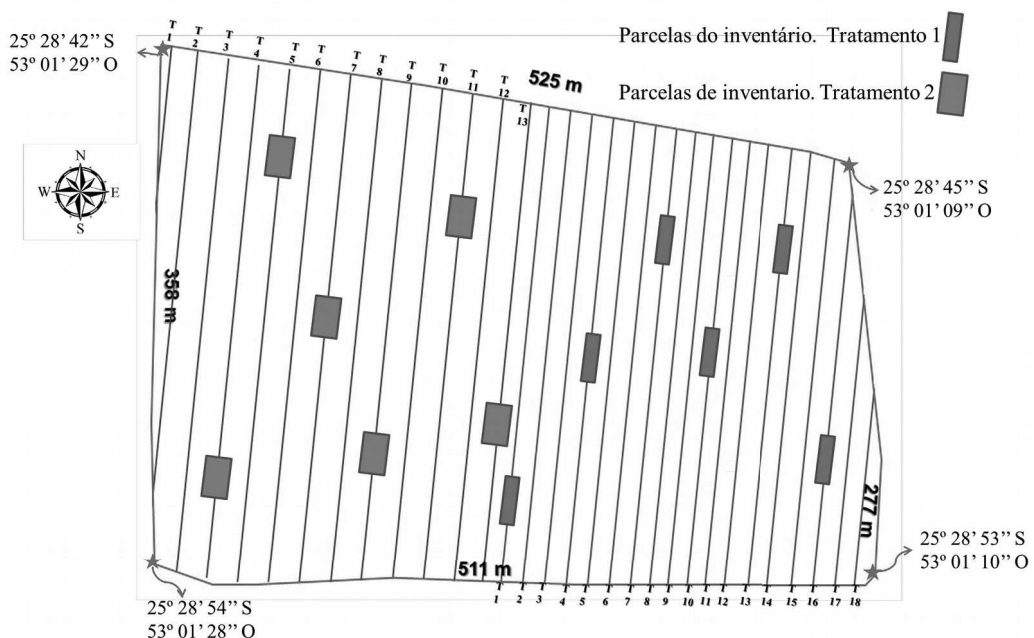
Na Figura 8 são representadas as principais medidas da trilha de operação e faixa de trabalho das máquinas em cada tratamento ou modelo de desbaste, consideradas para a divisão do talhão em superfícies equivalentes.



**Figura 8.** Principais medidas das trilhas de operação e faixas de trabalho das máquinas nos tratamentos ou modelos de desbastes.

Segundo o esquema anterior, a trilha de operação e a faixa de trabalho no tratamento e modelo de desbaste 1, com uma largura de 15 m, abrangeu por cada metro de comprimento, 15 m<sup>2</sup> de plantio, enquanto no tratamento 2, a trilha de operação com a faixa de trabalho de largura igual a 21 m, abrangeu 21 m<sup>2</sup> de plantio por cada metro de comprimento.

Em ambas as subáreas foram instaladas seis parcelas amostrais (Figura 9) com centro nas linhas marcadas para sua eliminação no desbaste sistemático, sendo a distribuição destas parcelas realizada de forma casualizada.



**Figura 9.** Distribuição das parcelas amostrais na área de estudo.

As parcelas amostrais em ambos os tratamentos tinham que apresentar a mesma área, devido ao fato da largura das trilhas de operação ser variável. O tamanho igual das parcelas em ambos os tratamentos teve por objetivo permitir que as parcelas pudessem ser remedidas periodicamente, inclusive após a aplicação do 2º e 3º desbastes, mantendo um número satisfatório de árvores. As dimensões e quantidade das parcelas também procuraram atingir a superfície mínima amostral para o inventário florestal.

As dimensões das parcelas de amostragem são apresentadas na Tabela 5.

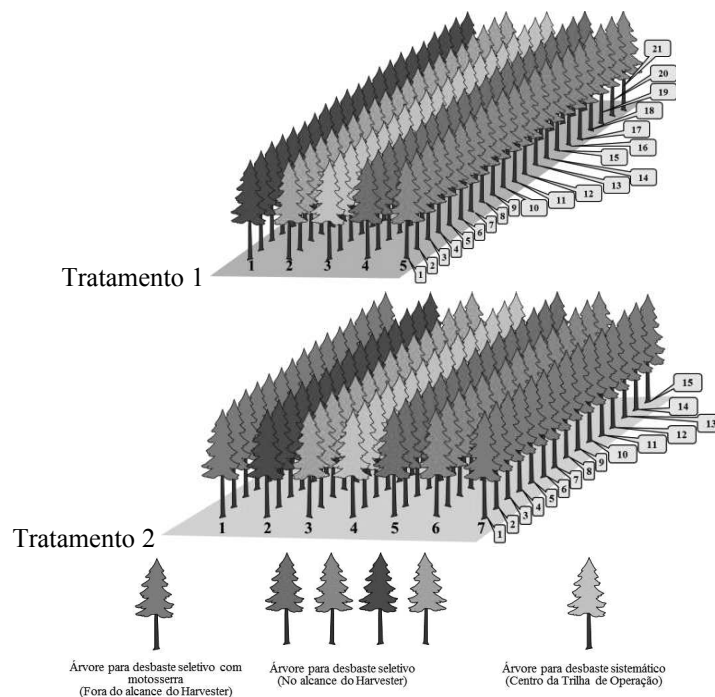
**Tabela 5.** Características das unidades amostrais empregadas no inventário florestal.

Tratamento	Largura (m)	Comprimento (m)	Área da parcela (m <sup>2</sup> )	Quantidade de árvores presentes
1	15	42	630	105
2	21	30	630	105

As características das unidades amostrais utilizadas no inventário florestal foram selecionadas para incluir todas as variações da floresta em ambos os tratamentos ou modelos de desbaste (trilha de operação, linhas de desbaste seletivo e linhas do centro de campo). As dimensões, as características e a alocação das unidades amostrais ou parcelas do inventário florestal tinham que permitir ainda a obtenção de dados para outras avaliações, como os danos ao povoamento remanescente.

Na Figura 10 são apresentadas as características combinadas com as dimensões das unidades amostrais do inventário florestal, atendendo às considerações anteriores.





**Figura 10.** Características das unidades amostrais ou parcelas de inventário florestal empregadas nos tratamentos ou modelos de desbaste.

#### 4.5.3.1. Obtenção de dados dendrométricos

Nas parcelas amostrais foram então identificadas e marcadas as árvores que estariam sendo desbastadas, além da medição do DAP e a altura total de algumas árvores, de modo a obter uma relação hipsométrica e determinar as demais alturas das árvores da parcela.

Neste processo, o modelo com o melhor  $R^2$  ajustado, foi à expressão:

$$h = B_0 + B_1(DAP) + B_2(DAP^2) \quad (1)$$

Em que,  $h$ : altura total (m);  $B_0$ ,  $B_1$  e  $B_2$ : variáveis dependentes e;  $DAP$ : diâmetro a altura de peito.

Além disso, algumas árvores foram derrubadas dentro das classes de diâmetros determinadas pela amplitude dos valores da amostra. Nestas árvores foram realizadas as medições dos diâmetros e determinada a percentagem de altura total para a execução de cubagem.

Para a estimativa do volume das árvores foi ajustado o modelo de Schumaker – Hall, representada pela seguinte expressão:

$$\log(V) = B_0 + B_1(\log D) + B_2(\log H) \quad (2)$$

Em que,  $\log(V)$ : *logaritmo do volume*;  $B_0$ ,  $B_1$  e  $B_2$ : *variáveis dependentes*;  $D$ : *diâmetro das árvores* e,  $H$ : *altura das árvores*.

As árvores discriminadas nas planilhas de inventário florestal que foram marcadas para o desbaste, permitiram a determinação da área basal ( $m^2$ ) para desbaste e remanescente e, como consequência, a intensidade de desbaste (%).

Segundo as médias de diâmetro (DAP) das árvores remanescentes e das árvores para desbaste em ambos os tratamentos, foi determinada a relação de desbaste (RD) sugerida por Mederski (2006) e Lageson (1997), em trabalhos similares para a observação da uniformidade da operação em dois povoamentos e como fator que influencia na operação das máquinas de colheita de madeira.

Os resultados preliminares obtidos na avaliação da uniformidade das características da área de estudo em relação ao terreno, floresta e paridade da aplicação do desbaste são apresentados no Anexo 2.

#### **4.6. Coleta de dados**

##### **4.6.1. Análise técnica da operação das máquinas de colheita de madeira**

A análise técnica das máquinas da colheita de madeira na execução dos desbastes em ambos os tratamentos foi realizada com base em um estudo de tempos e movimentos, obtendo-se a duração dos elementos do ciclo operacional. Para tal, foi empregado o método de “cronometragem de tempo contínuo”, caracterizado pela obtenção dos tempos sem a detenção do cronômetro, ou seja, de forma contínua.

A leitura dos tempos foi realizada no ponto de medição referente às atividades parciais recém-concluídas. Foi utilizado um cronômetro centesimal, prancheta e formulários de campo específicos desenvolvidos para esta finalidade.

Os ciclos operacionais das máquinas estudadas foram subdivididos em elementos parciais, conforme apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6.** Elementos do ciclo operacional das máquinas estudadas.

Máquina	Elementos do ciclo operacional	Descrição
<i>Harvester</i>	Busca e corte BC	Tempo compreendido pela movimentação do braço e o cabeçote da máquina na procura de uma árvore, iniciando no momento da abertura das garras do cabeçote e finalizando com a separação da árvore do toco com a ativação do sabre.
	Processamento PR	Tempo compreendido pela separação da árvore do toco pelo acionamento do sabre e finalizando com o desganhamento, traçamento, destopamento e empilhamento da madeira.
	Deslocamento da máquina DM	Tempo compreendido pelo movimento da máquina, caracterizado pelo acionamento da esteira e finalizando com a sua detenção interrompendo o movimento da máquina.
	Interrupções IT	Tempo em que a máquina não estava realizando as atividades anteriores.
<i>Motosserra</i>	Deslocamento do operador DES	Tempo compreendido pelo deslocamento do operador entre árvores a serem derrubadas.
	Derrubada da árvore DER	Tempo compreendido pela execução dos cortes na árvore (direção e derrubada), finalizando com a queda da árvore.
	Queda da árvore TOM	Tempo adicional para a queda da árvore.
	Interrupções IT	Tempo compreendido em que a máquina não estava realizando as atividades anteriores.
<i>Forwarder</i>	Viagem vazio VV	Tempo compreendido pelo deslocamento da máquina da margem do talhão até a primeira pilha de toras a ser carregada no interior do talhão.
	Carregamento CR	Tempo compreendido pela movimentação da grua para realizar o carregamento das toras e finalizando com o posicionamento da grua sobre a caixa de carga da máquina carregada.
	Viagem carregado VC	Tempo compreendido com o posicionamento da grua sobre a caixa de carga e finalizando com o posicionamento da máquina próximo à pilha de toras na margem do talhão.
	Descarregamento DC	Tempo compreendido pela movimentação da grua para realização do descarregamento das toras e finalizando com o posicionamento da grua sobre a caixa de carga da máquina vazia, incluindo também as manobras necessárias para início do próximo ciclo.
	Interrupções IT	Tempo compreendido em que a máquina não estava realizando as atividades anteriores.

Foi realizado um estudo de tempos e movimentos piloto para cada máquina na execução das operações de colheita de madeira, buscando-se definir o número mínimo de observações necessárias, de modo a proporcionar um erro de amostragem máximo de 5 %, com uso da seguinte expressão proposta por Barnes (1977).

$$n \geq \frac{t^2 \cdot CV^2}{E^2} \quad (3)$$

Em que,  $n$ : número mínimo de ciclos necessários;  $t$ : valor de  $t$ , para o nível de probabilidade desejado em  $(n-1)$  graus de liberdade;  $CV$ : coeficiente de variação, em porcentagem  $e$ ;  $E$ : erro admissível de 5 %.

Durante a realização do estudo piloto em ambos os tratamentos de desbastes, identificou-se distintos tipos de árvores, classificadas segundo a situação da sua localização na trilha de operação, bem como em relação ao tipo de processamento. A importância desta classificação derivou das diferentes durações dos ciclos operacionais das máquinas para execução das operações em cada tipo de árvore.

A Tabela 7 apresenta a descrição desta classificação e o código empregado para seu reconhecimento.

**Tabela 7:** Tipos de árvores trabalhadas no corte florestal em cada tratamento de desbaste, classificadas de acordo a sua localização, meio e tipo de derrubada e processamento.

Tratamento	Código da árvore	Localização em cada tipo de linha	Descrição Derrubada	Tipo de Processamento aplicado pelo <i>harvester</i>
1	e	Linhas ao alcance do trator	<i>Harvester</i>	Para energia.
	s	Linhas ao alcance do trator	<i>Harvester</i>	Com sortimento.
	sy	Linhas ao alcance do trator	<i>Harvester</i>	Bifurcada. Com sortimento.
2	s 0	Linhas ao alcance do trator	<i>Harvester</i>	Com sortimento.
	s 1	Linhas do centro de campo	Árvore derrubada com motosserra (no chão)	Com sortimento
	s 2	Linhas do centro de campo	Árvore encostada ou semi-derrubada com motosserra	Com sortimento
	e 0	Linhas ao alcance do trator	<i>Harvester</i>	Para energia.
	e 1	Linhas do centro de campo	Árvore derrubada com motosserra (no chão)	Para energia.
	e 2	Linhas do centro de campo	Árvore encostada ou semi-derrubada com motosserra	Para energia.
	sy 0	Linhas ao alcance do trator	<i>Harvester</i>	Bifurcada. Com sortimento.
	sy 1	Linhas do centro de campo	Árvore derrubada com motosserra (no chão)	Bifurcada. Com sortimento.
	sy 2	Linhas do centro de campo	Árvore encostada ou semi-derrubada com motosserra	Bifurcada. Com sortimento.

A análise dos ciclos operacionais das máquinas e os elementos em cada tratamento de desbaste originaram a determinação dos seguintes parâmetros técnicos da operação.

#### **4.6.1.1. Tempos médios de duração dos elementos dos ciclos operacionais**

A obtenção dos tempos médios de cada elemento dos ciclos operacionais das máquinas foi realizado com a finalidade de gerar medidas de comparação dos tratamentos e sua influência na proposta de desbaste aplicado como tratamento 2.

#### **4.6.1.2. Eficiência Operacional (Eo)**

A eficiência operacional foi determinada de acordo com a proposta de Lopes (2007) e BOLFOR (1997), que definiram como sendo a percentagem do tempo efetivamente trabalhado em relação ao tempo total programado para o trabalho pela expressão:

$$Eo = \frac{Te}{(Te + Ti)} \cdot 100 \quad (5)$$

Em que, *Eo*: eficiência operacional (%); *Te*: tempo de trabalho efetivo (horas); e *Ti*: tempo de interrupções (horas).

#### **4.6.1.3. Produtividade (Pr)**

A produtividade das máquinas foi obtida por meio do volume médio das árvores distribuídas em classes volumétricas, que possibilitou também caracterizar o tipo de processamento realizado (sortimento ou energia), sendo os dados obtidos a partir do inventário florestal.

O volume médio foi obtido multiplicando o número de árvores cortadas por tipo de processamento e extração, pela quantidade de toras extraídas em cada ciclo operacional, sendo então divididas pelas horas efetivamente trabalhadas, conforme a expressão:

$$Pr = \frac{Na \cdot Va}{he} \cdot 100 \quad (6)$$

Em que, *Pr*: produtividade da máquina ( $m^3 \cdot h^{-1}$ ); *Na*: número de árvores cortadas e extraídas em cada ciclo operacional; *Va*: volume médio individual das árvores ( $m^3$ ); e *he*: horas efetivas de trabalho (horas).

## **4.6.2. Análise de custos das máquinas**

### **4.6.2.1. Custo operacional**

O cálculo do custo operacional foi realizado pelo método contábil, utilizando-se valores estimados e reais. Os custos fixos (depreciação, juros e seguros) foram estimados pela metodologia proposta pela FAO/ECE/KWF (1971), por meio de informações obtidas no mercado e na empresa. Para os custos variáveis (combustíveis, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, pneus, manutenção e reparos e transporte de pessoal) e de mão de obra (salário e encargos sociais), foram utilizados os dados fornecidos pela empresa e dados obtidos no campo durante a coleta de dados.

### **4.6.2.2. Custo de produção**

O cálculo do custo de produção foi feito pela divisão dos custos operacionais ( $\text{R}\$h^{-1}$ ) e a produtividade ( $\text{m}^3 \cdot h^{-1}$ ) de cada máquina em cada tratamento de desbaste.

### **4.6.3. Rendimento energético**

O Rendimento Energético foi calculado pela divisão do consumo específico de combustível ( $\text{gkW}^{-1} \cdot h^{-1}$ ) e a produtividade ( $\text{m}^3 \cdot h^{-1}$ ) de cada máquina avaliada, obtido em  $\text{gkW}^{-1} \cdot \text{m}^3$ .

### **4.6.4. Qualidade das operações de desbaste**





Para avaliação dos parâmetros de qualidade das operações de desbaste em ambos os tratamentos, foram verificados os danos causados pelas máquinas de colheita de madeira nas árvores remanescentes do povoamento. A avaliação dos danos foi realizada com base em um inventário de danos, onde foram coletados dados da quantidade, intensidade e parte das árvores que tiveram ferimentos, bem como a localização das árvores afetadas no talhão e a operações responsáveis pelos danos.

#### **4.6.4.1. Amostragem de danos**

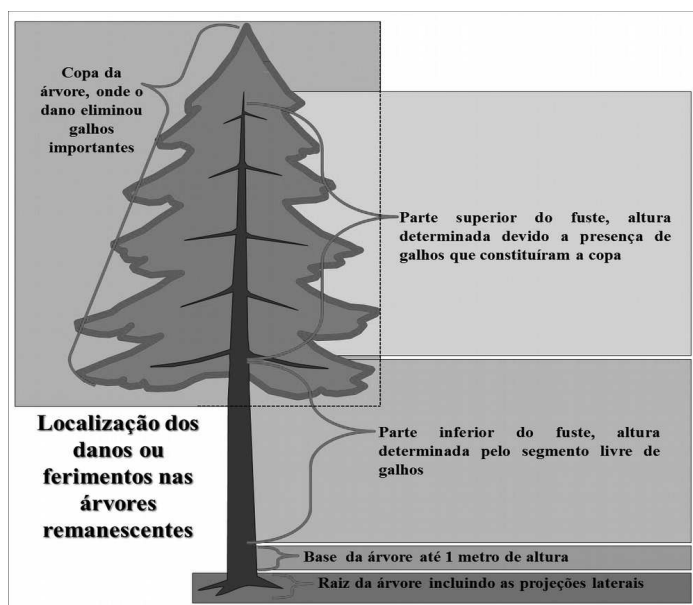
A amostragem de danos foi obtida nas mesmas parcelas estabelecidas no inventário florestal no início do trabalho. Após o corte e a extração da madeira, foram levantados dados

mediante planilhas tipo “*check list*” (Tabela 8), obtendo as árvores atingidas, as quantidades, tamanhos e intensidades de danos nas árvores remanescentes.

**Tabela 8.** “*Check list*” utilizado na avaliação de danos nas árvores remanescentes.

Tratamento ou modelo de desbaste:.....														
Parcela N°:.....														
N°	Localização do dano			Dimensões		Classificação dano								
	Base (*)	Fuste (*)	Copa (*)	Diâmetro (cm)	Profundidade (cm)									
														

Para a localização dos danos, foram consideradas as partes das árvores atingidas segundo a figura 11.



**Figura 11.** Parte das árvores consideradas no levantamento dos danos.

As dimensões das feridas foram medidas para o cálculo da superfície, sendo ainda classificada a intensidade dos danos pelos seguintes critérios:

- Ferimento leve: quando a casca externa foi retirada não havendo exposição dos tecidos internos.

- Ferimento moderado: quando houve a retirada da casca externa com exposição da casca interna.
- Ferimento intenso: quando houve a retirada e danos aos tecidos externos da casca e do câmbio com a exposição da madeira.

A localização dos danos em relação à trilha de operação foi determinada pela divisão do tronco em quatro quadrantes, onde foram marcadas as feridas com o intuito de definir a referência, segundo a posição de trabalho das máquinas. Foi ainda indicada a colocação das árvores danificadas em relação ao tratamento de desbaste e a máquina por esta lesão.

Na elaboração e estruturação dos procedimentos de amostragem de danos, foram consideradas alguns aspectos da metodologia empregada por Lineros *et al.* (2003).

#### **4.7 Análises dos dados**

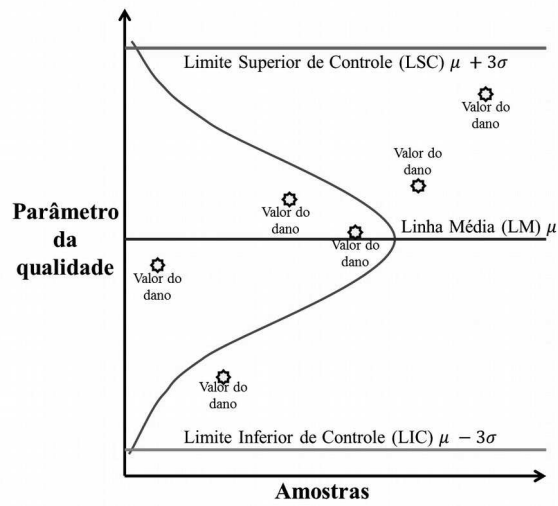
As médias das alturas dominantes obtidas no inventário florestal, as médias de duração dos principais elementos dos ciclos operacionais das máquinas em ambos os tratamentos de desbaste foram comparadas pelo teste “t”, para amostras independentes, ao nível de 5 % de probabilidade de erro, com base nos resultados de um teste de “F”, para homogeneidade das variâncias. Para a análise da distribuição dos dados foi empregado o teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov ( $\alpha = 5\%$ ), mediante o software ASSISTAT.

Os dados referentes aos danos nas árvores foram avaliados com estatística descritiva, agrupando os dados em frequências e realizando uma análise de controle estatístico de processo (CEP), proposto por Trindade (2007).

Foi empregado o método baseado na construção de gráficos de controle estatístico dos processos, que consiste em traçar os valores de danos em um gráfico que apresenta as amostras e seus valores. No gráfico é marcada uma linha central (linha média) e um par de limites de controle que se localizam um abaixo e outro acima da linha média (média + - 3 desvios). Se os valores resultantes estiveram localizados dentro destes limites de qualidade, o processo foi considerado sob controle estatístico.

Na Figura 12 são mostrados os princípios da construção e análise dos gráficos de controle.





**Figura 12.** Princípio da construção dos gráficos de controle estatístico dos processos (Adaptado de Trindade, 2007).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise técnica da operação de desbaste

#### 5.1.1. Número mínimo de unidades de amostras requeridas

O número mínimo de ciclos operacionais a serem cronometrados para as máquinas de colheita de madeira em ambos os tratamentos em função da duração total de cada ciclo operacional é apresentado com os parâmetros estatísticos básicos determinados no cálculo na Tabela 9.

**Tabela 9.** Parâmetros estatísticos do estudo piloto para cálculo da quantidade mínima de amostras de ciclos operacionais nos dois tratamentos de desbaste.

Parâmetros estatísticos	Tratamentos de desbaste			
	1	2	1	2
	<i>Harvester</i>		<i>Forwarder</i>	
Duração média do ciclo operacional (s)	23,2	24,8	842,6	943,4
Mediana (s)	22,0	23,0	821,0	939,0
Moda (s)	21,0	17,0	609,0	939,0
Valores mínimos das unidades de amostras (s)	6,0	6,0	16,0	160,0
Valores máximos das unidades de amostras (s)	85,0	99,0	1.904,0	1.789,0
Número de total de ciclos cronometrados	4.896	3.930	303	345
Desvio padrão das amostras (S)	8,9	10,4	370,8	417,7
Variâncias das amostras (S <sup>2</sup> )	78,0	109,0	136,6	174,6
Coefficiente de variação em percentagem (CV %)	38,1	42,1	44,01	44,3
Erro admissível	1,2	1,2	42,1	47,2
Número Mínimo de observações (n <sub>ideal</sub> )	223	272	296	301

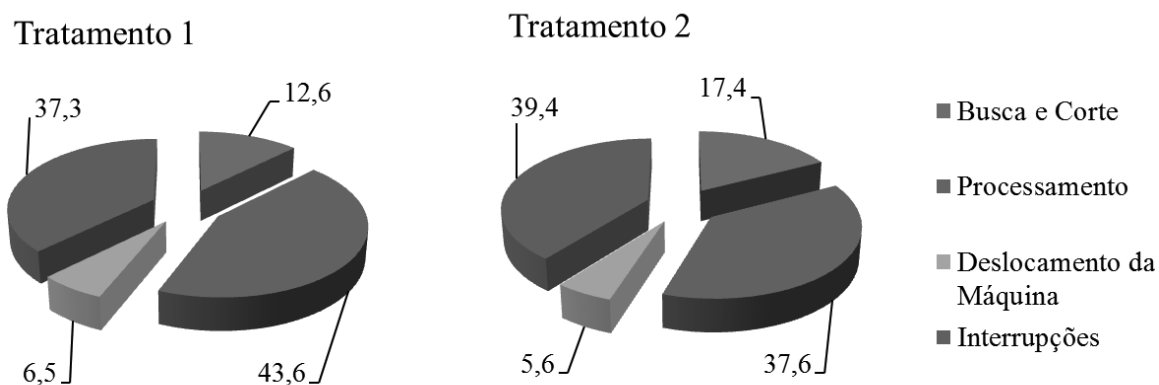
(s): segundos.

Como pode ser observada, a quantidade mínima de ciclos operacionais que necessitavam ser cronometrados nas máquinas em ambos os tratamentos de desbastes estudados, foram atingidos ao nível de 5 % de probabilidade de erro de amostragem admissível.

#### 5.1.2. Análise do ciclo operacional das máquinas na execução do desbaste

##### 5.1.2.1. Ciclo operacional do trator florestal *harvester*

Na Figura 13 é apresentada a distribuição percentual do tempo consumido pelo *harvester* na execução da derrubada e processamento das árvores em ambos os tratamentos.



**Figura 13.** Distribuição percentual dos elementos do ciclo operacional do trator florestal *harvester* na execução do corte dos tratamentos de desbastes.

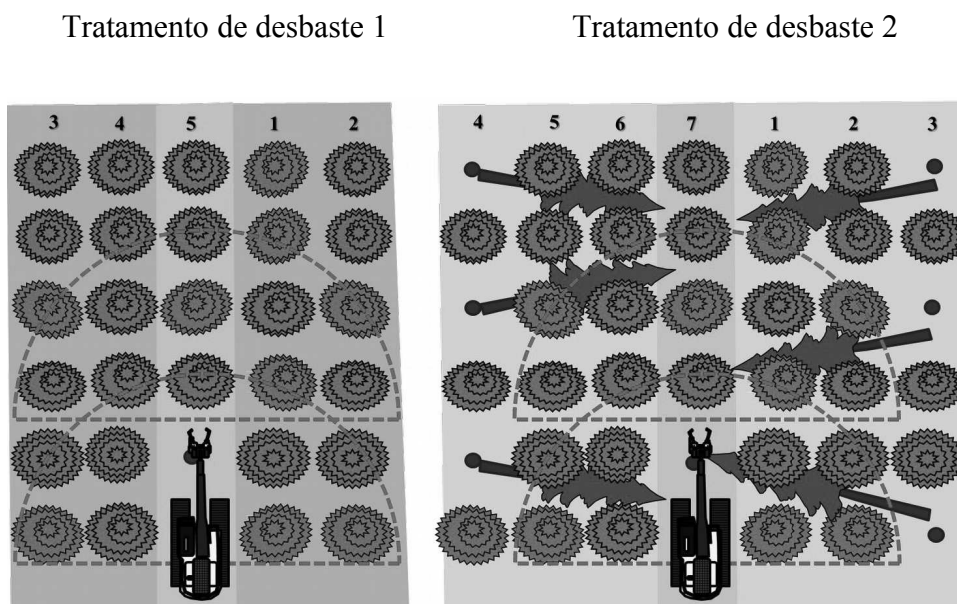
Como pode ser visto, sem considerar o tempo de interrupções operacionais e não operacionais, o processamento das árvores consumiu o maior tempo do ciclo operacional nos tratamentos 1 e 2 de desbaste, com 43,6 e 37,6 %, respectivamente.

O elevado tempo de interrupções ocorridas na execução do tratamento 2 pode ser explicado pelo maior tempo requerido pelo trator devido às características deste tratamento ou modelo de desbaste. Assim, a máquina precisava de maior esforço e tempo para apanhar as árvores, bem como trabalhava com um maior número de árvores em uma mesma posição, gerando maior quantidade de toras que deveriam ser empilhadas e organizadas, bem como, maior quantidade de galhos causando maiores demoras ou interrupções operacionais.

Outro fator importante na comparação da distribuição percentual do ciclo operacional do *harvester* é o tempo de deslocamento da máquina (DM). Como pode ser visto, este elemento não sofreu muita diferença entre os tratamentos de desbaste. Entretanto, é importante ressaltar que, com a proposta do tratamento de desbaste 2, é possível verificar que, mesmo com um mesmo tempo de deslocamento, a máquina teve a possibilidade de executar o desbaste em uma maior superfície do talhão e apanhar um maior número de árvores na mesma posição, ou seja, possibilitando trabalhar com um maior número de árvores por cada unidade de distância, de área e tempo de deslocamento.

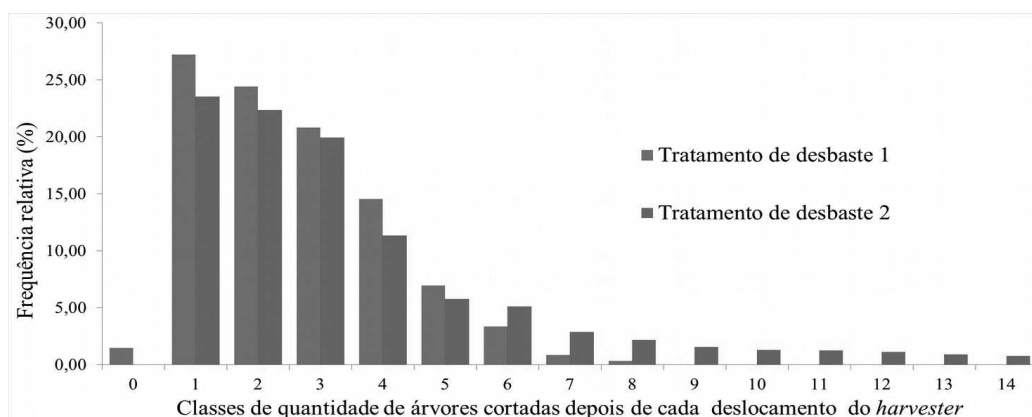
No tratamento de desbaste 1, o *harvester* efetuou o corte de 15 m<sup>2</sup> de área por cada metro de deslocamento, enquanto no tratamento 2 foi de 21 m<sup>2</sup> de área, ao deslocar-se em um metro durante a operação, representando uma cobertura adicional de desbaste de 28,5 % para o tratamento 2 de desbaste.

Na Figura 14 é possível reconhecer as características operacionais em ambos os tratamentos de desbaste, possibilitando observar a mesma movimentação da máquina que ocasionaram a diferença encontrada em relação ao elemento DM.



**Figura 14.** Modelo teórico da disponibilidade de árvores para o *harvester* de acordo ao DM, em cada um dos tratamentos de desbaste.

Para avaliar o efeito das mudanças operacionais oferecidas no tratamento de desbaste 2 em relação à proporção de tempo consumido pelo *harvester* com deslocamento, é apresentada na Figura 15, uma análise comparativa da distribuição das frequências relativas (%), referente às quantidades de árvores cortadas ao final de todos os deslocamentos da máquina divididas em classes de quantidades de árvores cortadas.



**Figura 15.** Distribuição das frequências relativas (%) em relação à quantidade de árvores cortadas ao final de todos os DM, nos dois tratamentos de desbaste.

Como pode ser observado, a comparação permitiu reconhecer que na classe zero, o tratamento de desbaste 1 apresentou valores de frequência, indicando que a máquina teve deslocamentos em função de não haver árvores disponíveis para o corte e processamento. Já no tratamento 2, isso não ocorreu, pois em todas as posições da máquina, após cada deslocamento, a máquina tinha possibilidade de encontrar alguma árvore para efetuar o corte, além de não apresentar valores na classe zero.

A grande concentração de árvores nas classes de 1 a 8 mostrou que, a maioria dos deslocamentos da máquina permitiu ao *harvester* colher de 1 a 8 árvores na mesma posição. Já o tratamento de desbaste 2 foi caracterizado pela extensão das classes de disponibilidade de árvores, indicando que neste tratamento ou modelo, o *harvester* teve a possibilidade de cortar e processar até 14 árvores na mesma posição. Portanto, neste tratamento foi possível otimizar o uso da máquina, ao acarretar uma menor movimentação e consumo de tempo da máquina devido aos constantes deslocamentos.

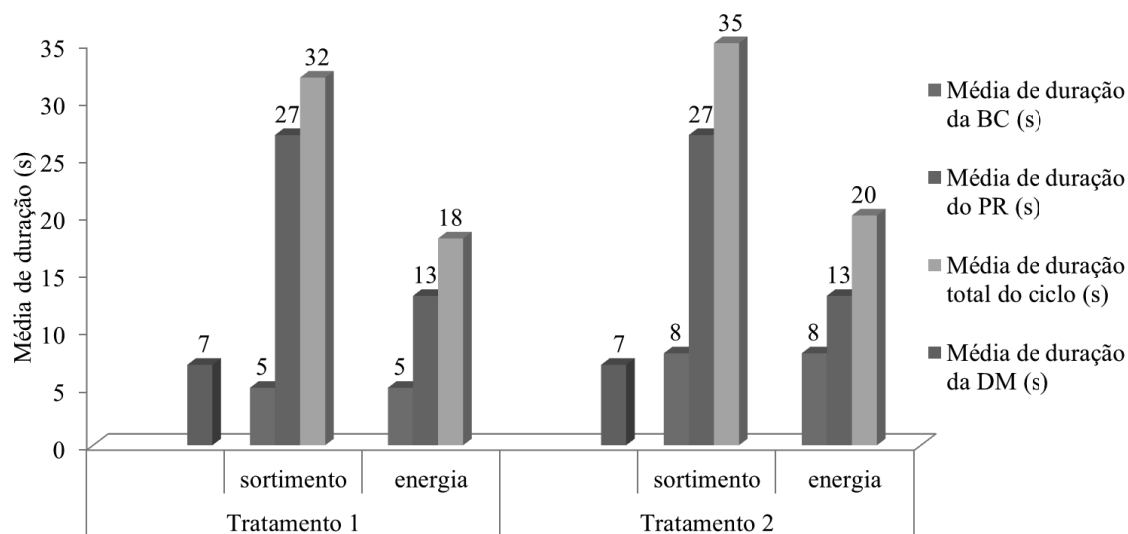
Em função das características de cada ciclo operacional do *harvester*, registrados no tratamento de desbaste 2, onde após todos os deslocamentos (DM), a máquina executou parcialmente a busca e corte (BC) e o processamento (PR) de 1 a 14 árvores, o cálculo e análise da média de duração deste elemento foi observado de forma separada em relação ao DM. É importante observar que, a mesma pode afetar as médias de duração dos ciclos operacionais que são integrados somente pela BC e o PR, além de serem também discriminados os deslocamentos por tipo de processamento.

O tempo médio de DM trabalhando nos dois tratamentos de desbaste apresentou um único valor de 7 s, indicando que as condições operacionais da máquina para apanhar as árvores não variaram, e conseqüentemente, o tempo médio de DM não foi influenciado pelos tratamentos ou modelos de desbaste.

De modo geral, o tempo percentual consumido na BC foi maior no tratamento 2, em função da complexidade da operação e devido à necessidade da máquina em procurar e apanhar as árvores derrubadas pela motosserra na área definida como “centro de campo”. Por outro lado, o tempo consumido no PR não foi afetado pelos tratamentos de desbaste.

Em atenção às considerações anteriores (discriminando o tipo de processamento aplicado às árvores nos dois tratamentos), os comportamentos das médias de duração dos principais elementos (BC e PR) e o tempo total do ciclo operacional do *harvester* são

apresentados na Figura 16.



**Figura 16.** Tempo médio e total dos principais elementos do ciclo operacional do *harvester* na execução dos tratamentos de desbastes.

É possível constatar que, a média de duração do elemento BC não apresentou diferenças significativas, considerando o destino da madeira (sortimento ou energia), pois isso não é afetado pelas características das árvores cortadas. Porém, em cada tratamento, o tempo de PR para cada destino da madeira é consequência da inversão requerida para manejar árvores de distintos tamanhos, traçar toras com diversos usos e colocá-las em distintas pilhas.

Comparando os tratamentos de desbaste, nota-se que a BC foi o elemento do ciclo operacional mais afetado pelo tratamento aplicado, causado pelo aumento da dificuldade na procura de árvores no tratamento 2, afetando, conseqüentemente, o tempo médio total da operação de corte desenvolvida nesse tratamento.

A fundamentação das questões anteriores foi comprovada mediante a comparação dos tempos médios dos elementos do ciclo operacional em cada tratamento de desbaste. As comparações a partir do teste “t” ao nível de 5 % de probabilidade de erro são apresentadas na Tabela 10.

**Tabela 10.** Tempo médio dos elementos do ciclo operacional do *harvester* na execução dos tratamentos de desbaste e resultados do teste “t” empregado para a comparação das médias.

Tipo de processamento	Elementos do ciclo operacional	Tempo médio (s)		Significância
		Tratamento de desbaste 1	Tratamento de desbaste 2	
---	DM	7,00	7,00	ns
	BC	5,43	7,72	*
	PR	26,57	27,04	ns
	Total	32,01	34,76	*
Sortimento	BC	5,08	7,92	*
	PR	12,99	12,53	ns
	Total	18,08	20,46	*

Em que: \* = significativo a uma probabilidade de erro inferior a 5 %; ns = não significativo.

Os resultados das análises estatísticas indicaram que o elemento BC foi aquele que apresentou maior influência na execução em ambos os tratamentos de desbaste, afetando o tempo total do ciclo operacional.

O fator de maior influência do elemento BC, principalmente no tratamento de desbaste 2, foi a derrubada com a motosserra, operação feita com baixa qualidade e onde os resultados geraram árvores de dois tipos: árvores totalmente sobre o terreno e árvores enganchadas nas árvores remanescentes do povoamento.

Segundo o tipo de árvore classificada para a BC (principalmente as disponibilizadas desde o centro de campo) e pelo tipo de processamento produzido pelos tratamentos ou modelos de desbaste, foram determinados os tempos médios requeridos pelo *harvester* para a realização dos elementos do ciclo operacional nos dois tratamentos de desbaste.

Na Tabela 11 é apresentado o comportamento desta variável em cada elemento e por tipo de árvore.

**Tabela 11.** Tempo médio dos elementos do ciclo operacional do *harvester* por tipo de árvore na execução dos tratamentos de desbaste.

Tratamento	Tipo de árvore	Média de duração da busca e corte (s)	Média de duração do processamento (s)	Média de duração total do ciclo (s)
1	e-0	5 ns	13 ns	18 ns
	s-0	5 ns	26 ns	31 ns
	sy-0	6 ns	39 *	45 *
2	e-0	5 ns	13 ns	18 ns
	s-0	5 ns	27 ns	32 ns
	sy-0	6 ns	30 *	36 *
	e-1	12	12	24
	e-2	22	11	33
	s-1	12	27	39
	s-2	24	26	50
	sy-1	16	30	46
	sy-2	25	31	56

Em que: \* = significativo a uma probabilidade de erro inferior a 5 %; ns = não significativo.

O comportamento dos valores do tempo de execução do elemento BC foi o de maior sensibilidade em relação aos tratamentos de desbaste. O desbaste no tratamento 1, ou seja, realizado sistematicamente na 5ª linha é uma prática normal nos plantios de *Pinus* spp, podendo os valores apresentados serem considerados como tempos padrões. Neste sentido, é possível notar ainda que, o comportamento do tempo médio requerido pelo *harvester* na execução da BC e PR e no tempo total do ciclo operacional apresentou um desempenho semelhante nas árvores colocadas nas linhas ao alcance do trator (árvores do tipo e-0 e s-0) em ambos os tratamentos.

Tal resultado é importante e mostrou que ao modificar o modelo de desbaste, por exemplo, com a execução do tratamento 2, não houve modificação nas condições de trabalho da máquina no corte destas árvores, sendo que as mudanças ocorreram totalmente devido à incorporação da motosserra no modelo de desbaste 2, onde foram criadas as árvores do tipo e-1, e-2, s-1, s-2, sy-1 e sy-2.

Os tempos do elemento BC referente às árvores processadas para energia e sortimentos não apresentaram diferença significativa, enquanto no PR, percebe-se uma diferença notável. No caso das árvores bifurcadas, o tempo de processamento foi muito superior em relação às árvores normais. Nas árvores bifurcadas destinadas para processos ou sortimentos, a operação do *harvester* não seguiu um padrão definido devido ao fato da máquina apanhar a árvore com o cabeçote, realizar o primeiro traçamento no ponto da

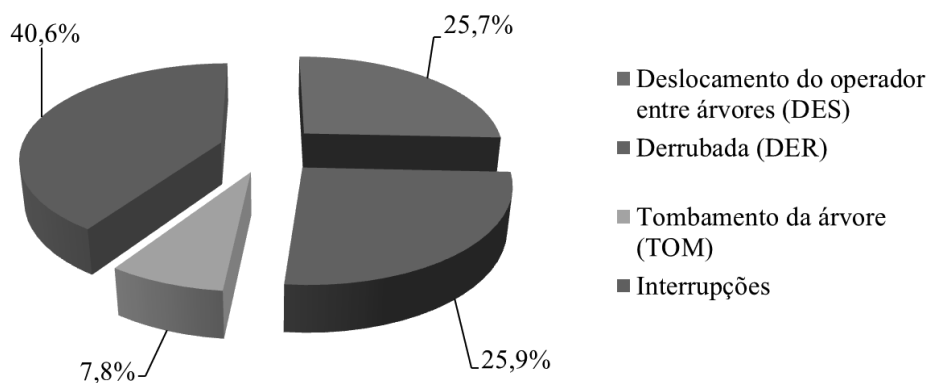


bifurcação, convertendo então a árvore em duas peças distintas. Com isso, uma das partes caía sobre o terreno, requerendo nova busca para o processamento e, conseqüentemente, maior tempo total para execução da operação.

É importante mencionar que, o aspecto mais relevante observado na operação do *harvester* no tratamento de desbaste 2 (árvores do tipo e-1, e-2, s-1, s-2, sy-1 e sy-2) foi o aumento dos tempos de BC, devido à maior dificuldade na procura das árvores de diferentes tipos. A disposição destas árvores ocorreu a partir da operação de derrubada com motosserra, pois em algumas vezes, as árvores foram derrubadas corretamente e ficaram totalmente dispostas sobre o terreno. Entretanto, ocorria também que muitas árvores ficavam enganchadas junto às outras árvores não selecionadas para o desbaste, acarretando em uma maior dificuldade na busca e corte destas árvores.

É importante ressaltar que, tal problema operacional ocorreu devido à baixa qualidade da operação de derrubada das árvores com motosserra, originada provavelmente pelos seguintes fatores: plantio apresentando pouco espaço para o desenvolvimento de uma derrubada direcionada; excessivo contato dos galhos das árvores vizinhas; operadores apresentavam uma menor habilidade na execução da operação com a máquina; e falta do uso de ferramentas como alavancas ou outros meios para fazer corretamente a derrubada das árvores.

Com referência à discussão anterior relacionadas à operação com a motosserra, é apresentada na Figura 17 a distribuição percentual dos tempos dos elementos do ciclo operacional da operação de derrubada com a citada máquina na faixa do “centro de campo” no tratamento de desbaste 2.



**Figura 17.** Distribuição percentual dos tempos dos elementos do ciclo operacional da operação de derrubada com motosserra no “centro de campo” no tratamento de desbaste 2.

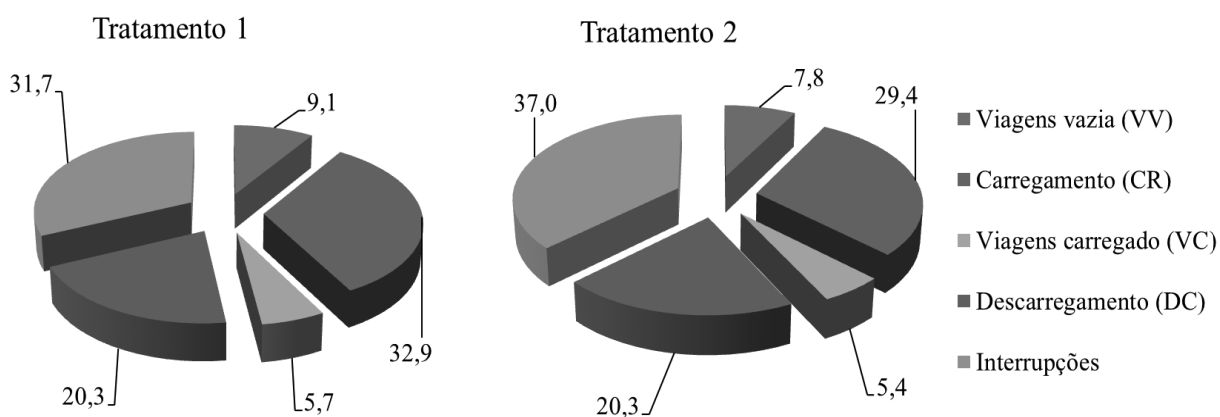
É possível verificar na Figura 18 que, a distribuição dos tempos nesta operação apresentou elevado tempo de interrupções, além de a operação ter ocorrido com baixo padrão de qualidade devido aos motivos informados anteriormente. O deslocamento (DES) entre árvores e o tombamento (TOM) das árvores realizadas pelo operador foram atividades consideradas corretas, mas isso não manteria como porcentagem de consumo de tempo, no caso que a operação se desenvolvesse corretamente (mediante a eliminação das árvores enganchadas e colocadas totalmente no chão com ajuda de ferramentas, equipamentos e técnicas acessórias).

Como questão indispensável da operação com motosserra no “centro de campo” formado no tratamento 2, é muito importante considerar que a combinação deste meio semimecanizado com máquinas como o *harvester* e *forwarder*, possa gerar todas as desvantagens relacionadas aos esforços físicos e à segurança no posto de trabalho para o trabalhador de motosserra, ressaltadas com muita ênfases por Sant’anna (2008).

Para a operação com a motosserra praticando o tratamento de desbaste 2, é necessário também criar uma frente muito importante de árvores derrubadas no campo como condição muito particular para o início do trabalho das máquinas, pois os tempos de trabalho requeridos e a possibilidade de operar simultaneamente numa mesma área são limitantes.

### 5.1.2.2. Ciclo operacional do trator florestal *forwarder*

A operação do *forwarder* na execução da extração florestal nos tratamentos de desbaste estudados apresentou a seguinte distribuição percentual no consumo de tempo nos diferentes elementos do ciclo operacional (Figura 18).



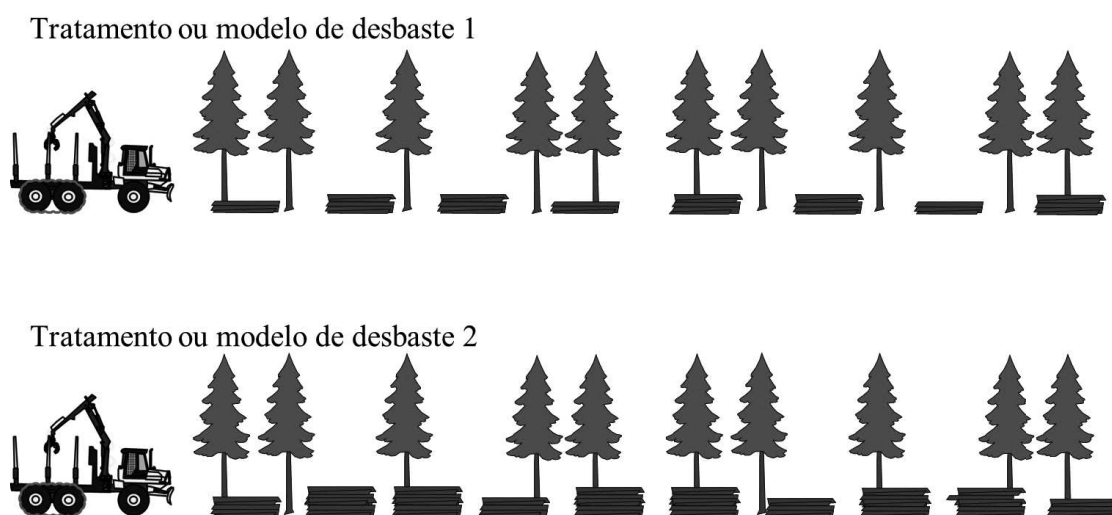
**Figura 18.** Distribuição percentual do ciclo operacional do trator florestal *forwarder* na execução da extração dos modelos o tratamentos de desbastes.

O consumo de tempo do ciclo operacional do *forwarder* em ambos os tratamentos de desbastes foram muito semelhantes entre si. Aparentemente, a pouca diferenciação nos tempos não permitiu concluir a real influência dos tratamentos de desbaste sobre a operação desta máquina na extração da madeira.

A diferença nos tempos do elemento carregamento (CR) e a viagem da máquina sem carga (VV), com ocorrência de um menor tempo consumido no tratamento de desbaste 2 pode ser atribuído à maior disponibilidade de pilhas de toras ao longo da trilha de operação (menor distância entre pilhas), bem como ao maior tamanho das pilhas, que permitiu à máquina apanhar maior quantidade de madeira em cada parada e concluindo mais rapidamente a operação de carregamento.

Em termos comparativos, para a operação do *forwarder* na execução do tratamento de desbaste 2, a máquina tinha, a partir do corte florestal um maior volume de madeira disponível numa superfície 28,5 % maior em relação às trilhas de operação no tratamento de desbaste 1.

Na Figura 19 é apresentado um esquema teórico da situação gerada nos tratamentos ou modelos de desbaste e que podem influenciar diretamente a operação do *forwarder*.



**Figura 19.** Esquema teórico da situação gerada nos tratamentos de desbaste em relação à distribuição e volume das pilhas de madeira.

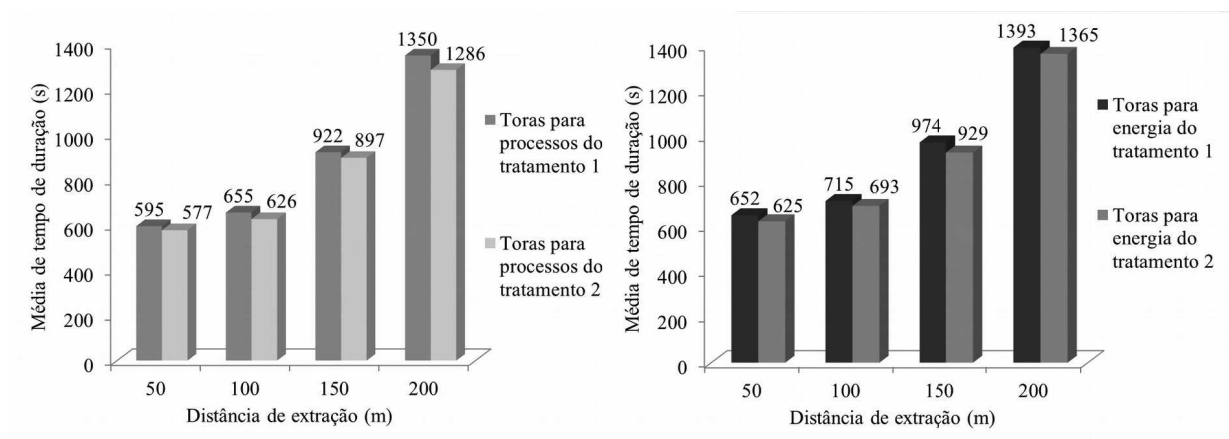
Em relação à formação de pilhas e sua distribuição ao longo das trilhas de operação do *forwarder*, o tratamento de desbaste tem importância sobre a operação de acordo com os princípios já mencionados, mas também devem ser consideradas as características da floresta,

o volume, a proporção de madeira com os distintos sortimentos, além da intensidade e tipo de desbaste.

Para avaliação mais precisa da influência dos tratamentos de desbaste sobre a operação do *forwarder* é necessário considerar o elemento “viagem entre cargas” do ciclo operacional desta máquina, que é o tempo investido pela máquina na viagem entre duas pilhas de toras. Este tempo não foi cronometrado no presente estudo devido ao fato que a duração é muito pequena e de difícil obtenção pelo método de cronometragem empregado.

O elevado tempo consumido pelo *forwarder* na operação de carregamento (CR) e descarregamento (DC) é comum nesta máquina, comparando os trabalhos realizados por Seixas (2008) e Minette *et al.* (2004). Entretanto, observou-se que nas operações de desbaste, estes tempos apresentaram uma disparidade em relação à execução em áreas de corte raso devido às precauções de execução do carregamento das toras entre as árvores remanescentes do povoamento.

Considerando o tratamento de desbaste e o tipo de toras extraídas, a duração média dos ciclos operacionais do *forwarder* na execução da extração apresentou distinto comportamento, como pode ser visto na Figura 20.



**Figura 20.** Tempo médio do ciclo operacional do *forwarder* com diferentes tipos de madeira e distâncias de extração.

Para identificar as diferenças estatísticas entre os tempos médios totais (s) dos ciclos operacionais do *forwarder*, segundo o tipo de toras extraídas e a distância de extração (Tabela 12), é apresentado o resultado do teste “t”.

**Tabela 12.** Resultados do teste de “t” empregado para a comparação das médias de duração total dos ciclos operacionais do *forwarder*, segundo o destino das toras e a distância de extração.

Destino das toras	Distância média de extração (m)	Média de duração (s)	
		Tratamento de desbaste 1	Tratamento de desbaste 2
Processos	50	595,3	577,4
	100	654,8	625,6
	150	922,2	896,5
	200	1350,2	1285,8
Energia	50	651,6	625,0
	100	715,4	692,7
	150	974,2	928,8
	200	1393,4	1376,1

Em que: todas as médias comparadas não apresentaram diferenças significativas pelo teste “t” a uma probabilidade de erro inferior a 5 %.

O teste “t”, a uma probabilidade de erro inferior a 5 %, indicou que não houve diferença estatística entre as médias de duração total dos ciclos operacionais registrados na operação do *forwarder*. Tal resultado indicou que a extração das toras de diversos tipos (energia e sortimento) em determinada distância de extração e modelo ou tratamento de desbaste, não ofereceu nenhuma diferença segundo o tempo médio consumido em cada ciclo operacional.

### 5.1.3. Eficiência operacional das máquinas nos tratamentos de desbaste

A eficiência operacional ( $E_o$ ) das máquinas utilizadas nos tratamentos de desbaste estudados resultou nos tempos de trabalho efetivo (TE), tempo de manutenção e reparos (TM) e tempo de interrupções (TI), conforme pode ser visto na Tabela 13.

**Tabela 13.** Eficiência operacional, obtida para as diferentes máquinas nos tratamentos de desbaste estudados.

Máquinas	Tratamentos de desbaste	
	1	2
<i>Harvester</i>	69,7	68,4
Motosserra	---	70,6
<i>Forwarder</i>	68,2	63,0

Os valores da  $D_m$  determinados é a média obtida em ambos os tratamentos de desbaste, considerando-se que em função do tempo de coleta dos dados não é possível

concluir a influência dos tratamentos de desbaste sobre este parâmetro técnico. A *Eo* é um critério de medição de desempenho das máquinas numa determinada operação, cujos índices não podem ser considerados como parâmetros estáticos sem ponderar a vida útil da máquina no momento da determinação.

As máquinas empregadas no estudo encontravam-se com uma vida útil de 8.200 horas (*harvester*) e 7.200 horas (*forwarder*), considerando que estes indicadores são lineares decrescentes. Segundo o uso, os valores obtidos para as distintas máquinas nas operações de estudadas nos dois tratamentos de desbaste podem ser considerados como valores altos, atendendo as considerações de Domingos *et al.* (2009), que destacaram que, os valores para este tipo de máquina na faixa de 5.000 a 10.000 horas tem a expectativa máxima entre 75 a 85 %, podendo decrescer, em média, 3 até 15 % em cada 10.000 horas trabalhadas.

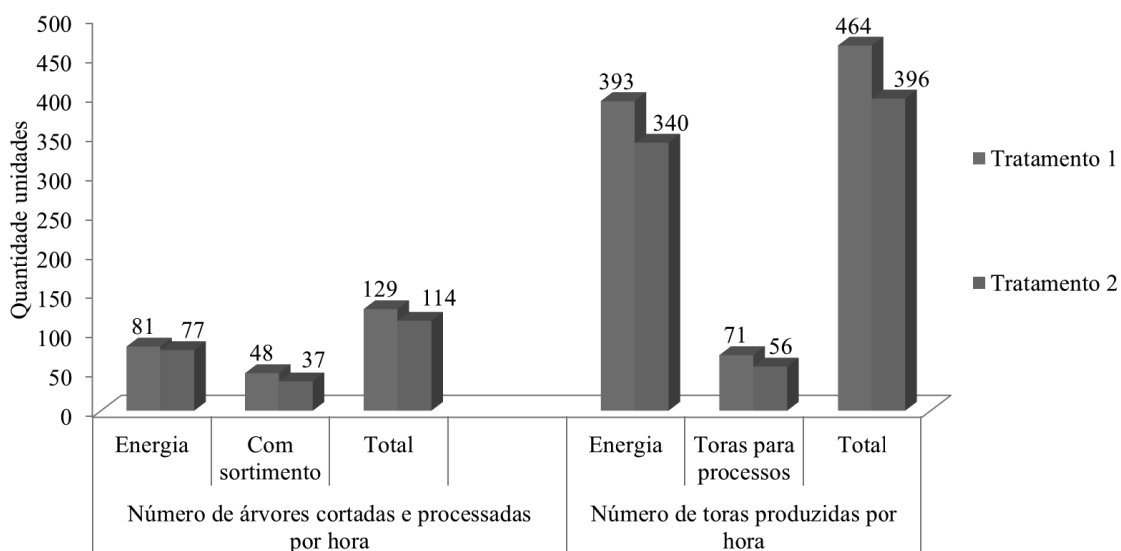
#### **5.1.4. Produtividade (Pr)**

##### **5.1.4.1. Produtividade do *harvester***

A produtividade do *harvester* na execução do corte da madeira em ambos os tratamentos de desbaste foi definida com base no cálculo dos diferentes parâmetros básicos (horas efetivas de trabalho e tempo de interrupções), determinados segundo os distintos produtos gerados ou tipo de processamento e distância de extração por unidade de tempo.

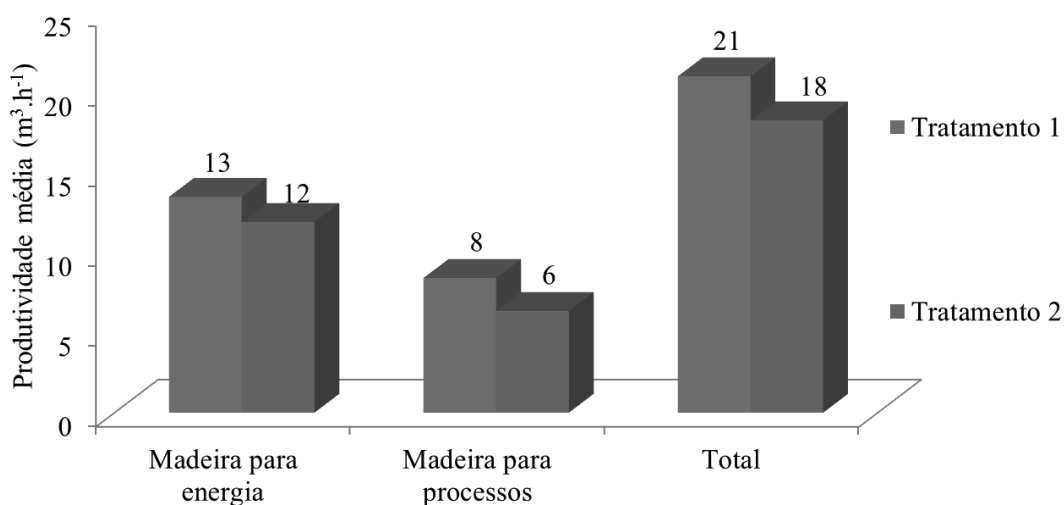
A origem destes dados foi o inventário florestal, os registros do computador de bordo do *harvester* e a contagem da quantidade de ciclos operacionais obtidos no estudo de tempos e movimentos, cujos valores são apresentados no Anexo 3.

Em função dos dados mencionados, a produtividade do *harvester* nos dois tratamentos de desbaste em relação à quantidade de árvores cortadas, tipo de processo e quantidade de toras produzidas são apresentados na Figura 21.



**Figura 21.** Produtividade média do *harvester* em relação à quantidade de árvores e toras produzidas e tipo de processo por hora.

Segundo os valores da quantidade de árvores processadas e a geração de toras destinadas a processos ou energia, a transformação expressa uma taxa de 1,5 toras para cada árvore nos dois tratamentos de desbaste. Estes resultados são apresentados como referência comparativa, reconhecendo que estes valores poderiam ser empregados em combinação com dados de inventários florestais realizados antes do desbaste. Como indicador principal da produtividade, são apresentados os dados do volume de madeira ( $m^3$ ) produzida por hora efetiva de trabalho (Figura 22).



**Figura 22.** Produtividade média do *harvester* em função do processamento das árvores e produção média total.

Em direta relação com os tempos médios do ciclo operacional do *harvester* e todas as mudanças ocorridas com a implementação do tratamento de desbaste 2, foi possível constatar que os valores de produtividade total do tratamento ou modelo de desbaste 1 foram superiores ao tratamento ou modelo 2 proposto. É importante ressaltar que, não existiu a possibilidade da obtenção de melhores resultados, pois os operadores do *harvester* não tinham muita experiência prática na execução do tratamento 2, requerendo um maior tempo de adaptação para a obtenção de melhores resultados.

Para o sustento desta teoria foram atendidos os resultados da avaliação feita pelo Barbieri (2004), que descreveu a evolução do desempenho do sistema de colheita na mesma empresa, desde a introdução da mecanização na execução dos desbastes. Nesse trabalho obtiveram-se produtividades iguais a 12,9 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (2000), 14,4 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (2001), 16,2 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (2002), 21,2 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (2003) e 21,6 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (2004).

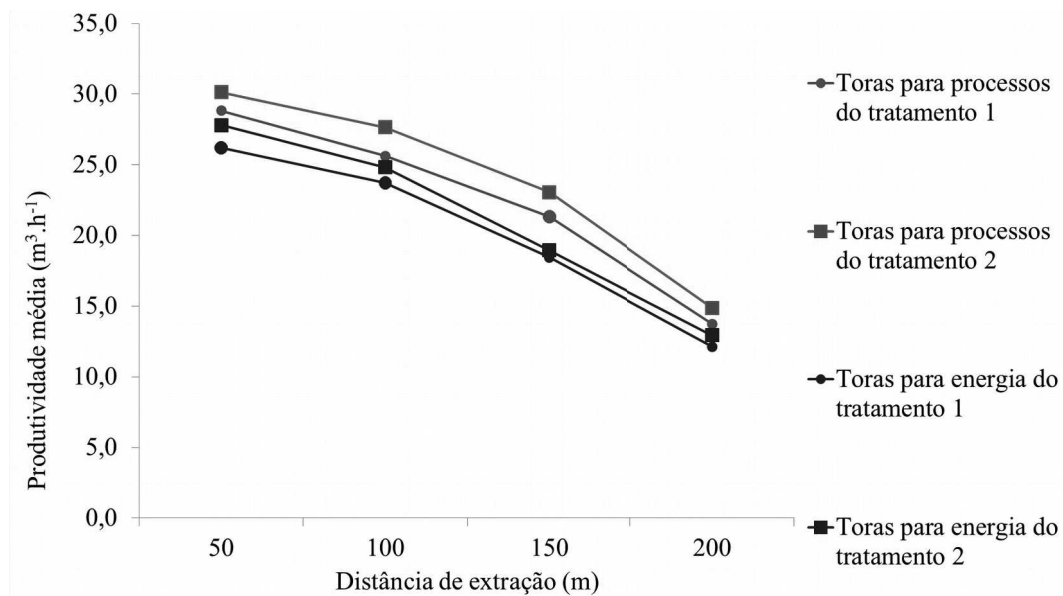
Os dados anteriores descrevem uma curva de crescimento da produtividade do *harvester* registrada num período inicial de cinco anos de operação, mostrando que para o final do período avaliado já registraram uma produtividade equivalente à obtida nesta pesquisa. Permite sugerir também que, a evolução da produtividade, trabalhando no modelo ou tratamento de desbaste 2 poderia iniciar com valores muito próximos aos obtidos atualmente, podendo ainda ter acréscimos a partir das condições atuais e aumentar teoricamente a partir da adoção pela empresa deste novo sistema de trabalho e o crescimento da aprendizagem dos operadores mediante o treinamento e a experiência operativa.

Para completar o subsistema de colheita de madeira, o valor da produtividade obtida na operação com a motosserra foi de 41,51 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> de árvores abatidas no “centro de campo”, não tendo sido discriminadas as árvores por tipo de processamento. Com a elevada produtividade da operação com motosserra, a criação de uma frente de trabalho para o *harvester* pode oferecer muitas vantagens quando for consolidado o trabalho em verdadeiro sistema de colheita destas máquinas.

#### **5.1.4.2. Produtividade do *forwarder***

A produtividade do *forwarder* na execução da operação de extração florestal nos tratamentos de desbaste estudados em função do destino das toras (processo ou energia) e da distância de extração é apresentada na Figura 23.





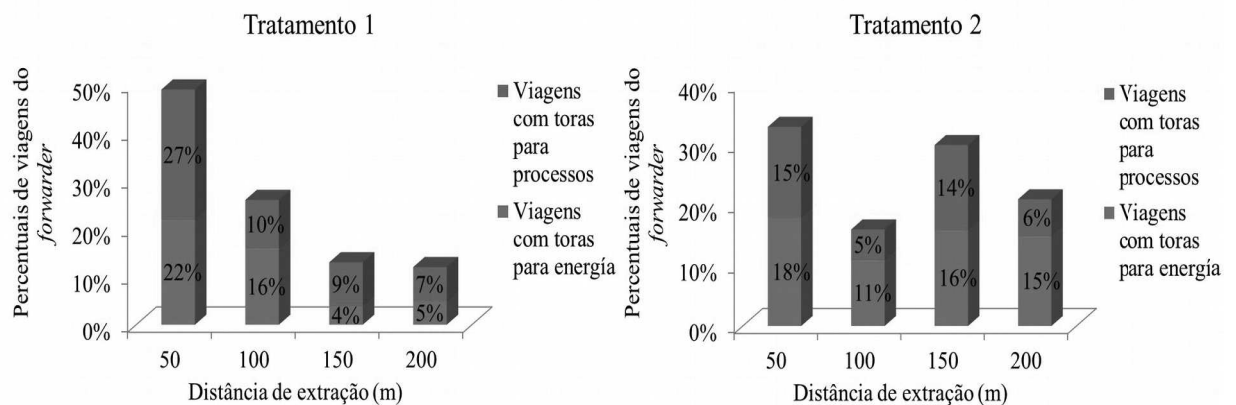
**Figura 23.** Produtividade do *forwarder* conforme o destino das toras e a distância de extração nos tratamentos de desbaste.

A diferença de produtividade segundo os destinos da madeira (processos ou energia) teve uma relação direta com o fator de empilhamento, onde o volume da carga foram maiores com o aumento do diâmetro das toras. Os níveis de distância de baldeio são os fatores mais influentes nesta operação.

Como pode ser observado, o aumento de produtividade do *forwarder* no tratamento de desbaste 2 comparativamente ao tratamento 1, cresceu 5,3 % na distância de 50 m; 6,3 % aos 100 m; 5,6 % aos 150 m e 7,5 % na distância de 200 m. Os ganhos de produtividade obtidos teve como fundamentação os princípios expostos no “esquema teórico da situação gerada nos modelos ou tratamentos de desbaste em relação à distribuição e volume das pilhas de madeira no campo” apresentado na Figura 20. O tratamento ou modelo de desbaste 2 apresentou influência no desempenho do *forwarder* devido à maior disponibilidade de madeira por unidade de distância percorrida (pilhas de toras mais próximas e com maior volume de madeira).

Procurando acrescentar as vantagens operacionais para o *forwarder* oferecidas pelo tratamento de desbaste 2, foi avaliada a proporção de tipos de cargas extraídas pelo trator (toras para processos ou energia) empregando os distintos níveis de distâncias de extração.

Os resultados de viagens realizadas pelo *forwarder* para os diferentes tipos de toras e distâncias de extração nos tratamentos de desbaste estudados são apresentados na Figura 24.



**Figura 24.** Percentual de viagens realizadas pelo *forwarder* para os diferentes tipos toras e distâncias de extração nos tratamentos de desbaste estudados.

As condições da área experimental, delimitada em ambos os lados por estradas com uma distância máxima de 150 m e considerando que a extração poderia ser realizada para ambos os lados das estradas, permitiu a otimização da extração de madeira na menor distância, porém isso não aconteceu. A Figura 24 indica que além dos ganhos de produtividade do *forwarder* no tratamento de desbaste 2, a extração de 21 % das cargas foram feitas em uma distância de 200 m, fato que não favoreceu também a operação do *forwarder* neste modelo.

As viagens realizadas pela máquina no tratamento 2, no nível de 200 m foram realizadas sem a correta avaliação da menor distância de extração por parte do operador. A questão é acrescentada também pela concentração de uma maior quantidade de viagens realizadas nas maiores distâncias neste tratamento (30 % das viagens feitas na distância de 150 m), podendo significar ganhos operacionais adicionais.

Para procurar aditividade das vantagens que oferece uma correta avaliação da menor distância de extração para realização do baldeio, é importante considerar a importância do emprego de ferramentas inovadoras que permitam subsidiar o trabalho do operador. Segundo MANNER *et al.* (2010), é preciso analisar as mudanças do trabalho do *forwarder* e recomendar a possibilidade de obtenção de maiores ganhos fazendo a extração com vários tipos de sortimentos em uma única carga.

Com isso, ao realizar a extração de dois sortimentos simultaneamente, a distância de extração poderá ser reduzida pela metade, obtendo ganhos significativos de produtividade.

### 5.1.4.3. Produtividade dos subsistemas de colheita operando nos tratamentos de desbaste estudados

Todos os tópicos anteriores apontam para o fato de um maior desempenho segundo a produtividade dos subsistemas de colheita operando no tratamento de desbaste 1, onde foram registrados valores 6,5 % superiores ao tratamento de desbaste 2.

Na tabela 14 são apresentados os valores de produtividade obtidos pelas máquinas de forma independente e com sua integração nos subsistemas de colheita que operaram nos dois tratamentos de desbaste.

**Tabela 14.** Produtividade dos subsistemas de colheita registrados nos dois tratamentos de desbaste.

Tratamentos ou modelos de desbaste	Subsistemas	Máquinas	Produtividade média (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	
			Individual	Total
1	Mecanizado	<i>Harvester</i>	21,0	42,3
		<i>Forwarder</i>	21,3	
2	Misto	Motosserra e <i>harvester</i>	18,0	40,5
		<i>Forwarder</i>	22,5	

A diferença de desempenho nestes resultados é uma questão muito importante a ser avaliada no momento da análise para a adoção do modelo de desbaste a ser empregado, sendo relacionado com questões econômicas e operacionais integradas a argumentos que correspondem ao campo da silvicultura e o manejo florestal. Nestes campos ou áreas que são influenciadas pelos fatores anteriores, é possível a manifestação dos problemas clássicos dos desbastes mecanizados que precisam ser resolvidos.

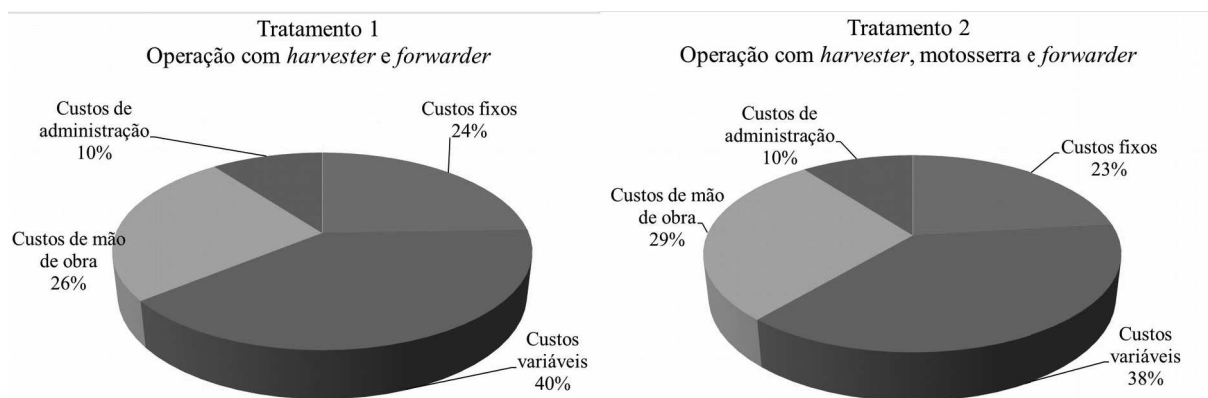
## 5.2. Análise de custos da operação de desbaste

A partir de uma taxa de juros de 12,0 % ao ano, o custo operacional total determinado para cada subsistema de colheita de madeira utilizado nos tratamentos de desbaste foi de R\$ 324,00 h<sup>-1</sup> para o tratamento ou modelo 1, sendo R\$ 165,00 h<sup>-1</sup> para o *harvester* e R\$ 159,00 h<sup>-1</sup> para o *forwarder*. No tratamento ou modelo 2, o custo operacional total foi de R\$ 338,96 h<sup>-1</sup>, sendo R\$ 25,00 h<sup>-1</sup> na operação com a motosserra, R\$ 151,00 h<sup>-1</sup> corresponde ao *harvester* e R\$ 163,00 h<sup>-1</sup> para o *forwarder*.

O *harvester* e *forwarder* operando no modelo de desbaste 2 geraram menores custos (depreciação e juros) devido ao fato que são máquinas de maior investimento inicial,

ocasionando redução dos custos fixos (depreciação e juros) com a incorporação de uma terceira máquina de menor investimento (motosserra) que permitiu uma menor participação destes componentes.

Na Figura 25 é apresentada a distribuição percentual da composição dos custos operacionais das máquinas componentes dos subsistemas de colheita de madeira nos tratamentos de desbastes estudados.



**Figura 25.** Distribuição percentual dos custos operacionais dos subsistemas de colheita nos modelos ou tratamentos de desbaste estudados.

A distribuição dos custos variáveis correspondeu a uma maior produtividade atingida na operação com tratamento de desbaste 1, principalmente o *harvester*. A diferença nos custos de mão de obra está relacionada com o emprego dos operadores de motosserra.

O custo de produção para o primeiro sistema, operando no modelo de desbaste 1 foi de R\$ 14,98/m<sup>3</sup>, enquanto no tratamento de desbaste 2 foi de R\$ 16,25/m<sup>3</sup>. Os dados e cálculos referentes à análise de custos são apresentados no Anexo 4.

Na Tabela 15 é apresentado o rendimento energético registrado nos dois subsistemas de colheita e modelos de desbaste estudados.

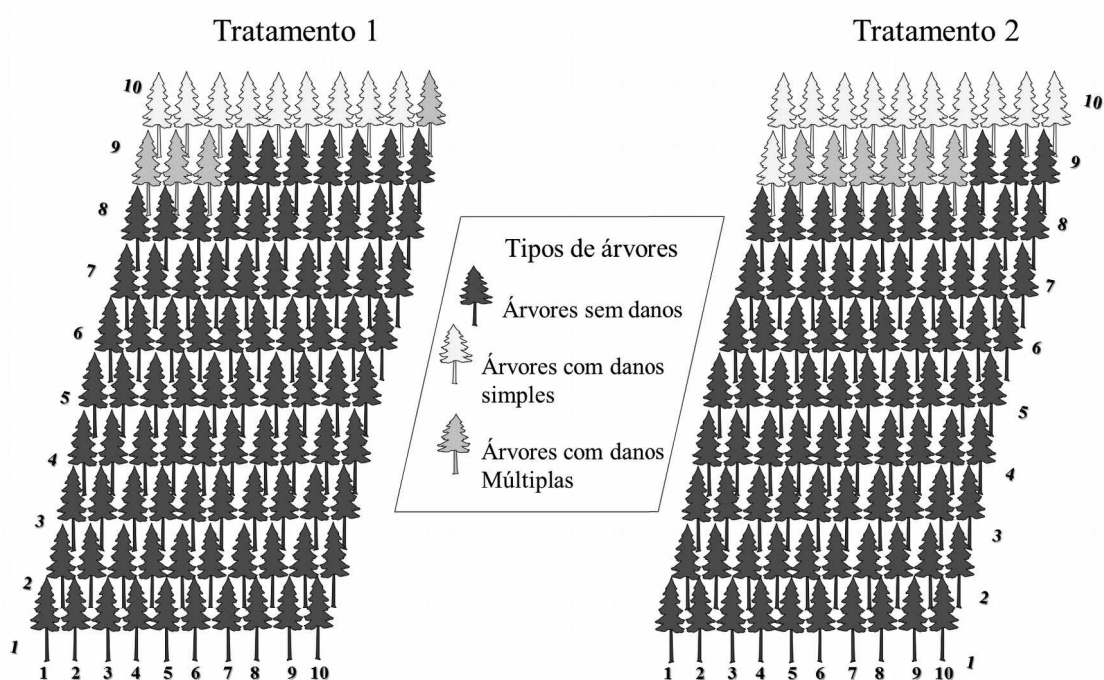
**Tabela 15.** Rendimento Energético das máquinas componentes dos subsistemas de colheita na operação dos tratamentos de desbaste estudados.

Condição de operação	Rendimento Energético (gkW <sup>-1</sup> .m <sup>3</sup> )			
	Motosserra	<i>Harvester</i>	<i>Forwarder</i>	Total
Tratamento de desbaste 1 (Subsistema de colheita mecanizado)	---	0,77	0,75	1,52
Tratamento de desbaste 2 (Subsistema de colheita misto)	0,03	0,94	0,71	1,68

Tais resultados dependem diretamente da produtividade, onde o subsistema de colheita mecanizado com *harvester* e *forwarder* apresentou um menor investimento energético para a geração de cada m<sup>3</sup> de madeira, indicando, principalmente, que precisava um menor investimento de combustível para a colheita de cada m<sup>3</sup> de madeira e o desbaste de cada unidade de área do plantio.

### 5.3. Qualidade da operação de desbaste

Na Figura 26 é apresentado o percentual de árvores remanescentes danificadas pela operação de colheita em ambos os tratamentos de desbaste.



**Figura 26.** Percentual de árvores remanescentes danificadas ou feridas pelas máquinas de colheita de madeira nos tratamentos de desbaste estudados.

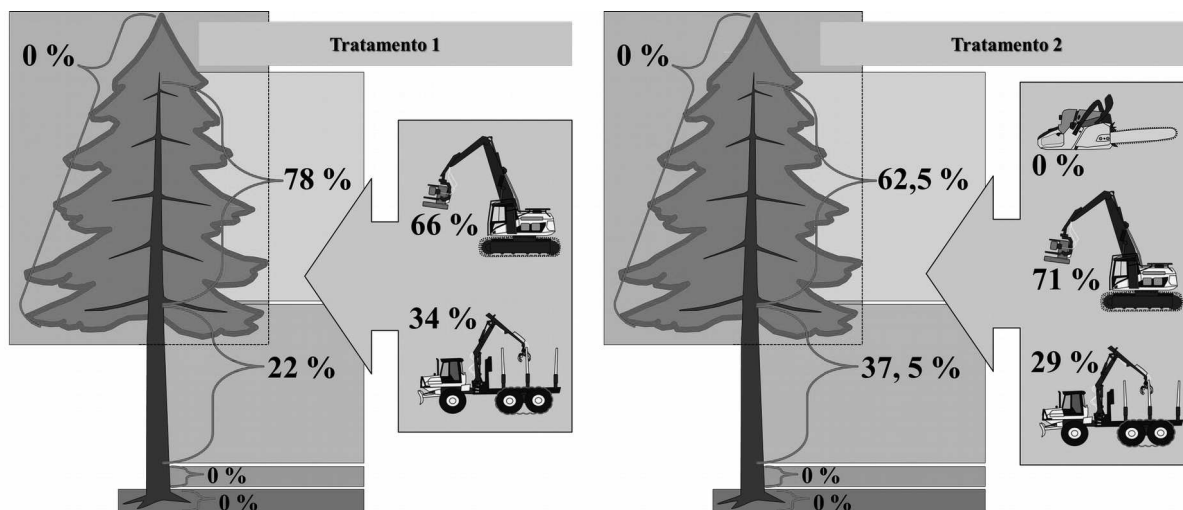
No tratamento 1 foram feridas 13 % das árvores e no tratamento 2, 17 % das árvores foram atingidas. De acordo com Sirén (2001), o nível de danos é devido principalmente ao treinamento, habilidade e a técnica de trabalho utilizada pelo operador. Os maiores valores de danos observados podem estar relacionados ao fato de que no tratamento de desbaste 2 ocorrer uma maior manipulação das árvores no corte florestal e de toras na extração florestal, bem como devido a motosserra ter deixado muitas árvores enganchadas, situação que dificultou a operação das máquinas e, conseqüentemente, causou maior intensidade de danos nas árvores remanescentes do povoamento.

Diversos estudos realizados na Europa e América do Norte que determinaram o nível de danos na floresta pelas operações de desbaste com o Sistema CTL, mediante a percentagem de árvores atingidas em florestas de coníferas, apresentaram: 3,4 % (SIRÉN, 2001); 2,1 % (VIDRINE *et al.*, 1999); 5 % (MALINOVSKI, 1998); 3,7 % (SAUTER, 1996); 5 % (MCNEEL *et al.*, 1992) e 5,9 % (FRDING, 1988). Apesar de estes trabalhos terem sido realizados sob diferentes condições (características da floresta, condições de solo e relevo, operador, tipo de máquina, etc.), os valores obtidos nestes estudos foram semelhantes e apresentaram tais valores como limites elevados para as florestas estudadas. Os resultados obtidos neste trabalho (13 e 17 %) são notavelmente superiores aos determinados pelos autores anteriores.

Como as características das florestas plantadas no Brasil não são as mesmas das anteriores, os níveis de danos e sua incidência nas árvores precisam ser comparados com resultados obtidos na região, em condições operacionais similares e considerando as características das espécies de árvores plantadas. Valores similares de percentagem de árvores danificadas (12,3 %) foram determinados por Lineros *et al.* (2003), avaliando danos em operações do primeiro desbaste aos 10 anos, desenvolvidas pelo sistema CTL, quase nas mesmas condições (modelo de desbaste tradicional, retirada sistemática da 5ª linha) em plantios de *Pinus radiata*.

Segundo a incidência de quantidade de ferimentos (simples ou múltiplos), os dois tratamentos de desbastes atingiram percentual de danos muito similares: com 69,3 % no primeiro tratamento; 64,7 % no segundo tratamento de ferimentos simples de árvores com única ferida e 30,7 % contra 35,3 % de árvores que apresentaram um número de ferimentos maior que 1. Além disso, a presença de árvores com ferimentos múltiplos foi causada pela operação com *harvester* que atingiu a maioria das vezes em primeira instância e após pelo *forwarder* por ocasião do carregamento entre as árvores remanescentes.

As partes das árvores mais afetadas segundo a distribuição das porcentagens de danos e as máquinas ou operações responsáveis destes danos são apresentadas na Figura 27.



**Figura 27.** Distribuição dos danos nas árvores remanescentes e as máquinas responsáveis pelos ferimentos nos dois tratamentos de desbaste estudados.

Como pode ser visto, a maior incidência de danos ocorreu na parte inferior do fuste, sendo uma preocupação, pois trata-se da secção comercial da árvore de maior valor agregado. Portanto, os resultados mostraram a necessidade de melhorias dos procedimentos operacionais das máquinas na execução dos desbastes, de forma a evitar a ocorrência de injúrias nas árvores do povoamento e prejuízos futuros.

Segundo Vasiliuskas (2001), as seções do fuste das árvores com maior diâmetro, afetados pelos danos ou feridas nas operações de desbaste são as mais sensíveis, com a possibilidade de não produzirem o fechamento da lesão e serem afetados por fungos e insetos causando prejuízos significativos no produto final.

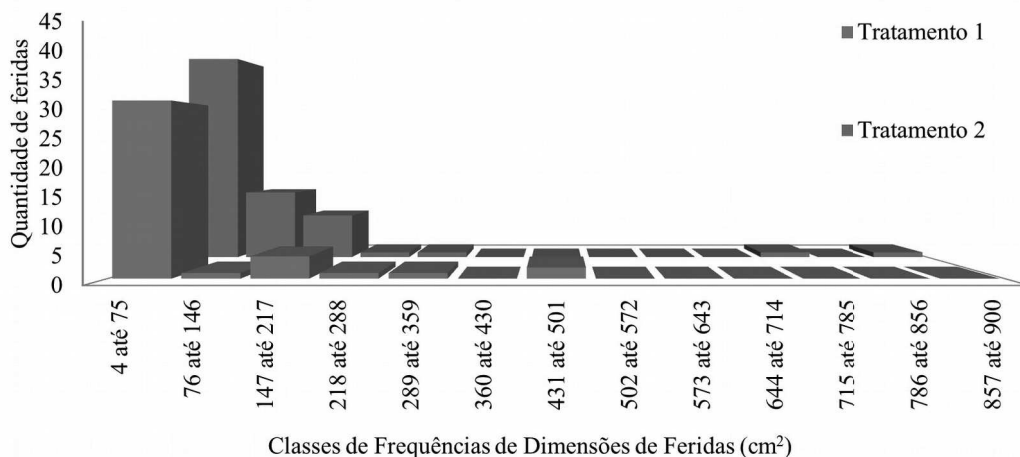
Os danos causados nas duas principais partes das árvores remanescentes foi causada principalmente pelo *harvester* (66 % e 76 % nos tratamentos de desbaste 1 e 2, respectivamente) mediante o contato da grua com a árvore (na parte superior do fuste) ou devido o efeito do contato das árvores puxadas ao lado (na parte inferior do fuste). No caso do *forwarder* (34 % e 29 % em os tratamentos de desbaste 1 e 2, respectivamente) foram causados principalmente mediante a rotação entre as árvores remanescentes das toras abraçadas pela garra e grua, danificando notadamente a parte superior do fuste.

É importante ressaltar que, a operação com a motosserra no tratamento de desbaste 2 não causou danos diretamente nas árvores remanescentes. Entretanto, contribuiu para o aumento dos danos causados pelo *harvester*. Tal resultado deve-se ao aumento da concentração de árvores em cada faixa de trabalho da máquina e o aumento da quantidade de

pilhas de toras empilhadas e movimentadas pelo *forwarder* entre as árvores remanescentes do povoamento.

As dimensões das feridas analisadas foram agrupadas em 13 classes de tamanho, segundo a amplitude total dos valores da amostra, que variaram entre 4 e 900 cm<sup>2</sup>.

Na Figura 28 é apresentada a distribuição das feridas, de acordo as distintas frequências de dimensões.



**Figura 28.** Distribuição em frequências das dimensões de feridas obtidas nas árvores remanescentes do povoamento nos tratamentos de desbastes estudados.

A importância deste resultado, que mostra a distribuição das feridas nas diversas classes de dimensões de ferimentos, indicou que a maioria das lesões produzidas na operação em ambos os tratamentos de desbaste concentrou-se nas menores classes de tamanhos, com 87,8 % e 81,4 %, nos tratamentos de desbastes 1 e 2, respectivamente.

Sauter (1996) informa ainda que, as feridas em *Pinus* spp., das magnitudes classificadas nestas categorias são desde o ponto de vista técnico factíveis que sejam fechadas sem ocasionar problemas sanitários nas árvores. Portanto, a margem efetiva do tamanho de ferimentos a ser considerado de maior importância e atenção é da ordem de 12,2 % a 18,6 %, sendo o nível equivalente ao determinado por Lineros *et al.* (2003).

A ocorrência de danos nas maiores classes de dimensões de feridas ocorridas no tratamento de desbaste 2, pode ser atribuído aos efeitos aleatórios e não tendo nenhuma relação com a mudança no tratamento de desbaste. Neste sentido, é recomendável estudar outros fatores que afetam à ocorrência dos danos.

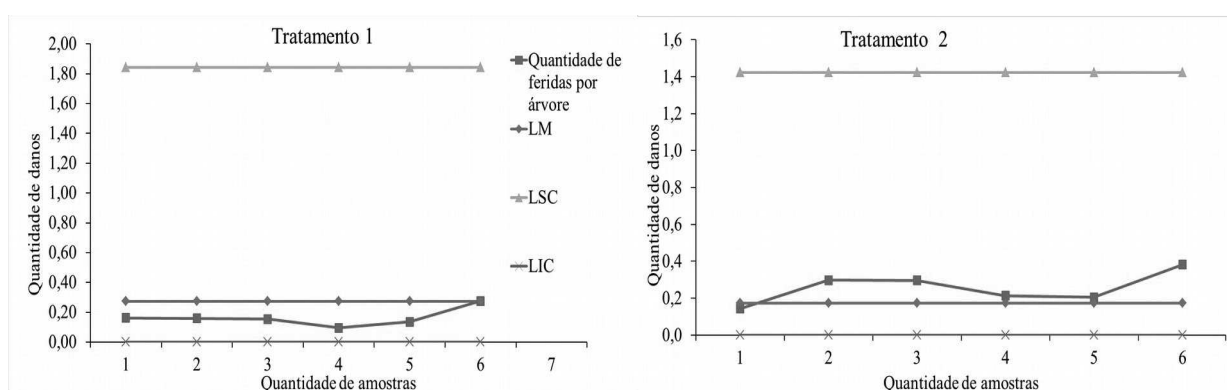
Lageson (1997) afirmou que um dos fatores que poderiam afetar a ocorrência das feridas nas árvores durante as operações de desbaste, principalmente sua dimensão e



intensidade, seria a época do ano onde as árvores, apresentam condições fisiológicas distintas.

### 5.3.1. Análise de controle estatístico de processo (CEP)

Com o intuito de descrever a qualidade dos resultados do desbaste sobre as árvores remanescentes, é mostrado na Figura 29 os Gráficos de Controle Estatístico de Processo que avaliaram a operação de eliminação de árvores. Estas avaliações foram feitas segundo a ocorrência de quantidade de danos causados nas árvores remanescentes do povoamento pelas máquinas de colheita de madeira nos tratamentos de desbaste estudados.



**Figura 29.** Gráficos de controle estatísticos de processos aplicados à quantidade de danos apresentados nas árvores remanescentes do povoamento, nos tratamentos de desbastes estudados.

O comportamento das curvas informando a quantidade de danos com relação ao Limite Médio (LM), Limite Superior de Controle (LSC) e Limite Inferior de Controle (LIC), com os respectivos pontos de quantidade de danos encontram-se abaixo e acima do LM os tratamentos de desbastes 1 e 2, respectivamente. O processo é definido como: “processos com tendência a sair de controle”, devido ao fato da curva de quantidade de danos não seguir a curva de ocorrências médias de danos durante o processo.

Esta situação permitiu definir que um erro sistemático está ocorrendo normalmente nestas operações, oferecendo como resultado o nível de danos elevado e quantidade de feridas.

De acordo com os gráficos obtidos que indicam os danos sistemáticos no desbaste, alguns fatores podem ter influenciado nestes efeitos são:

- O super dimensionamento das máquinas de colheita (*harvester e forwarder*), onde em função do espaçamento reduzido no interior do povoamento, a operação de

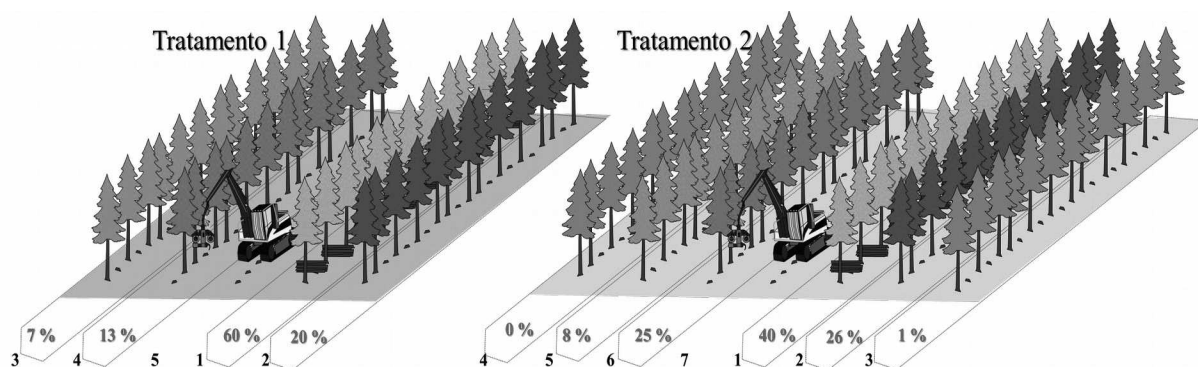
desbastes sistemático e seletivo fica comprometida, contribuindo para a maior ocorrência de danos nas árvores remanescentes.

- Necessidade de treinamento e aperfeiçoamento dos operadores, com desenvolvimento de procedimentos operacionais específicos para as operações de desbaste, minimizando as práticas e técnicas incorretas de trabalho.

Malinovski e Malinovski (1998) destacam a importância do planejamento e monitoramento do nível de danos no povoamento remanescente, necessitando melhoria no nível de treinamento e conscientização dos operadores, combinada com a escolha de determinadas máquinas.

Ao avaliar os problemas da ocorrência sistemática de danos no povoamento remanescente e sabendo que a operação das máquinas *harvester* e *forwarder* tem características particulares quando operam nos desbastes, foi analisada a localização espacial em relação à trilha de operação das árvores atingidas com algum tipo de dano, obtendo-se a distribuição percentual dos indivíduos que tiveram algum tipo de ferimento.

Na Figura 30 é apresentado o esquema dos tratamentos de desbastes com a distribuição percentual das árvores que sofreram ferimentos e sua localização espacial.



**Figura 30.** Distribuição percentual das árvores feridas segundo a sua localização espacial nos tratamentos de desbastes estudados.

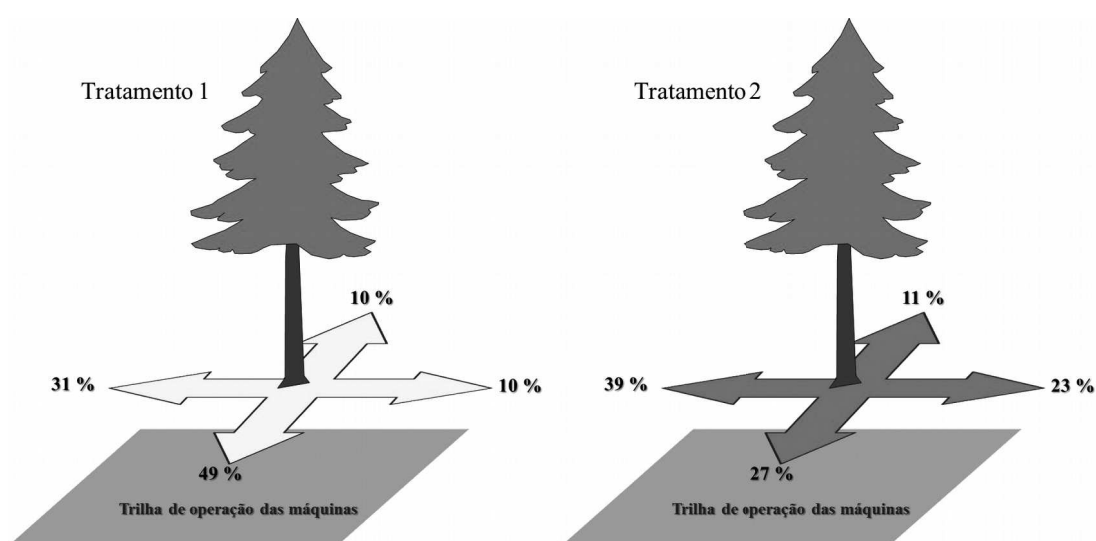
É possível perceber que, a maior porcentagem de danos esteve concentrada nas árvores que ficavam localizadas nas duas linhas de plantio limitantes com a trilha de operação (73 % no tratamento 1 e 65 % no tratamento 2). Tal resultado pode ser atribuído à maior exposição das árvores segundo a distância das máquinas operando, bem como a concentração do manuseio das árvores e toras. Atendendo aos níveis e intensidades de danos, estas árvores

também apresentam feridas maiores e de intensidades elevadas.

Os tratamentos de desbastes influenciaram na distribuição espacial das árvores atingidas com os danos, sendo dependente diretamente deste fator. No tratamento 2, o “centro de campo” quase não apresentou árvores remanescentes prejudicadas. Entretanto, com a manipulação das árvores eliminadas para fora, acarretou no aumento das árvores com ferimentos nas linhas próximas a trilha de operação.

A direção de deslocamento do *harvester* também teve efeito sobre a ocorrência de ferimentos devido ao fato que do lado esquerdo (lado da cabine), a máquina fazia o processamento e empilhamento de toras entre as árvores remanescentes e a continuação, durante a extração, enquanto o *forwarder* manipulava as toras no mesmo espaço, situações que produziram maior contato e maiores danos de forma sistemática.

A exposição da árvore remanescente segundo a sua posição em relação à trilha de operação e máquinas também teve influência na ocorrência dos danos. Para esta avaliação foi determinada a colocação de cada ferimento nos diversos eixos definidos em relação à trilha de operação em cada tratamento de desbaste, como pode ser visto na Figura 31.



**Figura 31.** Distribuição percentual das feridas nas árvores em relação à localização e trilha de operação.

Os lados das árvores expostas à trilha de operação foram as mais atingidas pelas feridas, indicando efeitos diretos das máquinas, situação que é resultado do contato das distintas partes das máquinas (rodados, grua e cabeçote). O tratamento de desbaste 1 apresentou a maior concentração deste tipo de danos devido ao uso de máquinas que

operaram unicamente na trilha de operação.

Os danos ocorridos nos eixos laterais das árvores em ambos os tratamentos ou modelos de desbaste foram devido ao contato da grua, cabeçote, as árvores sendo puxadas ao lado e toras manejadas entre as árvores remanescentes. No tratamento 2, os valores de danos foram maiores nestes pontos devido ao maior nível de contato com as árvores oriundas do “centro de campo”, puxadas entre as mesmas, processadas, dispostas em maiores pilhas e carregadas pelo *forwarder*.

A redução da ocorrência de danos nas árvores remanescentes em operações de desbaste não é somente uma questão operacional da colheita de madeira. O manejo tem participação ao permitir a realização dos desbastes tardios, onde com o avanço da idade do povoamento ocorre o fechamento das copas e a possibilidade de maiores danos na floresta.

Além disso, as práticas silviculturais realizadas durante a implantação do povoamento devem procurar o melhor distanciamento e melhorar ao máximo o alinhamento do plantio, permitindo aos sistemas ou subsistemas de colheita de madeira uma adaptação ao espaço de trabalho reduzido oferecido no desbaste.

## 6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, o trabalho permitiu as seguintes conclusões:

- a) Os elementos do ciclo operacional de *harvester* mais afetados pela execução do modelo de desbaste 2 foram a busca e corte, o deslocamento e as interrupções, aumentando o tempo do ciclo operacional da máquina.
- b) Os elementos do ciclo operacional do *forwarder*: viagem vazio e carregado foram afetados favoravelmente na execução do modelo de desbaste 2, com redução do tempo de duração.
- c) Os valores de produtividade do subsistema de colheita mecanizado empregado no tratamento de desbaste 1 foram superiores ao tratamento de desbaste proposto, acarretando na redução do custo de produção.
- d) O povoamento remanescente sofreu maior ocorrência de danos pelas máquinas na execução do modelo de desbaste proposto.
- e) A maior parte das feridas ocasionadas pelas máquinas em ambos os tratamentos de desbaste ocorreram de forma sistemática e de baixa intensidade e dimensão, porém mostra a necessidade de melhorias nos procedimentos operacionais das máquinas de colheita de madeira.
- f) O tratamento de desbaste 2 ofereceu a possibilidade de evitar os danos nas árvores remanescentes colocadas na região do “centro de campo”, devido à maior concentração de ocorrência dos danos nas árvores dispostas nas linhas próximas às trilhas de operação das máquinas.
- g) Em termos comparativos, o tratamento de desbaste 2 não acarretou em melhores resultados operacionais e de custos, mas contribuiu com vantagens na distribuição dos danos na floresta remanescente.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Este trabalho permite as seguintes recomendações:

- Realizar estudos de desbastes executados na 7ª e 9ª linha com a introdução do *harvester* com uma grua telescópica de maior alcance, de forma a eliminar o uso da motosserra e possibilitar a redução das trilhas de operação e ganhos de produção no povoamento remanescente.
- Desenvolver estudos com *harvester* equipado com cabeçote acumulador, permitindo que durante o desbaste, sejam executadas de forma simultânea as operações de corte e processamento, principalmente da madeira de menor porte destinada para fins energéticos.
- Desenvolver a silvicultura de precisão na implantação dos povoamentos florestais, permitindo um melhor alinhamento dos plantios e favorecendo posteriormente a execução dos desbastes pelas máquinas de colheita de madeira.
- Realizar o monitoramento do crescimento dos povoamentos florestais visando quantificar os ganhos de produtividade e as receitas com a aplicação dos diferentes modelos de desbastes.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, R.; TISCORNIA, S.; COUTO ALFENAS, A.; BETTUCCI, L. Fungos associados às lesões da casca do caule de *Eucalyptus globulus* em plantações no Uruguai. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.4, p.591-597, 2009.
- ANDRADE, C.M.; FINGER, C.A.; THOMAS, C.; SCHNEIDER, P.R. Variação do Incremento Anual ao Longo do Fuste de *Pinus Taeda* L. em diferentes idades e densidades populacionais. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.17, n.3, p.239-246, jul-set. 2007.
- ARANDA, U. **Dendrometría**. Madrid: Mundi Prensa. 2003. 409 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. **Relatório Florestal 2010-2011**. São Paulo, 2012. 24 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012, ano base 2011**. Brasília: ABRAF, 2012. 150p.
- BALLARD, T; McNEEL, J. Analysis of site stand impacts from thinning with a *harvester-forwarder* system. **Journal of Forest Engineering**, Vancouver, v.2, p.23-29, 2010.
- BARBIERI, S.J. Sistemas de Colheita Florestal na Araupel S.A. (Desbaste). In: ANAIS DO XIII SEMINARIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2004. **Anais da Comissão Organizadora**, Curitiba, p.313-334, 2004.
- BARNES, R. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. 6 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1977.
- BELBO, H. Whole tree harvesting in early thinnings and landscape management. In: SUADICANI, K.; TALBOT, B. **The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations, Working Papers No. 30**. Hørsholm: University of Copenhagen, Forest & Landscape Denmark, 2008. 92 p.
- BELBO, H.; IWARSSON, M. Felling Heads vs *Harvester* Heads in Biomass Harvesting from Early Thinning. In: OSCAR CONFERENCE, FOREST OPERATIONS RESEARCH IN THE NORDIC BALTIC REGION, 2010, Honne. **Proceedings**. Norway: NORDEN – Nordic Forest Research, Co-operation Committee (SNS), 2010. 52-53 p.
- BREDENKAMP, B. Row thinnings do not adversely affect yields or form of the final crop in improved *Pinus taeda*. **South African Forestry Journal**, v.131, p.28-33, 1984.
- BURGER, D. **Ordenamento Florestal 1: a produção florestal**. 4. ed. Curitiba: FUPEF, 1980. 124 p.
- BURKES, E.; WILL, R.; BARRON, G.; TESKEY, R.; BARRY, S. Biomass partitioning and growth efficiency of intensively managed *Pinus taeda* and *Pinus Elliottii* stand planting

densities. **Forest Science**, v.49, n.2, p.224-234, 2003.

CAMARGO, C. Compactação do Solo causada pela colheita de *Pinus taeda*, pelo sistema de fuste (*Tree Length*). 1999. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

CAMERON, A.D. Importance of early selective thinning in the development of long-term stand stability and improved log quality: a review. **Oxford Journals**, USA, v.75, n.1, p.25-35, 2002.

CANIZA, F.J.; FRIEDL, R.A.; APARICIO, J.L. Influencia de los estados de competencia post-raleo en las tensiones de crecimiento y excentricidad de medula en tres clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. In: 5TO CONGRESO FORESTAL DE CUBA, La Habana. **Libro de Resúmenes**, 2011.

CANIZA, F; MASTRANDREA, C; ALBERTI, S. Efecto del raleo en la densidad básica de la madera de *Eucalyptus Grandis*. In: XXIII JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS. **Cuaderno de Resúmenes**, Concordia, 2008.

CARNEIRO, J. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CATERPILLAR. **Escavadeira Hidráulica 315D L. Boletim de Especificações Técnicas**. USA: Caterpillar Inc., 2007. 4 p.

CATERPILLAR. **Fowarders 564 e 574. Boletim de Especificações Técnicas**. USA: Caterpillar Inc., 2007. 4 p.

CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA - CORMA. **Manual de Capacitación: proceso de certificación de competencias, Módulo Raleo a Desecho**. Bío-Bío: CORMA de Chile, 2004. 12 p.

COSTAS, R.; MAC DONAGH, P.; FIGUEREDO, S.; WEBER, E.; IRSCHICK, P. Influencias de la densidad y podas sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 7 años de edad. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n.3, p.275-284, 2005.

COZZO D. **Silvicultura de plantaciones maderables**. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editorial S.R.L. 1995. 905 p.

COZZO, D. Cuando los raleos no pueden promover claras respuestas de mejoramiento silvicultural. Ejemplos de estudios de plantaciones de especies tropicales de *Pinus* en campos "cerrados" de Uberlandia MG, Brasil Central. Documento inédito. 1991.

CRECHI, E.; FERNÁNDEZ, R.; FRIEDL, A.; FALHER, J. Efectos de raleo en *Pinus taeda*, Norte Misionero. Boletín Técnico IDIA XXI N° 8. Montecarlo: Estación Experimental INTA, 2005, p.41-45.

DAVEL, M. **Manejo de plantaciones: Boletín Técnico**. Argentina: Centro de Investigación



y Extensión Forestal Andino Patagónico, Universidad Nacional de la Patagonia, 2009. 16 p.

DAVIS, C.; ROBERTS, K. Plantation silviculture. In: WORLD FORESTRY CONGRESS PROCEEDINGS, 1991. Paris: IUFRO, p.155-166 p. 1991.

DIAS, A. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbastes**. 2000. 64 p. Dissertação - Universidade Federal de Viçosa, MG.

DO COUTO, H. Manejo de florestas e sua utilização em serraria. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995. **Resumos**. São Paulo, 1995.

DOMINGOS, A.; LOPES, J.; COSCELLI, G. Estudo da eficiência de disponibilidade mecânica em frotas agrícolas. **Revista Agrimotor**, São Paulo, n.47, p.10-12, 2009.

DRAKE, F.; ACUÑA, E.; SALAS, S. Evaluación retrospectiva para determinar la oportunidad de raleo en un rodal de Pino Oregón de 24 años. **Revista Bosque**, Valdivia, v.24, n.2, p.85-91, 2003.

ELIASSON, L.; WASTERLUND I. Effects of slash reinforcement of Strip-roads on rutting and soil compaction on a moist fine-grained soil. **Forest Ecology and Management**, USA, n.252, p.118-123, 2007.

FERNANDES, H; LOPES, S; TEIXEIRA, M; MINETTE, L; RINALDI, P; BERNARDES, A. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.37, n.83, p.225-232, 2009.

FERREIRA, C.; SILVA, H. **Formação de povoamentos florestais**. Colombo: EMBRAPA FLORESTAS, 2008. 109 p.

FINGER, C.A.; SCHNEIDER, P.R. Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden, com base no Índice de Espaçamento Relativo. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.9, n.1, p.79-87, 1999.

FOELKEL, E. Poda, Desrama e Desbaste das árvores de Pinus para melhor qualidade da madeira. **Pinus Letter: Décima quarta edição**. Disponível em: [http://www.celso-foelkel.com.br/pinus\\_14.html#quatorze](http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_14.html#quatorze). Acesso em: 7 de out. 2011.

FOGDESTAM, N.; BERGKVISTL, I. Great potential in corridor thinning of young stands for harvest of biofuel. In: OSCAR CONFERENCE, FOREST OPERATIONS RESEARCH IN THE NORDIC BALTIC REGION, 2010, Honne. **Proceedings**. Norway: NORDEN – Nordic Forest Research, Co-operation Committee (SNS), 2010. 31-32 p.

FRDING, A. **Thinning damage, a study of 403 stands in Sweden in 1988. Report 193**. Sweden: Sveriges Lantbruks Universitet, Institutionen fr Skogsteknik. 45 p.

GARCIA, H.; SARAIVA, G.; MOREIRA, A. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus Taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.4, p.603-612, 2006.

GINGRAS, F. A adequação de cabeçotes “*harvester*” de múltiplos troncos em desbastes e corte final. In: 2da FOREST ENGINEERING CONFERENCE, 2003, Vaxo, Suécia. Editado por: SEIXAS, F. **Resumos**. São Paulo: ESALQ/USP, 2003. 27 p.

GONZÁLEZ, E. O. **Manual de bosques implantados**. Buenos Aires: Hemisferio Sur, 1988. 139 p.

HALLONBORG, U.; BUCHT, S.; OLAISON, S. A new approach to thinning: integrated off-ground handling reduces damage and increases productivity. **Skog Forsk Results**, Uppsala, n.5, 1999. 5 p.

HALLONBORG, U.; NORDÉN, B. Successful trial with long knuckleboom. **Skog Forsk Results**, Uppsala, n.5, 2001. 5 p.

HUUSKONEN, S.; HYNYNEN, J. Timing and intensity of pre-commercial thinning and their effects on the first commercial thinning in *Scots Pine* stands. **Silva Fennica**, v.40, n.4, p.645–662, 2006.

INDERFOR; MFAF - MINISTRY FOR FOREIGN AFFAIRS OF FINLAND. **Tecnología de cosecha forestal finlandesa y su aplicación en el Sector Forestal de Argentina y Uruguay**. Buenos Aires: INDERFOR/MFAF, 2005. 143 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS - IPEF. **Programa de produtividade potencial do Pinus no Brasil**. Disponível em: <http://www.ipef.br/pppib/>. Acesso em: 10 set. 2006.

Instituto Forestal Nacional - INFOR. **Pino Ponderosa en Aysén: biometría y genética**. Santiago de Chile: INFOR, 2006. 192 p.

KÄRHÄ, K. Thinning intensity and the harvesting costs of first-thinning wood in Scots pine stands. In: SUADICANI, K.; TALBOT, B. **The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations, Working Papers No. 30**. Hørsholm: University of Copenhagen, Forest & Landscape Denmark, 2008. 92 p.

KÄRHÄ, K.; JYLHÄ, P.; LAITILA, J.; PAJUOJA, H. Whole tree bundling: A new concept for integrated pulpwood and energy wood procurement from early thinnings. In: SUADICANI, K.; TALBOT, B. **The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations, Working Papers N° 30**. Hørsholm: University of Copenhagen, Forest & Landscape Denmark, 2008. 92 p.

KIKUTI, P; SATSUKI, I; SPELTZ, R. Manejo de eucalipto para uso múltiplo na Klabin. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais do Seminário**, São Paulo, 1995.

KLEPAC, J.; RUMMER, THOMPSON, J. **Harvesting Small Trees for Bio-Energy**. Auburn, Alabama: USDA Forest Service, Southern Research Station, 2011. 11 p.

LAGESON, H. Effects of thinning type on the *harvester* productivity and on the residual stand. **Internacional Journal of Forest Engineering**, Umeå, v.8, n.2, p.7-14, 1997.

LAHTINEN M. **The Global challenges of harvesting and how the CTL method can respond to them**. 2011. 46 p. Thesis Degree of Forestry - Mikkeli University of Applied Sciences. Sweden.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento Sostenido**. Eschborn: GTZ, 1990. 335 p.

LANDFORD, B. L.; STOKES, B. J. Comparison of two thinning systems, Part I: Stand and site impact. **Forest and Products Journal**, v.45, n.4, p.74-96, 1995.

LANDFORD, B. L.; STOKES, B. J. Comparison of two thinning systems, Part II: Productivity and Costs. **Forest and Products Journal**, v.46, n.1, p.47-53, 1996.

LEDOUX, C.; HUYLER, N. Comparison of two cut-to-length harvesting systems operating in Eastern Hardwoods. **Journal of Forest Engineering**, v.1, n.12, p.53-59, 2001.

LIGNÉ, D. **New technical and alternative silvicultural approaches to pre-commercial thinning**. 2004. 140 p. Doctoral Thesis. Department of Silviculture, Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå, Sweden.

LIGNÉ, D.; ELIASSON, L.; NORDFJELL, T. Time consumption and damage to the remaining stock in mechanised and motor manual pre-commercial thinning. **Silva Fennica**, v.39, n.3, p.455-464, 2005.

LIN, F.; CHUNG, C.; ZENG, J.; YANG, T.; WANG, S.; LIN, C. Effect of thinning on the ring characteristics of Japanese Cedar plantation trees. **Journal of Wood Science**, v.58, n.2, p.104-112, 2012.

LINEROS, M.; ESPINOSA, M.; JIMENEZ, A. Daño a los árboles remanentes por sistema *harvester-forwarder* en raleo comercial de *Pinus radiata* D. Don. **Revista Bosque**, Valdivia, v.24, n.1, p. 87-93, 2003.

LOPES, S. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal**. 2007. 124 p. Tese Doutorado (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MACHADO, C.C; NEIRE, E, PEREIRA, R. O setor florestal Brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. **Colheita Florestal**. 2da ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 501 p.

MAGAGNOTTI, N.; SPINELLI, R.; NATI, C.; PICCHI G. A low-investment fully mechanized operation for the pure selection thinning of Softwood Plantations. In: OSCAR CONFERENCE, FOREST OPERATIONS RESEARCH IN THE NORDIC BALTIC REGION, 2010, Honne. **Proceedings**. Norway: NORDEN – Nordic Forest Research, Co-operation Committee (SNS), 2010. 5-6 p.

MAINARDI, G.L.; SCHNEIDER P.R.; FINGER C.A. Produção de *Pinus Taeda* L. na região de Cambará Do Sul, Rs. **Revista Ciência Florestal**, v.6, n.1, p.39-52, 1996.

MÄKINEN, H. Effect of thinning and natural variation in bole roundness in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). **Forest Ecology and Management**, v.107, n.1-3, 17, p.231-239, Au. 1998.

MÄKINEN, H.; ISOMÄKI, A. Thinning intensity and growth of Scots Pine stands in Finland. **Forest Ecology and Management**, v.201, p.311-325, 2004.

MÄKINEN, H.; ISOMÄKI, A. Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Scots Pine Trees. **Forest Ecology and Management**, v.203, p.21-34, 2004.

MÄKINEN, H.; ISOMÄKI, A.; HONGISTO, T. Effect of half-systematic and systematic thinning on the increment of Scots Pine and Norway Spruce in Finland. **Oxford Journal**, v.79, n.1, p.103-121, 2006.

MAKKONEM, I. **Choosing wheeled short wood forwarder, Technical Note N° 136.** Quebec: FERIC - Chaire, 1989, 12 p.

MALINOVSKI, J.; CAMARGO, C.; MALINOVSKI, R. Sistemas de colheita. In: MACHADO, C. **Colheita florestal**. 2da ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 501 p.

MALINOVSKI, R. Factores que determinan la elección de maquinarias y equipos de Cosecha Forestal. Montevideo: sd. (Documento inédito).

MALINOVSKI, R. **Otimização da distância de extração de madeira com forwarder.** 2007. 94 p. Tese Doutorado - Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, São Paulo.

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

MALINOVSKI, R.A. Os impactos da colheita mecanizada de madeira sobre o povoamento remanescente. In: 6° EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPR, Curitiba. **Anais do evento.** Curitiba: UFPR- Universidade Federal de Paraná, 1998. p. 213.

MANNER, J.; LINDROOS, O.; NORDFJELL, T. Time consumption during forwarding based on the number of assortment in a load. In: OSCAR CONFERENCE, FOREST OPERATIONS RESEARCH IN THE NORDIC BALTIC REGION, 2010, Honne. **Proceedings.** Norway: NORDEN – Nordic Forest Research, Co-operation Committee (SNS), 2010. 40-41 p.

MARTIARENA, R.; PINAZO, M.; VON WALLIS, A.; PAHR, N.; KNEBEL, O. Intensidad de raleo en plantaciones de *Pinus taeda* L., y sus efectos sobre la conservación de N, K, Ca y Mg en el sitio. In: XXII CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 2010, Rosario. **Proceedings.** Rosario: AACS – Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, 2010,

42 p.

MCNEEL, J.F.; BALLARD, T.M. Analysis of site stand impacts from thinning with a *harvester-forwarder* system. **Journal of Forest Engineering**, Vancouver, p.23-29, 1992.

MEDERSKI, P. A. Comparison of harvesting productivity and costs in thinning operations with and without Midfield. **Forest Ecology and Management**, v.224, p.286-296, 2006.

MIALHE, L. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Editora Ceres, 1974. 301 p.

MINETTE, L.J.; MOREIRA, F.M.; SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C.; SILVA, K.R. Análise técnica e econômica do *forwarder* em três subsistemas de colheita em florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.1, p.91-297, 2004.

MULLER, P.; ANGELI, A. **Implantação e manejo de florestas comerciais, Documentos Florestais No 18**. Piracicaba: IPEF, 2006. 14 p.

NICHOLS, M.; LEMIN, R.; OSTROFSKY, W. The impact of two harvesting systems on residual stems in a partially cut stand of Northern Hardwoods. **Canadian Journal of Forest Research**, Montreal, n.24, p.350-357, 1994.

NILSSON, U.; ALBREKTSON, A. Growth and self-thinning in two young Scots Pine stands planted at different initial densities. **Forest Ecology and Management**, v.68, p.209-215, 1994.

NOGUEIRA, A.; GARCIA, H.; LOPES, M.; FERREIRA, M. Avaliação financeira de plantações de eucalipto submetidas a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p.419-429, 2005.

NOGUEIRA, G.; LEITE, H.; REIS, G.; MOREIRA, A. Influência do Espaçamento Inicial sobre a Forma do Fuste de Árvores de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.5, p.855-860, 2008.

OLIVEIRA, D; LOPES, E; FIEDLER, N. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de toras de Pinus. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.37, n.84, p.525-533, 2009.

OSTROFSKY, W.; SEYMOUR, R.; LEMIN, R. Damage to northern hardwoods from thinning using Whole-tree harvesting technology. **Canadian Journal of Forest Research**, Montreal, n.16, p.1238-1244, 1986.

PETTY, A.; KÄRHÄ, K. Kembra supports and the profitability of small-sized wood harvesting from early thinnings in Finland. In: SUADICANI, K.; TALBOT, B. **The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations, Working Papers N° 30**. Hørsholm: University of Copenhagen, Forest & Landscape Denmark, 2008. 92 p.

PILKERTON, S.; HAN, J.; KELLOGG, L. Quantifying residual stand damage in partial harvest operations. **Joint Meeting of the Council of Forest Engineering and International Union of Forest Research Organisations**, Michigan, n.1, p.62-72, August 1996.

PINAZO, M. A.; MARTIARENA, R. A.; VON WALLIS, A.; CRECHI, E.; PAHR, N. M.; KNEBEL, O. Efectos de la intensidad de raleo sobre la compartimentalización y stock de carbono en plantaciones de *Pinus taeda* L. establecida sobre Ultisoles de Misiones. **Revista Técnica del INTA**, Monte Carlo, v.36, n.1, p.5-20. Abril 2007.

PULKKI, R. Harvesting methods & systems defined: Cut-To-Length, Tree-Length Or Full Tree Harvesting?. Disponível em: [http://flash.lakeheadu.ca/~repulkki/ctl\\_ft.html](http://flash.lakeheadu.ca/~repulkki/ctl_ft.html). Acesso em 7 set. 2012.

RIBEIRO, N.; SITO, A.; GUEDES, B.; STAISS, C. Manual de silvicultura tropical. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane, 2002. 123 p.

RUMMER, B. Forest Operations Technology. In: WEAR, D.; GREIS, J.002. **Southern forest resource assessment, Chapter 15**. Asheville: USDA, Forest Service, Southern Research Station, 2002. 635 p.

SANT'ANNA, M. A necessidade da diferenciação de equipamentos e sistemas de exploração em função do tipo de desbaste. In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS. **Anais do evento**. Curitiba: UFPR- Universidade Federal de Paraná e IUFRO - União Internacional de Organizações de Pesquisas Florestais. 1987. p. 425 p.

SANT'ANNA, C.M. Corte. In: MACHADO, C. **Colheita Florestal**. 2da ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 501 p.

SANG-KYUN, H.; HAN-SUP, H.; PAGE-DUMROESE, D.; JOHNSON, L. Soil compaction associated with Cut-to-length and Whole-tree harvesting of a coniferous forest. **Canadian Journal Forest Research**, Montreal, n.39, p.976-989, 2009.

SCHNEIDER P.R; FINGER, C.A. Influência da intensidade do desbaste sobre o crescimento em altura de *Pinus elliottii* E. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.3, n.1, p.171-184, 1993.

SCHNEIDER, R; SCHNEIDER, P. **Introdução ao manejo florestal**, 2ª ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008, 566 p.

SCOLFORO, J. Manejo florestal. Lavras, Br: UFLA/FAEPE. 1997, 438p.

SCOTT D. ROBERTS S.D.; HARRINGTON, C.A. Individual tree growth response to variable-density thinning in coastal Pacific Northwest forests. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.2771–2781, 2008.

SCOTT, S. Application of line thinnings in practice. **South African Forestry Journal**, v.102, p.67-72, 1977.

SEIXAS, F. **Relatório da 2ª Forest Engineering Conference, Vaxo, Suécia**. São Paulo: ESALQ/USP, 2003, 27 p.

SEIXAS, F., RUMMER R.; STOKES, B. A colheita de madeira nos Estados Unidos: a busca do manejo sustentado em equilíbrio com o meio ambiente. In: IX SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 1996, Curitiba. **Livro de apresentações**, p. 73-94.

SELLE, G.L.; SCHNEIDER P.R.; FINGER C.A. Classificação de sítio para *Pinus Taeda* L., através da altura dominante, para a região de Cambará do Sul, Rs, Brasil. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.4, n.1, p.77-95, 1994.

SILVA, E.; MACHADO, C.; MINETTE, L.; SOUZA, P.; FERNANDES, H.; SILVA, M.; JACOVINE, L. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de *Pinus sp.* com *harvester*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.4, p.745-753, 2010.

SIRÉN, M. Performance silvicultural e econômica de diferentes máquinas para desbaste. In: 2da FOREST ENGINEERING CONFERENCE, 2003, Vaxo, Suécia. Editado por: SEIXAS, F. **Resumos**. São Paulo: ESALQ/USP, 2003. 27 p.

SIRÉN, M. Tree damage in single-Grip *harvester* thinning operations. **International Journal of Forest Engineering**, Vantaa, v.12, n.1, p.29-38, 2001.

SIXEL, R. **Sistemas de manejo florestal**. Disponível em: <http://www.ipef.br/silvicultura/manejo.asp>. Acesso em: 28 nov. 2010.

SPINELLI, R. **Harvesting of thinnings**. Florence: National Council for Research, Timber and Tree Institute, 6p, 2004.

SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N. Performance and cost of a new mini-*forwarder* for use in thinning operations. **Journal of Forest Research**, v.15, n.6, p.358-364, 2010.

SPINELLI, R.; NATI, C. A Low-Investment fully mechanised operation for pure selection thinning of pine plantations. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v.2, n.30, p.89-97, 2009.

SYUNEV, V.; SOKOLOV, A.; KONOVALOV, A. **Comparison of wood harvesting methods in the Republic of Karelia, Metlan työraportteja**. Working Papers 120. Helsinki: Finnish Forest Research Institute, 2009. 117 p.

TALBOT, B.; NORDFJELL, T.; SUADICANI, K. Assessing the utility of two integrated *harvester-forwarder* machine concepts through stand-level simulation. **International Journal of Forest Engineering**, Canadá, v.14, n.2, July 2003.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C.; SANTINI, E.; SCHNEIDER, P.; FREITAS, L. Efeito da intensidade de desbaste na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Revista Floresta**, Curitiba, v.39, n.4, p.825-831, 2009.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C.R.; SCHNEIDER, P.R.; SANTINI, E.; MENEZES, L. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de

*Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.17, n.4, p.377-387, out. 2007.

TRINDADE, C.; REZENDE, J.; JACOVINE, L. SARTÓRIO, M. **Ferramentas da qualidade**, 2ª Edição. Editora UFV, 2007, 159 p.

TURNER, D. **Productivity of a small cut-to-length harvester in northern Idaho**. 2004. 52 p. Thesis (Master of Science With a Major in Forest Products, Timber Harvesting) - College of Graduate Studies, University of Idaho, Idaho, USA.

US FOREST SERVICE. **Manual de reforestación para América Tropical**. San Juan, USDA, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical, 2002. 206 p.

VASILIAUSKAS, R. Damage to trees due to forestry operations and its pathological significance in Tepemperate Forests. **Journal of Forestry**, Uppsala, v.74, n.4, p.319-336, 2001.

VIDRINE, C.; DEHOOP, C.; LANFORD, B. Assessment of site and stand disturbance from Cut-to-length harvesting. In: TENTH BIENNIAL SOUTHERN SILVICULTURAL RESEARCH CONFERENCE, Shreveport. **Proceedings**. Shreveport: US FOREST SERVICE, 1999, p.16-18.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M.; BONACINA, D. Biomassa e nutrientes removidos no primeiro Desbaste de um Povoamento de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.3, p.371-379, mai. 2011.

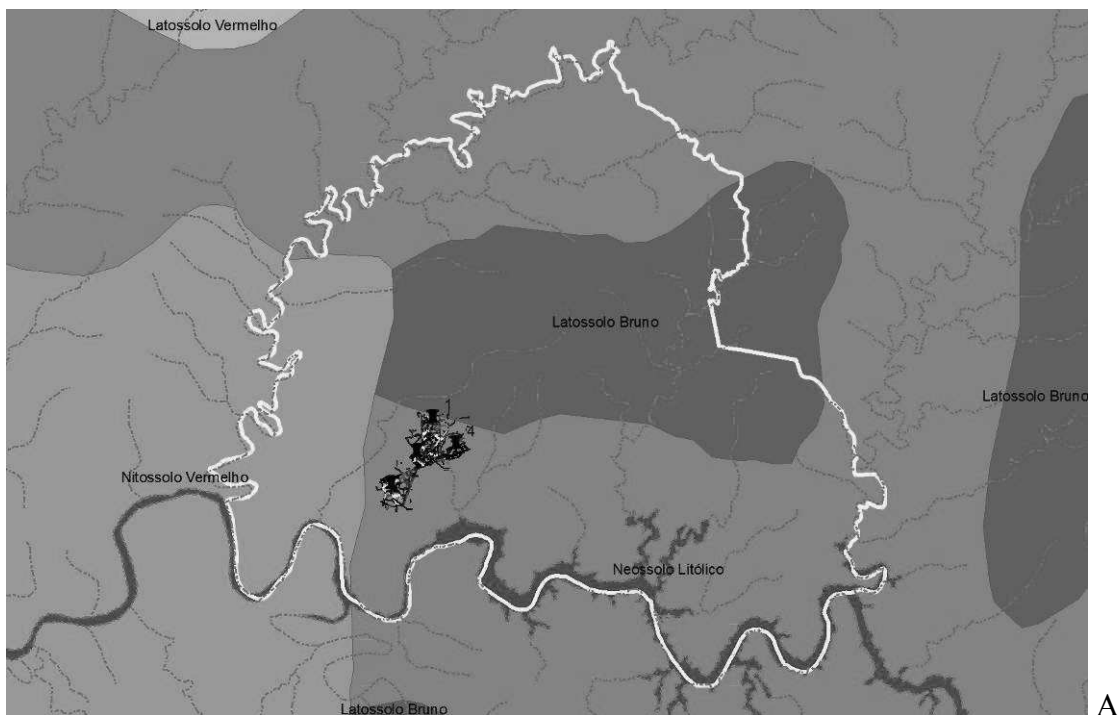
VISSER, R.; STAMPFER, K. Tree-Length system evaluation of second thinning in a Loblolly Pine plantation. **Southern Journal of Applied Forestry**, USA, v.27, n.2, p.77-83, 2003.

WADSWORTH, F. **Producción forestal para América Tropical: Manual de Agricultura 710-S**. San José: US FOREST SERVICE, 2000. 461 p.

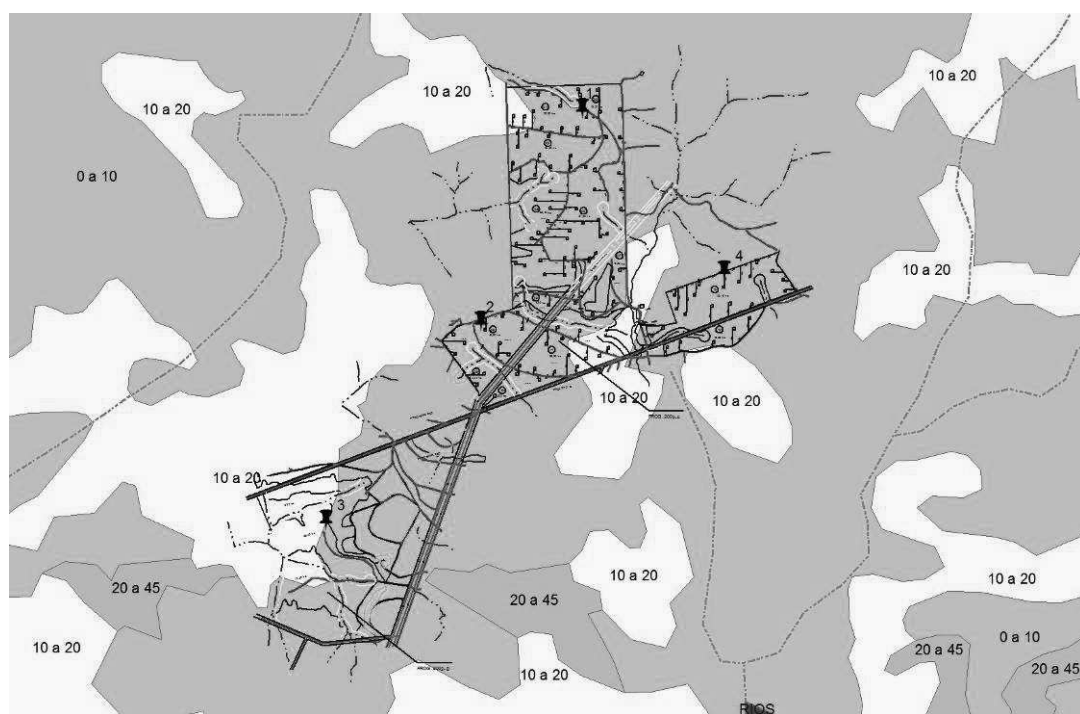


## **ANEXOS**

**ANEXO 1.** Mapas empregados na seleção de área de estudo.



A



B

Em que:

A) Tipos de solos da área de estudo. B) Mapa de declividade.

Fonte: IBGE, IPARDES/ITCG.

Formato: PDF e SHP

**ANEXO 2.** Resultados auxiliares obtidos na análise da uniformidade da área experimental em relação ao terreno, as características do povoamento e as condições de aplicação do desbaste.

A.) Resultados do inventário florestal realizado na área de estudo.

Tratamentos	Média por hectare					
	Quantidade de árvores	DAP (cm)	Altura (m)	Área basal (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> cc. ha <sup>-1</sup> )	Altura dominante (m)
Modelo de desbaste 1	937,04	20,58	17,40	33,14	288,26	18,8
Modelo de desbaste 2	981,48	20,49	17,40	34,31	294,44	18,6

Todas as variáveis da tabela, não apresentam diferenças estatísticas pelo teste “t” a uma probabilidade de erro inferior a 5 %.

B.) Intensidade de desbaste da área basal e a comparação de médias pelo teste “t”.

Tratamento	% da área basal retirada no desbaste						Média
	Parcelas ou unidades amostrais						
	I	II	III	IV	V	VI	
1	35,5	38,4	41,0	36,8	39,3	35,9	37,82 ns
2	29,7	38,7	29,3	33,4	30,5	40,0	33,62 ns

Em que: \* = significativo ao nível de 5 % de probabilidade de erro; ns = não significativo.

C.) Relação de Desbaste (RD) para as duas áreas onde foram aplicados os tratamentos de desbaste.

Unidade amostral do Inventário Florestal	Tratamento 1			Tratamento 2		
	Média do DAP (cm)		RD <sub>1</sub>	Média do DAP (cm)		RD <sub>2</sub>
	Desbaste	Remanescente		Desbaste	Remanescente	
1	19,9	24,2	0,8	18,1	23,7	0,8
2	17,3	23,2	0,7	15,7	21,3	0,7
3	17,3	23,0	0,8	17,1	23,1	0,7
4	17,5	24,1	0,7	17,7	24,4	0,7
5	17,5	21,8	0,8	17,1	22,3	0,8
6	17,7	23,7	0,7	18,2	23,4	0,8
Média da RD			0,8	Média da RD		0,8

Em que: RD < 1: Desbaste por alto; RD > 1: Desbaste por baixo; RD = 1: Desbaste médio.

**ANEXO 3.** Parâmetros calculados para a determinação da Produtividade (Pr) do *harvester* nos dois tratamentos ou modelos de desbaste.

	<b>Parâmetro</b>												
	<b>Tratamento</b>	<b>Horas efetivas de trabalho (he) *</b>	<b>Quantidade de árvores cortadas e processadas</b>			<b>Produção total</b>							
			<b>Para energia</b>	<b>Com sortimento</b>	<b>Total</b>	<b>Quantidade de toras produzidas</b>			<b>Volume produzido por tipo de tora (m<sup>3</sup>)</b>			<b>Média do volume por tora (m<sup>3</sup>)</b>	
						<b>Toras para energia</b>	<b>Toras para processos</b>	<b>Total</b>	<b>Para energia</b>	<b>Para processos</b>	<b>Total</b>	<b>Para energia</b>	<b>Para processos</b>
<b>1</b>	37,97	3.089	1.807	4.896	14.921	2.679	17.600	511,8	319,2	831,0	0,03	0,12	
<b>2</b>	29,80	2.289	1.109	3.398	10.138	1.667	11.805	354,8	189,0	543,8	0,03	0,11	

Em que: \* Horas efetivas de trabalho (he) consideradas só a partir dos turnos de operação de 9 horas registrados no Estudo de Tempos e Movimentos.

**ANEXO 4.** Dados e cálculos dos custos operacionais e de produção das máquinas de colheita de madeira na execução de ambos os tratamentos ou modelos de desbaste.



