

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

**ANÁLISE DE EXTRAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO COM
FORWARDER EM FLORESTA DE PRIMEIRA E SEGUNDA ROTAÇÃO**

CARLOS ADOLFO BANTEL

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia –
Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP

Setembro – 2006

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

**ANÁLISE DE EXTRAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO COM
FORWARDER EM FLORESTA DE PRIMEIRA E SEGUNDA ROTAÇÃO**

CARLOS ADOLFO BANTEL

Orientador: Prof. Dr. Paulo Torres Fenner

Co-Orientador: Prof. Dr. Elias Taylor Durgante Severo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia –
Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP

Setembro – 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Bantel, Carlos Adolfo, 1945-
B219a Análise de extração de madeira de eucalipto com
forwarder em floresta de primeira e segunda rotação /
Carlos Adolfo Bantel. - Botucatu : [s.n.], 2006.
xvii, 126 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2006
Orientador: Paulo Torres Fenner
Inclui bibliografia

1. Eucalipto. 2. Madeira - Exploração. 3. Forwarder. 4.
Colheita florestal. 5. Manejo florestal. I. Bantel, Carlos Adolfo. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: "ANÁLISE DE EXTRAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO COM
FORWARDER EM FLORESTA DE PRIMEIRA E SEGUNDA ROTA-
ÇÃO"**

ALUNO: CARLOS ADOLFO BANTEL

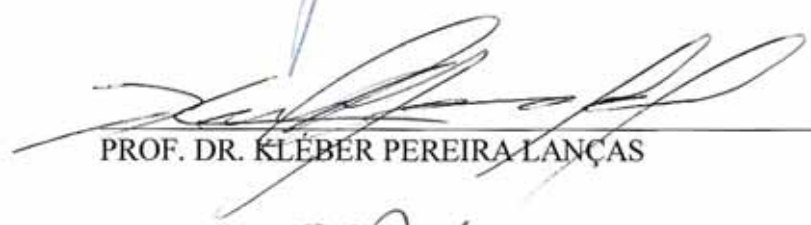
ORIENTADOR: PROF. DR. PAULO TORRES FENNER

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. PAULO TORRES FENNER



PROF. DR. KLÉBER PEREIRA LANÇAS



DR. JAIR ROSAS DA SILVA

Data da Realização: 01 de setembro de 2006.

DEDICATÓRIA

A Deus pela evidência da energia;

Aos meus pais, “*in memoriam*”, Ana Maria e Alberto que tinham nítida opinião sobre o valor da energia no meio rural;

À minha esposa Roselene pelo apoio e companhia;

Aos meus filhos Carla e Guilherme pela inestimável ajuda e participação;

Aos meus irmãos Günther e demais pelo entusiasmo e ajuda.

LÂMPADA PARA OS MEUS PÉS...

LUZ PARA O MEU CAMINHO...

SALMO 119,105

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À UNESP/FCA pela acolhida e oportunidade de estudar;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Energia na Agricultura pelos ensinamentos;

Ao Professor Doutor Paulo Torres Fenner pela orientação, ajuda e amizade;

Aos Professores, servidores, alunos e colegas da UNESP/FCA pelos ensinamentos, ajuda, participação, dedicação, amizade e companheirismo;

Às pessoas da comunidade local pelo apoio, dedicação e exercício da cidadania;

À Duratex S.A e seus colaboradores pela oportunidade de desenvolver o trabalho;

A todos os profissionais, amigos e familiares que participaram, contribuíram e desejaram meu sucesso no trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS	XIV
LISTA DE UNIDADES	XV
Resumo	XVI
Summary	XVII
1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVOS	04
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
3.1 O setor florestal mundial	05
3.2 O setor florestal brasileiro	08
3.3 <i>Eucalyptus</i>	09
3.4 Colheita florestal	10
3.5 Sistema de colheita	14
3.6 Planejamento	16
3.7 Corte florestal	18
3.7.1 Evolução das operações de corte	20
3.7.2 <i>Feller-buncher</i>	22
3.7.3 <i>Harvester</i>	24
3.8 Processamento	25
3.8.1 <i>Slingshot</i>	26
3.9 Extração	26
3.9.1 <i>Forwarder</i>	31
3.9.2 Grua e garra	33
3.10 Estudo de tempos e movimentos	36
3.10.1 Estudo de tempos	38
3.10.2 Estudo de movimentos	39

4 MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1 Materiais	40
4.1.1 Área experimental e tratamentos	40
4.1.2 Clima, solos, hidrografia e topologia.....	42
4.1.3 Tipo de floresta sub-bosque	42
4.1.3.1 Manejo do subsistema 1	44
4.1.3.2 Manejo do subsistema 2	45
4.1.3.3 Manejo do subsistema 3	45
4.1.4 Empilhamento dos toretes	46
4.1.5 Subsistemas de extração	48
4.1.5.1 Subsistema 1	49
4.1.5.2 Subsistema 2	50
4.1.5.3 Subsistema 3	51
4.1.6 Máquinas e equipamentos	52
4.1.6.1 Corte e processamento	53
4.1.6.2 Extração da madeira	57
4.1.7 Ciclo operacional da extração de madeira	59
4.1.7.1 Deslocamento sem carga na estrada	60
4.1.7.2 Deslocamento sem carga no ramal	60
4.1.7.3 Carregamento de toretes de madeira	60
4.1.7.4 Deslocamento com carga no ramal	61
4.1.7.5 Deslocamento com carga na estrada	61
4.1.7.6 Descarregamento	61
4.1.7.7 Atividades gerais	62
4.1.8 Disposição dos toretes de madeira na margem da estrada	62
4.1.9 Dados de movimentos e tempos	62
4.2 Metodologia.....	65
4.2.1 Delineamento experimental e análise de dados	65
4.2.2 Avaliação dos dados	66
4.2.2.1 Atividades efetivas	67
4.2.2.2 Atividades gerais	68

4.2.3 Cálculo de volume de madeira extraída	68
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
5.1 Velocidades operacionais do <i>forwarder</i>	69
5.2 Tempos das atividades parciais	70
5.3 Análise de variância dos elementos do ciclo operacional	72
5.3.1 Composição das pilhas no ramal	80
5.3.2 Quantidade de resíduos da colheita	80
5.3.3 Forma de carregamento do <i>forwarder</i>	80
5.3.4 Análise não paramétrica dos rendimentos operacionais	81
5.4 Rendimentos operacionais	82
5.4.1 Tempo médio por ciclo	84
5.4.2 Correlação entre a distância de extração e o rendimento operacional ..	85
5.4.3 Rendimentos operacionais médios	88
5.5 Análise dos movimentos	91
5.6 Balanço energético e custos	94
6 CONCLUSÕES	96
7 RECOMENDAÇÕES	97
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
9 APÊNDICE	107

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Produtividades e custos para o corte com <i>harvester</i> , segundo o manejo do povoamento.	25
2. Distribuição dos elementos do ciclo operacional do <i>forwarder</i>	33
3. Elementos médios do ciclo operacional e da produtividade do <i>forwarder</i> para diferentes comprimentos de toras. Adaptado de Santos e Machado (2001) ..	33
4. Relação entre alcance da grua e número de “estacionadas”	35
5. Atividades parciais e tempos (h) do ciclo operacional nos três subsistemas de extração florestal	71
6. Elementos do ciclo operacional e da rentabilidade operacional média do <i>forwarder</i> , para toretes de 5,5 m de comprimento, para uma distância média de extração de 150 m	71
7. Dados médios da análise de variância do número de gruadas no carregamento e no descarregamento	73
8. Análise de variância de subsistemas de extração de madeira, para o tempo total de ciclo, tempo de carregamento, tempo de descarregamento e média do volume (m ³) de madeira extraída por estrato	74
9. Análise de variância de subsistemas de extração de madeira, tempo de deslocamento sem carga no ramal, tempo de deslocamento com carga no ramal	75
10. Análise de variância de subsistemas de extração de madeira, para o número de	

gruadas para carregamento, número de gruadas para descarregamento e volume (m^3) de madeira extraída por parcela experimental de 50 m	76
11. Distâncias de extração de madeira, para tempo total de ciclo, tempo de carregamento, tempo de descarregamento por parcela experimental de 50 m .	78
12. Dados referentes a distâncias de extração de madeira, para o tempo de deslocamento sem carga no ramal, tempo de deslocamento com carga no ramal e volume (m^3) de madeira extraída por parcela experimental de 50 m ..	79
13. Aplicação do qui-quadrado para o rendimento operacional por subsistema ...	81
14. Limites unilaterais do qui-quadrado	82
15. Comparação percentual dos movimentos da grua do <i>forwarder</i>	83
16. Composição percentual dos tempos do <i>forwarder</i>	83
17. Equações da correlação entre o rendimento operacional do deslocamento do <i>forwarder</i> sem carga no ramal em função da distância de extração	87
18. Equações da correlação entre o rendimento operacional do deslocamento do <i>forwarder</i> com carga no ramal em função da distância de extração	88
19. Média dos tempos em segundos por ciclos	93
20. Rendimento operacional (m^3h^{-1}) por atividade do ciclo de extração de madeira	94
21. Rendimento operacional, consumo de óleo diesel e custo por m^3 na extração de madeira com <i>forwarder</i> , por subsistema	95
22. Declividades nos ramais de extração no sentido longitudinal e transversal	115
23. Dados da média, desvio padrão, valores mínimos e máximos para as variáveis: tempo total de ciclo, número de gruadas para carregamento, número de gruadas para descarregamento, tempo de carregamento, tempo de descarregamento, tempo de deslocamento sem carga no ramal, tempo de deslocamento com carga no ramal e volume em m^3	117
24. Volume médio dos toretes	124
25. Volume de madeira extraída por ciclo pelo <i>forwarder</i> no 1º ramal do subsistema 1	124
26. Volume de madeira extraída por ciclo pelo <i>forwarder</i> no 2º ramal do subsistema 1	124

27. Volume de madeira extraída por ciclo pelo <i>forwarder</i> no 1º ramal do subsistema 2	125
28. Volume de madeira extraída por ciclo pelo <i>forwarder</i> no 2º ramal de subsistema 2	125
29. Volume de madeira extraída por ciclo pelo <i>forwarder</i> no 1º ramal do subsistema 3	125
30. Volume de madeira extraída por ciclo pelo <i>forwarder</i> no 2º ramal do subsistema 3	126

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Tendências da mecanização em extrações florestais na Suécia, no período de 1930 –1980	6
2. Situação atual e previsão da eficiência do trabalho durante período de 1955 e 1980, na Suécia	7
3. Otimização da distância de extração	31
4. Elementos da grua hidráulica	34
5. Garra mecânica e garra hidráulica, respectivamente	35
6. Localização das áreas experimentais dos subsistemas de manejo e colheita 1, 2 e 3, em vermelho, nos talhões 91, 83 e 128A, respectivamente, na região de Lençóis Paulista, SP	41
7. Floresta e sub-bosque característicos dos subsistemas 1 e 2	43
8. Floresta e sub-bosque característicos do subsistema 3	43
9. Floresta de primeira rotação (subsistema 1 e 2)	44
10. Floresta de segunda rotação (subsistema 3)	46
11. Travesseiro para empilhamento de toretes no ramal	47
12. Travesseiro para empilhamento de toretes na margem da estrada	48
13. Pilhas de madeira no ramal de primeira rotação convencional (subsistema 1) ..	50
14. Pilhas de madeira no ramal de primeira rotação remontado (subsistema 2)	51
15. Pilhas de madeira no ramal de segunda rotação convencional (subsistema 3) ..	52

16. <i>Harvester</i>	53
17. Cabeçote <i>harvester</i>	53
18. <i>Feller-buncher</i> Caterpillar 320 CL	54
19. Cabeçote do <i>feller-buncher</i> Caterpillar 320 CL	55
20. Processador Timberjack 608	56
21. Processador Caterpillar 320 CL	56
22. Cabeçote processador	57
23. <i>Forwarder</i> Valmet 890.2	58
24. Grua com telescópio estendido	58
25. Garra Super Grip.....	59
26. Garra Aberta.....	59
27. Garra Fechada.....	59
28. Ilustração do subsistema, repetição e parcelas experimentais	66
29. Velocidade média (km/h) para os deslocamentos do <i>forwarder</i> sem e com carga	70
30. Tempo médio por ciclo para uma distância média de extração de 150 m	85
31. Relação entre o rendimento operacional e a distância de extração	86
32. Rendimento operacional do deslocamento sem carga no ramal em função da distância de extração	86
33. Rendimento operacional do deslocamento com carga no ramal em função da distância de extração	87
34. Rendimento operacional do <i>forwarder</i> para distância média de 150 metros de extração	88
35. Rendimento operacional médio do deslocamento sem carga no ramal em função dos diferentes subsistemas para a distância média de extração de 150 metros	89
36. Rendimento operacional do carregamento em m ³ por hora nos diferentes subsistemas	89
37. Média do rendimento operacional no deslocamento com carga no ramal nos diferentes subsistemas para uma distância média de extração de 150 metros ..	90

38. Rendimento operacional médio no descarregamento em m ³ por hora	91
39. Comparativo entre volume (m ³ /garrada) médio por garrada no carregamento e descarregamento, nos subsistemas	91
40. Velocidade média do descarregamento em segundos por gruada	92
41. Número de gruadas por hora no carregamento e descarregamento	93
42. Imagem Satélite Floresta em Lençóis Paulista-SP (Google Earth, 2006)	109
43. Talhão 83 - Primeira rotação, pilhas de madeira remontadas (subsistema 2) Amostra 2 Talhão 91 - Primeira rotação, pilhas de madeira convencionais (subsistema 1) Amostra 1	109
44. Talhão 128A - Segunda rotação, pilhas de madeira convencionais (subsistema 3) Amostra 3	109
45. Formulário do estudo de tempos e movimentos da atividade de extração da madeira	113
46. <i>Forwarder</i> Valmet 890.2 / Dados Técnicos	120

LISTA DE ABREVIATURAS

Os subsistemas, as atividades e os tempos das mesmas receberam siglas para sua identificação:

C	– Carregamento
D	– Descarregamento
DAP	– Diâmetro na altura do peito
DCT	– Deslocamento com carga no ramal
DVT	– Deslocamento sem carga no ramal
G	– Ciclo de grua no carregamento
GH	– Ciclo de grua no descarregamento
IMA	– Incremento médio anual
NGC	– Número de gruadas para carregamento
NGD	– Número de gruadas para descarregamento
MDF	– Medium density fiberboard (chapas de fibra de madeira de densidade média, 600 a 800 kg/m ³)
PIB	– Produto interno bruto
TC	– Tempo de carregamento
TD	– Tempo de descarregamento
TDCT	– Tempo de deslocamento com carga no ramal
TDVT	– Tempo de deslocamento sem carga no ramal
TTC	– Tempo total de ciclo
VOL	– Volume de madeira (m ³)

LISTA DE UNIDADES

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1,02 \text{ at}$$

$$1 \text{ hp} = 745,7 \text{ W} = 0,102 \text{ kg}$$

$$1 \text{ hp} = 745,69987158227022 \text{ W}$$

$$1 \text{ hp} = 0,7457 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kg} = 9,80665 \text{ N}$$

$$1 \text{ kg/hp} = 1,34228 \text{ kg/kW} = 13,163154 \text{ N/kW}$$

$$1 \text{ kp} = 9,80665 \text{ N}$$

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ kpm} = 0,1035947 \text{ Nm}$$

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ watts}$$

$$1 \text{ kW} = 1,341022 \text{ hp}$$

$$1 \text{ kW DIN} = 1,341022 \text{ hp}$$

$$1 \text{ Mpa} = 10^6 \text{ Pa} = 10^6 \text{ N/m}^2 = \text{N/mm}^2$$

$$1 \text{ Mpa} = 10 \text{ bar}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.s/m}^2$$

$$1 \text{ Nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ Nm} = 9,6153 \text{ kpm}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

RESUMO

Foram avaliados três subsistemas de extração de madeira em floresta de *Eucalyptus spp*, de um sistema colheita florestal de madeira curta, com toretes de 6 metros de comprimento. Subsistema 1: floresta de primeira rotação com pilhas de madeira formadas sobre “travesseiros” e dispostas em ambos os lados do ramal de extração; Subsistema 2: floresta de primeira rotação com pilhas de madeira formadas sobre “travesseiros” e dispostas em uma só fileira de pilhas de madeira por ramal de extração; Subsistema 3: floresta de segunda rotação, com as pilhas de madeira dispostas diretamente sobre o solo, ou seja, sem o “travesseiro”, em ambos os lados do ramal de extração. As pilhas de toretes foram extraídas utilizando a máquina *forwarder* Valmet 890.2. Os tempos de carregamento, descarregamento, deslocamento sem carga, deslocamento com carga e o tempo total do ciclo de extração da madeira foram menores no subsistema 2. O subsistema 2 apresentou maior rendimento operacional e maior economia no consumo de óleo Diesel por metro cúbico de madeira extraída em comparação com os demais subsistemas. O aumento do tamanho das pilhas e a concentração da madeira em uma única fileira de pilhas por ramal resultaram em maior rendimento operacional na extração com o *forwarder*.

ANALYSIS OF EUCALYPTUS WOOD EXTRACTION WITH FORWARDER IN FIRST AND SECOND ROTATION FORESTS. Botucatu, 2006. 126p.

Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CARLOS ADOLFO BANTEL

Adviser: PAULO TORRES FENNER

Co-Adviser: ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO

SUMMARY

Three forest handling and harvesting subsystems in an area of *Eucalyptus spp.* were analysed, in a cut-to-length system with short wood logs of 6 meters length. Subsystem 1: first rotation forest with wood logs piling up formed over platform and disposed along both sides of the extraction branches; Subsystem 2: first rotation forest with wood logs piling up formed over platform and disposed only along one side of the extraction branches; Subsystem 3: second rotation forest, with wood logs disposed directly on the floor, without any platform, along both sides of the extraction branches. The short wood log piles were extracted using a Valmet 890.2 forwarder. Times of loading and unloading activities, loaded and unloaded movements and total extraction time were smaller on subsystem 2. The subsystem 2 also permitted upper operational yield and bigger savings on Diesel oil consumption per cubic meter of extracted wood when compared to the other subsystems. The adoption of bigger wood piles concentrated along only one side of the extraction branch also resulted in an increasing on operational yield with the forwarder.

Keywords: time and movement, operational yield, wood harvesting, forest harvesting, systems, forest handling.

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro representa um importante segmento da economia nacional. Considerando-se apenas as florestas plantadas, este setor, em 2005 respondeu por cerca de dois milhões de empregos diretos e indiretos e 4,5% a 5,0% do Produto Interno Bruto (PIB), equivalente a cerca de US\$ 28 bilhões. Dentro deste contexto estão inseridos os produtos florestais oriundos do eucalipto, que representam a maior parcela destes recursos. Desta matéria-prima são produzidos celulose e papel, carvão vegetal, painéis reconstituídos, madeira serrada, lâminas, pontaletes para construção civil e geração de energia, entre outros itens, substituindo largamente a madeira oriunda de florestas nativas. Além destes produtos principais, são obtidos ainda óleos essenciais e até mesmo alimentos, elevando esta espécie a uma posição de fundamental importância na economia nacional.

No País, os produtos do setor de base florestal têm volume de exportação menor apenas que o da soja e seus derivados – contudo com valor agregado muito maior – e demonstram um valor social de relevância. Por outro lado, este setor tem os mais baixos índices de importação quando comparado com outras atividades agrícolas principais, revelando um alto grau de rentabilidade em divisas internas. O cultivo de essências florestais nativas ou exóticas, entre elas o eucalipto em maior proporção, ocupa, aproximadamente, 0,6% da área do território nacional e proporciona bem-estar econômico e social, em empregos diretos e indiretos, para mais de 2,0% da população. Considerando que em todas as regiões do território nacional há a possibilidade de produção de florestas, além de uma crescente

demanda de consumo de produtos de florestas plantadas, o tema tem representatividade suficiente para ser considerado de interesse nacional prioritário.

Já sob outro ângulo de análise, o crescimento populacional e a conseqüente procura por melhores condições de vida provocam transformações inevitáveis e irreversíveis no meio ambiente. A partir deste prisma, as atividades de base florestal encontram-se entre aquelas que causam menor impacto ambiental e têm os melhores índices de conservação dos recursos naturais. Estas características atraem investimentos em atividades geradoras de bens de consumo destinados a mercados exigentes, tanto na questão da qualidade quanto na de responsabilidade social e ambiental.

A adaptação de espécies pelo melhoramento genético e as atividades silviculturais nas diferentes condições edafoclimáticas, associadas ao uso de técnicas modernas, proporcionaram incrementos volumétricos ímpares, levando o Brasil a ter a silvicultura mais pujante do Planeta. Esta realidade permite avanços tecnológicos e desenvolvimento contínuo de novos métodos de trabalho que acompanham o progresso alcançado no setor, tanto na colheita florestal como na industrialização da madeira.

Do machado a sistemas altamente mecanizados com *feller-buncher* e *harvester* no corte de árvores, da prática de rolar e arrastar toras manualmente ou por tração animal até o uso de *forwarder* na extração de madeira, não se passaram mais que 20 anos. Nesse período foi desenvolvida uma série de métodos para abate de árvores, traçamento e extração de toras e toretes, tudo sem uma perda significativa de empregabilidade. Por outro lado houve um aumento considerável na segurança e no conforto laboral e social das pessoas envolvidas nestas operações. O uso de equipamentos modernos na colheita e extração florestal, tais como *feller-buncher* e *forwarder*, teve início no Brasil na década de 1970, com diversos modelos e protótipos desenvolvidos e adaptados em tratores agrícolas, baseados em equipamentos específicos desenvolvidos em países do hemisfério norte.

As dificuldades de importação de equipamentos adequados – principalmente o alto custo de aquisição e manutenção – levaram a indústria mecânica nacional a testar muitos modelos com princípios diferentes, aglutinando conhecimentos e atraindo fabricantes estrangeiros para o Brasil, que vislumbravam um promissor e competitivo mercado. A partir do início da década de 1990, o Governo Federal permitiu a abertura da economia e facilitou a importação de equipamentos específicos para a colheita florestal. Nesta

mesma época, os fabricantes nacionais de equipamentos pesados investiram na instalação de unidades fabris de tal maneira que, atualmente, o setor florestal brasileiro conta com uma grande variedade de equipamentos que ajudam a diminuir os custos na colheita e no transporte. Com as práticas de cultivo mínimo e silvicultura de precisão, equipamentos e sistemas operacionais reduziram o impacto ambiental a níveis plenamente aceitáveis.

Além do *feller-buncher* e do *forwarder*, a colheita florestal moderna conta também com outros equipamentos pesados, tais como o *harvester*, que corta e processa as árvores em toretes (uma a uma), e o *slingshot* ou processador, que prepara as árvores cortadas e as amontoa em feixes sob forma de toretes. Contudo, métodos simples e primários, como cortar árvores com machado e arrastar toras e toretes com animais, ou usar motosserra e tratores agrícolas simples, são encontrados principalmente nas florestas de pequenas e médias propriedades rurais. Tal situação demonstra que o plantio e condução de florestas de qualquer dimensão é uma grata realidade no Brasil, gerando economia e sustentabilidade para pequenos, médios e grandes proprietários florestais. A atividade florestal proporciona fixação do homem no campo, pois é perene e contínua. Em geral, não depende da sazonalidade climática ou de calendários rígidos para suas operações em quase todas as regiões do Brasil.

As florestas plantadas têm, basicamente, como objetivo a produção de madeira. As diversas atividades desenvolvidas ao longo do ciclo produtivo têm sido estudadas e melhoradas continuamente. A colheita florestal em geral representa mais da metade do custo de produção da madeira posta na indústria ou outro local de consumo, e compreende basicamente as operações de corte, extração e transporte rodoviário do material lenhoso. Nas florestas de eucalipto, a extração da madeira representa o segundo maior gasto entre as operações de colheita, ensejando continuamente pesquisas e estudos para otimização de recursos e diminuição de custos. A pesquisa no desenvolvimento de sistemas e subsistemas operacionais nas atividades de colheita florestal pode trazer melhorias nos rendimentos com novos métodos de trabalho, máquinas e equipamentos, auferindo benefícios em relação a custos, conforto laboral e sustentabilidade social e ambiental.

2 OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo foram: avaliar três subsistemas de extração de toretes de eucalipto com seis metros de comprimento, em três diferentes sistemas de colheita de madeira; determinar os tempos e rendimentos; e analisar os principais fatores de influência.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O setor florestal mundial

Segundo Lima (1996), na História recente, a riqueza dos países em mercado ativo estava diretamente influenciada pela situação dos recursos florestais existentes. A Suécia, por exemplo, já era exportadora de produtos florestais em 1637 (MARCELINO, 2004), e segue sendo atualmente.

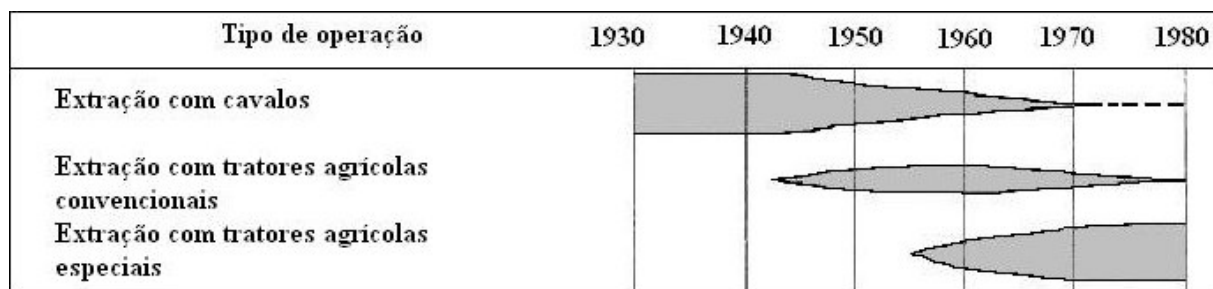
Os egípcios, gregos, fenícios, romanos utilizavam a resina (HOMA, 1983), utilização esta que se manteve através dos séculos até os dias de hoje, ou seja, durante mais de 2000 anos (MARCELINO, 2004).

Nas florestas suecas, durante o ano de 1950, foram colhidos cerca de 46,2 milhões m^3 de madeira, utilizando-se a força de 33 milhões de homens-dia, com rendimento de 1,4 m^3 /homem-dia. Em 1980, a colheita foi de 60,3 milhões de m^3 de madeira, usando-se 6,7 milhões de homem-dia, com rendimento de 9 m^3 /homem-dia (ANDERSSON; LAESTADIUS, 1987). Com a crescente mecanização das atividades de colheita florestal, notou-se um aumento considerável na produção e produtividade, ao passo que o uso de mão-de-obra decresceu.

Na Suécia, segundo os mesmos autores, o uso de mão-de-obra na colheita florestal decresceu durante o processo de mecanização, de 21 milhões de homens-dia em 1950 para 5 milhões de homens-dia em 1980.

Neste e em outros países de maior tradição na economia florestal, o problema de mecanização dos trabalhos já é objeto de estudos há várias décadas (SALMERON, 1980). Excetuando-se o uso de tração animal, que remonta aos tempos em que o homem se lançou na atividade florestal objetivando produção, pode-se afirmar que a mecanização das operações florestais teve início com a utilização de equipamentos adaptados, originalmente projetados para a agricultura. Esse tipo de solução supriu por certo tempo as necessidades do setor e, ainda hoje, é empregada principalmente por pequenos reflorestadores que têm a floresta como atividade secundária (SALMERON, 1980).

A dificuldade crescente de mão-de-obra e a ampliação da capacidade produtiva das grandes indústrias, entretanto, acarretaram grande volume de trabalho no campo e forçou o desenvolvimento de novos equipamentos, projetados especialmente para trabalho em florestas. Mesmo assim, a introdução de novos equipamentos não é um evento rápido, pois implica uma série de alterações, incluindo sistemas de trabalho, dimensionamento de equipes, treinamento de pessoal e, principalmente, aceitação do novo produto por parte do mercado consumidor. As tendências de mecanização na Suécia, no período de 1930 a 1980, mostraram que a aceitação de um sistema é lenta e gradativa (Figura 1) (SALMERON, 1980).



Fonte: Salmeron (1980)

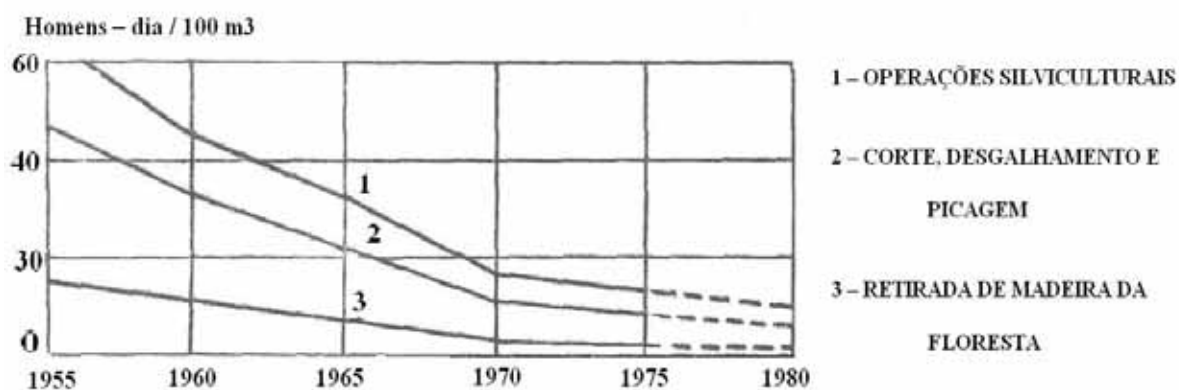
Figura 1: Tendências da mecanização em extrações florestais na Suécia, no período de 1930-1980.

Segundo Salmeron (1980), diversos fatores condicionam o desenvolvimento de equipamentos específicos para a floresta, dos quais os mais importantes são o desenvolvimento da indústria florestal, a evolução da própria indústria de equipamentos e a disponibilidade de mão-de-obra. Esta última é um fator limitante, pois enquanto for barata, mais difícil será a introdução de sistemas mecanizados. Historicamente, a indústria se mecaniza apenas quando não há outras alternativas para atingir satisfatoriamente seus

objetivos. Essa afirmativa é justificada pela única razão de que, na atualidade, a mecanização das operações florestais não implica na redução de custos, principalmente quando são comparados com os produzidos em operações manuais. Enquanto os níveis salariais do trabalhador continuarem baixos, a mecanização em alta escala sempre encontrará obstáculos para sua implantação.

Porém, é esperado que em pouco tempo torne-se imperiosa a necessidade de mecanizar ao máximo as operações de campo, para que programas de abastecimento sejam cumpridos dentro dos prazos previamente estabelecidos. Durante os últimos anos, foi observado que esse processo evoluiu bastante e a tendência é de uma mecanização ainda maior. Nas operações de carregamento e descascamento da madeira, a maioria das grandes empresas utiliza equipamentos específicos, atingindo excelentes níveis de rendimento e com significativa redução da mão-de-obra. Mesmo com poucas opções em equipamentos, a introdução de novos métodos de trabalho é que promoverá a racionalização e contribuição para o aumento da produtividade da exploração (SALMERON, 1980).

A racionalização dos trabalhos florestais e a mecanização levam a uma diminuição de uso de mão-de-obra (Figura 2).



Fonte: Salmeron (1980)

Figura 2 - Situação atual e previsão da eficiência do trabalho durante o período de 1955 a 1980, na Suécia

Nas últimas décadas, a evolução da mecanização florestal nas operações de exploração foi marcante por todo o mundo. No início do século XX surgiam os primeiros tratores a vapor e a gasolina, com finalidades agrícolas. Todavia, somente em 1931 é que foi construído o primeiro trator a óleo Diesel, projetado especificamente para fins florestais, ganhando crescente

aceitação no mercado internacional, pelo fato de desenvolver maior potência e gerar menos gastos com combustível. Entretanto, somente em 1960 é que se construiu o primeiro trator florestal, denominado *skidder* (MACHADO, 1984).

3.2 O setor florestal brasileiro

Desde a descoberta do Brasil, em 1500, o país sofreu redução superior a 90% nas áreas originais de Mata Atlântica, 50% nas de Cerrado e 20% nas da Amazônia. Ainda assim, dois terços de toda a madeira consumida são provenientes de florestas nativas, segundo Pinheiro (2006). Baena (1994) e Marcelino (2004) afirmaram que, com as devastações das florestas nativas brasileiras e para atender as crescentes demandas por produtos florestais, tornou-se necessário plantar ou reflorestar áreas já exploradas.

Blum (1979), por sua vez, revelou que o Brasil é um dos principais países reflorestadores do mundo, com florestas de eucaliptos, *pinus*, acácia, seringueira e araucária, entre outras espécies, plantadas em cerca de 0,6% a 0,7% do território nacional. Durante a década de 80, foram calculados até seis milhões de ha de plantio. Na década de 90, porém, a área foi diminuída a cinco milhões e, atualmente, encontra-se na faixa de 5,5 milhões de ha (SILVA, 2003; PINHEIRO, 2006).

O eucalipto compunha 61,7% das florestas plantadas do país (SILVA, 2003), sendo que um terço deste total estava localizado em Minas Gerais e um quarto em São Paulo (REZENDE, 1987). Florestas de *pinus* compunham 34% das florestas brasileiras, estando em São Paulo 14% desse montante. No total, o estado de São Paulo detinha 21% das áreas de florestas plantadas no Brasil (TOMASELLI; DELESPINASSE, 2000; MARCELINO, 2004).

Em termos econômicos, o setor florestal detinha 3% do PIB (Produto Interno Bruto), diz Rezende (1987), 4,5% (PAIM, 2002; MARCELINO, 2004) ou cerca de 5% (MINETTI *et al.*, 2002; SILVA, 2003; PINHEIRO, 2006), demonstrando que esta participação vem crescendo continuamente. Já as exportações correspondiam a 4,4% (REZENDE, 1987) do total.

O setor é formado por cerca de 60 mil empresas (PINHEIRO, 2006), proporcionando 2,5 milhões de empregos diretos e indiretos – algo em torno de 11% da

população economicamente ativa do país e com contribuições que chegaram a US\$ 3,8 bilhões anuais na arrecadação de impostos no ano de 2005 (PINHEIRO, 2006).

No mercado internacional, os produtos florestais brasileiros tiveram participação de 1% em 1990, sendo que em 2005 essa taxa chegou a 5% (PINHEIRO, 2006). Atualmente, estima-se que por volta de 25% do mercado mundial de celulose de fibra curta de eucalipto seja constituído por produto brasileiro (SQUILASSI, 2006). A indústria de painéis reconstruídos no Brasil, por exemplo, utiliza madeira de *pinus*, eucalipto e acácia, sendo que no estado de São Paulo é sensivelmente maior o consumo de eucalipto neste segmento.

3.3 *Eucalyptus*

Estimou-se em 1993, que a área mundial de eucalipto plantado era de 10 a 15 milhões de hectares, estando mais de 40% deste gênero no Brasil (ELDRIDGE *et al.*, 1993). Os primeiros plantios agrupados no país aconteceram no Rio Grande do Sul em 1868, promovidos por Frederico de Albuquerque (ANDRADE, 1961). Apenas a partir de 1904, entretanto, é que o eucalipto foi introduzido em escala econômica pelo Engenheiro Agrônomo Edmundo Navarro de Andrade, a serviço da Companhia Paulista de Estradas de Ferro de São Paulo (MARTINI, 2006). Os plantios visavam, principalmente, à produção de dormentes, mourões e postes, ao abastecimento de caldeiras das locomotivas e a outros fins energéticos, enfim, madeira que pudesse atender ao funcionamento da ferrovia (MARTINI, 2006).

Conforme as florestas nativas foram sendo devastadas por conta da demanda crescente, espécies de rápido crescimento passaram a ser cultivadas como substituição natural. Entre essas espécies estavam o eucalipto, o *pinus* e a acácia. Assim, a atividade florestal tomou novos rumos. Com a implantação de florestas homogêneas de espécies exóticas de rápido crescimento e a verticalização das empresas de grande porte, o Brasil está se tornando um importante exportador de papel, celulose e outros produtos derivados da madeira (FENNER, 1991; MARCELINO, 2004).

Dentre as espécies de eucalipto mais plantadas na atualidade se destacam a *E.grandis*, *E.saligna*, *E.camaldulensis*, *E.urophylla*, *E.citriodora* (gênero *Corimbia*), *E.viminalis*, *E.dunnii*, e *E.pellita*, bem como diversos híbridos (GARCIA;

PIMENTEL-GOMES, 1992) e clones de alta produção e destinos específicos. A espécie *E. grandis* compõe mais de 50% do total deste gênero plantado.

No país, os melhores plantios clonais de eucalipto atingem produtividades superiores aos 100 m³/ha/ano, enquanto que os mais produtivos plantios de *pinus* nos EUA chegam aos 30m³/ha/ano (SQUILASSI, 2006).

Em 2000, Silva (2003) escreve que o consumo de madeira industrial na forma de toras no Brasil foi avaliado em 166 milhões de metros cúbicos, sendo que 38,4% desse montante eram de essências nativas. Conclui-se que o restante, 61,6%, foi de madeira oriunda de florestas plantadas com essências exóticas.

Em 2000, 29,5% dos produtos madeireiros consumidos no Brasil seguiam para a indústria de serrados, 27,2% para a produção de carvão vegetal, 19,2% para as indústrias de celulose e papel, 17,4% para a produção de energia como lenha industrial, 3,6% para a fabricação de lâminas e compensados, e 3% em painéis reconstituídos, que englobam a fabricação de aglomerados, chapas de fibra e MDF, segundo a SBS (2001).

3.4 Colheita florestal

Considerada a mais importante parte do ponto de vista técnico-econômico, a colheita florestal é um conjunto de operações efetuadas no maciço florestal para explorar e extrair a madeira até o local de transporte ou utilização. Regida por técnicas e padrões estabelecidos com a finalidade de transformá-la em produto final, a colheita é composta pelas etapas de corte (derrubada, desgalhamento e processamento ou traçamento), descascamento quando executado em campo, extração e carregamento (SANTOS, 2001; MACHADO, 2002; SILVA, 2003). Tanaka (1986), por sua vez, considera que o processo envolve as operações de corte, pré-extração, extração, carregamento e descarregamento de madeira.

O carregamento refere-se à colocação da madeira no veículo para o transporte principal ou para a extração, e o descarregamento é a retirada da madeira do veículo de transporte, no local de utilização final ou em pátios especiais (SEIXAS, 2002).

Hoje, há grande diversidade de sistemas de colheita de madeira, cuja “implementação” depende de disponibilidade de recursos tecnológicos, financeiros e de qualidade da floresta (MINETTI *et al.*, 2002).

A modernização das operações florestais no Brasil, principalmente aquelas que fazem parte do processo de colheita e transporte de madeira, teve início na década de 70. As motosserras e as gruas carregadoras, por exemplo, foram algumas das máquinas de pequeno e médio porte introduzidas na indústria nacional nesta época. (SALMERON, 1980).

Classificados como de grande porte, os tratores florestais usados nas diversas etapas da colheita mecanizada são pesados, com elevada potência no motor e maior velocidade de deslocamento. Essas características permitem mobilidade e proporcionam aumento significativo na capacidade operacional, uma vez que realizam maior quantidade de trabalho em menos tempo. O excesso de tráfego na área de corte, entretanto, pode provocar danos às cepas e comprometer as futuras brotações, além de contribuir para o processo de compactação do solo (LIMA; LEITE, 2002).

Mas a introdução e crescente modernização da mecanização intensiva foi relacionada a diversos fatores, como a grande demanda pelos produtos e subprodutos da madeira no mercado interno e externo, expansão das áreas plantadas e aumento da produtividade das florestas, alto custo e pouca disponibilidade de mão-de-obra no campo, além do grande avanço tecnológico das indústrias de maquinário, que têm posto no mercado diferentes opções de máquinas e equipamentos. Mesmo assim, Lima e Leite (2002), aduzem que diversos tipos de máquinas sem acessórios indispensáveis à realização de trabalhos com conforto e segurança ainda chegam ao mercado. Aparentemente, opinam os autores, uma parcela de fabricantes não vem se preocupando com este fato.

A introdução da mecanização requer das empresas a adoção de uma série de atitudes, com o intuito de se atingir, rapidamente, a produtividade esperada. Uma dessas atitudes é a escolha adequada de máquinas e equipamentos dentro de determinado sistema, que, via de regra, pode ser realizada por intermédio de diversos ensaios (LIMA; LEITE, 2002). Estes ensaios evidenciam, na prática, as características técnicas e operacionais das máquinas (MIALHE, 1996). É possível coletar informações precisas de determinados atributos de cada máquina e criar parâmetros técnicos para projetos futuros, bem como contribuir para a correção de eventuais erros em projetos. Para isso, é de suma importância

que estes ensaios adotem normas técnicas definidas, esclarecendo os principais parâmetros e características dos tratores a serem levados em consideração durante a avaliação. Também devem avaliar características e parâmetros técnicos relevantes, relacionados aos aspectos dimensionais, ponderais, ergonômicos, operacionais e mecânicos, bem como ao raio e espaço de giro. A segurança e funcionalidade devem ser considerados prioridade em ensaios de tratores florestais (LIMA; LEITE. 2002).

De um modo geral, diz Salmeron (1980), a posição do Brasil não era diferente daquela ocorrida há algumas décadas em outros países, principalmente Canadá, EUA e nações escandinavas. Até aquela ocasião, grande parte da madeira de nossas florestas era extraída manualmente ou por sistemas que utilizavam, em sua maioria, equipamentos agrícolas adaptados. Por outro lado, algumas etapas da exploração têm atualmente um bom índice de mecanização, já que o mercado oferece uma série de equipamentos especiais que, até o momento, têm atendido satisfatoriamente às necessidades da indústria florestal. Ainda segundo Salmeron (1980), o desenvolvimento de equipamentos específicos para a floresta está condicionado a diversos fatores, dos quais se podem citar os mais importantes: desenvolvimento da indústria florestal, evolução da própria indústria de equipamentos e disponibilidade de mão-de-obra. Em um prazo bastante reduzido, tornar-se-á imperiosa a necessidade de mecanizar ao máximo as operações de campo, para que os programas de abastecimento sejam cumpridos dentro dos prazos previamente estabelecidos. Nos últimos anos, tem-se observado que esse processo evoluiu bastante e a tendência é acelerar ainda mais (SALMERON,1980).

A racionalização e o aumento da produtividade das atividades florestais se deram em maior escala após o surgimento de novas máquinas, principalmente na extração, por apresentar dificuldades naturais bastante grandes e envolvimento de altos custos (SOUZA, 1978).

Embora a mecanização não seja a única maneira de racionalizar os trabalhos florestais, esta tem elevado destaque nos esforços para reduzir custos, substituir mão-de-obra e tornar mais ameno o trabalho florestal (STÖHR; BAGGIO, 1981). Para exemplificar, diz Machado (1984), existem máquinas florestais e sistemas de exploração utilizados no Brasil que apresentam baixa eficiência operacional por falta de racionalização do trabalho.

A colheita, por sua vez, representa o principal item de custos de produção florestal com 50% ou mais do produto final, posto fábrica, conforme Duarte (1994); Minetti *et al.*, (2002) e Silva (2003). Ao lado da viabilidade econômica, atenção cuidadosa deve ser dada ao desenvolvimento e seleção de sistemas de colheita adequados às concepções ambientais e sociais (HEINRICH, 1993; SILVA, 2003).

Como afirmou Rezende *et al.* (1983), o custo de exploração é mais elevado na produção lenhosa, chegando a representar 50% dos custos totais no espaçamento denso (5.000 plantas.ha⁻¹). Segundo Jacovine *et al.* (2001), faz-se necessário e urgente buscar técnicas que tornem a colheita e o beneficiamento da madeira mais racionais, visando maior aproveitamento do material lenhoso. Dentre essas novas técnicas, a mecanização das atividades de colheita vem ganhando enorme destaque nos últimos anos, justamente por proporcionar vantagens consideráveis em relação aos métodos utilizados até então (MOREIRA, 1998).

A mecanização da colheita de madeira, embora não seja a única forma de controle da evolução dos custos, proporciona reduções drásticas em prazos relativamente curtos e alcança um lugar de elevada importância nos esforços de aumentar a produtividade e humanização do trabalho florestal (WADOUSKI, 1997).

As características de consumo permitem identificar que o processo de mecanização da colheita florestal, no entanto, não ocorre de maneira homogênea no Brasil. Enquanto os setores de celulose e chapas de madeira, por exemplo, procuram evoluir no processo da colheita através da adoção de novos métodos de trabalho e equipamentos, o mesmo não se pode afirmar com relação à colheita para fins energéticos (ZYCH, 1993; SILVA, 2003). Igualmente, os fornecedores das cerâmicas e das serrarias e laminadoras de médio e pequeno porte, flagrantemente em maioria nos estados do sul e sudeste do Brasil, também adotam métodos tradicionais e antiquados para a atividade.

Na colheita de madeira não falta diversidade de sistemas operacionais, sendo que a implementação de um ou outro sistema, entretanto, está intimamente relacionada à disponibilidade de recursos tecnológicos e financeiros, bem como à qualidade da floresta. Na colheita florestal, o melhor desempenho depende diretamente do conhecimento do volume da floresta, do planejamento criterioso das operações de corte, extração, carregamento, transporte

e descarregamento, o que evita acidentes, proporcionando maior produtividade da mão-de-obra, menor ociosidade dos trabalhadores e menor custo (SEIXAS, 2002).

3.5 Sistema de colheita

O sistema de colheita florestal pode ser definido como um conjunto de atividades, integradas entre si, que permitem o fluxo constante de madeira, evitando-se pontos de estrangulamento, levando os equipamentos à sua máxima utilização (MACHADO, 2002).

Segundo esse mesmo autor, os sistemas de colheita podem variar de acordo com diversos fatores, dentre eles topografia do terreno, rendimento volumétrico do povoamento, tipo de floresta, uso final da madeira, máquinas, equipamentos e recursos disponíveis.

Seguindo classificação da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 1974), os sistemas de colheita podem ser classificados quanto à forma da madeira na fase de extração, ao local onde é realizado o processamento final e ao grau de mecanização. Em muitos trabalhos adotam-se os critérios quanto à forma da madeira na fase de extração: sistemas de toras curtas, compridas e árvores inteiras. Machado (1985; 2002) propôs a seguinte classificação de sistemas:

Sistema de toras curtas (*cut-to-length*): a árvore é processada no local de derrubada, sendo extraída para a margem da estrada ou para o pátio temporário em forma de pequenas toras, com menos de seis metros de comprimento. É o sistema mais antigo em uso no Brasil.

Sistema de toras compridas (*tree-length*): a árvore é semiprocessada (desgalhamento e destopamento) no local de derrubada e levada para a margem da estrada ou o pátio temporário em forma de fuste, com mais de seis metros de comprimento.

Sistema de árvores inteiras (*full-tree*): a árvore é derrubada e levada para a margem da estrada ou para o pátio intermediário, onde é processada.

Sistema de árvores completas (*whole-tree*): a árvore é arrancada com parte de seu sistema radicular e levada para a margem da estrada ou para o pátio temporário, onde é processada.

Sistemas de cavaqueamento (*chipping*): a árvore é derrubada e processada no próprio local, sendo levada em forma de cavacos para um pátio de estocagem ou diretamente para a indústria.

Sistemas de toras curtas são aqueles em que todas as operações são feitas ao pé da árvore (canteiro de corte). A madeira é preparada em peças de comprimento de 2 a 6 m para o transporte primário. Para que se possa mecanizar um sistema de toras curtas é fundamental que o terreno permita a entrada de equipamentos, não sendo o sistema mais indicado para topografia acidentada, embora seja o sistema predominante no Brasil, tanto em locais planos quanto em acidentados. A maioria dos sistemas em uso no Brasil é de adaptações e variações do sistema de toras curtas (SALMERON, 1980).

Segundo Lima e Leite (2002), as principais máquinas utilizadas para as diversas operações que fazem parte da colheita florestal são: motosserra, *feller-buncher*, *feller*, *harvester* e *slingshot* para a derrubada de árvores; motosserra, *harvester*, *slingshot* e grade desgalhadora são alternativas no desgalhamento. No processamento, utiliza-se a motosserra, *harvester*, *slingshot*, a garra traçadora, processador e o *slasher*. O descascamento, quando executado no campo, é realizado por descascadores móveis, *harvester* ou processador, enquanto na indústria ele é feito por tambores rotativos. Na operação de extração, geralmente utilizam-se tratores agrícolas adaptados, *forwarders*, caminhões, *skidders* e cabos aéreos. No carregamento e descarregamento dos veículos de transporte usam-se os carregadores com gruas hidráulicas.

As máquinas para a colheita florestal foram desenvolvidas basicamente para dois sistemas: o primeiro, correspondente aos países escandinavos, é voltado para os sistemas de toras curtas (*cut-to-length*), em que o *harvester* executa a derrubada, o desgalhamento e o traçamento de forma contínua; em seguida, os *forwarders* realizam a extração da madeira para a margem da estrada ou para o local do transporte. O segundo, correspondente aos países da América do Norte, é voltado para os sistemas de toras longas (*tree-length*) ou árvores inteiras (*full-tree*), em que os tratores-derrubadores (*feller-buncher*) realizam a derrubada e o agrupamento das árvores em feixes, preparando-as para que os tratores arrastadores (*skidder*) efetuem a operação de arraste da madeira até o local de processamento. Em seguida, os tratores carregadores, acoplados aos equipamentos

desgalhadores e traçadores, *loader*, *slasher* ou *delimber*, executam o processamento e empilhamento ou carregamento diretamente nos veículos de transporte (MACHADO, 2002).

Segundo Machado (2002), os principais modelos de sistemas de colheita mecanizada utilizados atualmente pelas empresas são:

- motosserra + mini *skidder*, motosserra + autocarregável, motosserra + guincho;
- *harvester* + *forwarder*;
- *feller-buncher* + *skidder* + processador;
- *feller-buncher* + *skidder* + grade desgalhadora;
- *feller-buncher* + *skidder* + *delimber* + *slasher*;
- *slingshot* + *forwarder*.

3.6 Planejamento

O planejamento é a elaboração, por etapas, com bases técnicas, de planos e programas com objetivos bem definidos. É a arte e a ciência de projetar, em uma base racional, cursos futuros de ação para indivíduos, grupos ou corporações, e sua implementação efetiva requer o uso combinado de medidas quantitativas e qualitativas. É um processo de decisão com características próprias, pois define o futuro desejado para a organização e delineia os possíveis caminhos para atingi-lo (MACHADO; LOPES, 2002).

De acordo com estes autores, nos últimos anos, a atividade florestal no Brasil teve evolução técnica considerável e, somada à escassez de recursos financeiros, evidenciou a necessidade de planejar e controlar – condição indispensável para uma adequada gestão dos recursos produtivos. O tempo das rotações dos povoamentos florestais, a extensão das áreas plantadas, a diversidade de fatores técnicos, econômicos e ambientais, a política econômica e a própria atividade florestal tornaram complexo o planejamento. Por isso, devem ser consideradas as peculiaridades de cada empresa, seu ambiente interno e externo a serem desenvolvidos, de modo que contribua com a consecução dos objetivos empresariais.

Em virtude da existência e interação de inúmeros e complexos fatores técnicos, econômicos, ambientais e ergonômicos que interferem de forma dinâmica nas operações da colheita, há de se considerar que o planejamento é essencial para a identificação,

previsão e controle dos aspectos adversos e com a antecedência devida. É essencial ter o conhecimento e controle dos fatores, permitindo o estabelecimento de estratégias e práticas operacionais para execução das operações dentro de critérios estabelecidos (MACHADO; LOPES, 2002).

Ainda segundo Machado e Lopes (2002), dentre os fatores técnicos que influenciam o planejamento das operações e colheita estão, a floresta, o terreno, a finalidade da madeira, o rendimento operacional das máquinas, a demanda e as estradas principalmente. Já dentre os fatores econômicos na tomada de decisão estão os recursos financeiros, os custos operacionais das máquinas, a manutenção mecânica, o grau de mecanização e o regime de manejo. Por outro lado, nos fatores ambientais estão a capacidade de suporte do solo, as condições climáticas, o sistema de colheita e os valores estéticos e paisagísticos da floresta. Entre os principais fatores ergonômicos que devem ser considerados no planejamento estão as características ergonômicas do ambiente de trabalho (precipitação, temperatura, umidade relativa, ruído, vibração, luminosidade e exaustão de gases, fuligens e poeiras), características ergonômicas das máquinas e equipamentos, segurança, alimentação e treinamento. O microplanejamento refere-se ao planejamento no âmbito do talhão, em que são obtidas informações detalhadas, necessárias para facilitar a execução das operações.

Os mesmos autores completam que, no planejamento operacional, devem ser identificados fatores de relevância, como a área total do projeto e individual de cada unidade de colheita, o volume de madeira a ser colhido, as características da floresta (tais como espécie, volume.ha⁻¹, diâmetro e classe), topografia, capacidade-suporte dos solos, distribuição da capacidade e distâncias médias da rede de estradas, informações pluviométricas, disponibilidade de máquinas, equipamentos e mão-de-obra (quantidade e qualidade), exigências do regime de manejo florestal, variações climáticas, demanda do mercado e alterações impostas pela empresa.

No âmbito de campo, o planejamento deve ser executado pelo supervisor e/ou encarregado, por possuírem conhecimento detalhado da área, com melhores condições de realizá-lo. É fundamental que tenham um bom conhecimento das operações, das atividades interdependentes, dos recursos disponíveis, dos padrões e das metas para a área, e bom senso (MACHADO; LOPES, 2002).

Para estes mesmos autores, os sistemas de controle desempenham importante função no gerenciamento das operações de colheita. As informações obtidas através dos sistemas de controle são as bases para a tomada de decisão operacional, para o acompanhamento das operações de acordo com seus objetivos, conhecimento dos custos e rendimentos, e para o planejamento geral da empresa.

Já os objetivos do sistema de controle são assegurar o abastecimento da indústria, prover as informações para fins gerenciais e operacionais, alimentar o sistema de controle de custos e do orçamento da empresa, manter a integração entre as diversas operações da colheita, compor a base de dados do sistema de planejamento florestal, fornecer informações para pagamento de pessoal, gerar informações para treinamento operacional e reciclagens e finalmente assegurar o cumprimento do plano estratégico da empresa (MACHADO; LOPES, 2002).

3.7 Corte florestal

O corte é a primeira etapa da colheita florestal, uma operação de grande importância por ser a etapa inicial do preparo da madeira e tem grande influência na realização das operações subsequentes. Compreende as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento e empilhamento (SANT'ANNA, 2002).

Os tratores florestais constituem uma categoria especial, com características e recursos próprios que os deixam à frente dos tratores agrícolas. Suas aplicações são o corte, o processamento, a extração da madeira, e finalmente seu depósito em um local de acesso para o transporte florestal. A produtividade destas máquinas é determinada em função do volume de madeira processada na unidade de tempo. Atualmente, o mercado tem disponível estes tratores com múltiplos propósitos, concentrando todas as funções em um só chassi, necessitando de apenas um operador (LIMA; LEITE, 2002).

No planejamento do corte, deve-se considerar a minimização dos custos, a otimização dos rendimentos operacionais e a redução dos impactos ambientais. O direcionamento da derrubada de árvores é uma das principais etapas, sendo as faixas de derrubada planejadas de acordo com as rotas de extração, o que inclui não somente o

planejamento da direção, mas também seqüência de derrubada das árvores. Os fatores a serem considerados são: terreno, vias de extração, distâncias, métodos de trabalho e a direção do vento (SANT'ANNA, 2002).

Segundo o mesmo autor, as principais máquinas utilizadas no corte mecanizado são:

- *feller-buncher* (trator florestal derrubador-acumulador);
- *harvester* (trator florestal colhedor);
- *tree-puller* (arrancador de árvores);
- *delimber-buncher* (desgalhador-acumulador);
- *feller-skidder* (derrubador-arrastador);
- traçador mecânico;
- *bushcombine* (processador combinado);
- *delimber* (desgalhador).

O corte mecanizado tem algumas vantagens: alto rendimento individual; maior conforto e segurança do operador; possibilidade do trabalho em turnos. Suas principais desvantagens são: limitação do diâmetro de corte (máximo), elevado investimento inicial, exigência de boa estrutura de manutenção e limitação de atuação a terrenos planos e levemente ondulados (SANT'ANNA, 2002).

Para Seixas (2002), a busca da produção intensiva com máquinas de elevado custo aquisitivo aumentou a preocupação das empresas nos aspectos de disponibilidade mecânica e eficiência operacional. Esse fato levou-as a adotar sistemas mais eficientes de manutenção mecânica e treinamento de operadores, que recebem atenção especial, responsáveis pela otimização e economia das operações de colheita de madeira ao atingir a máxima utilização dos equipamentos, que deve ocorrer com um mínimo de interrupções, causadas por falhas mecânicas ou de planejamento de trabalho. Portanto, a empresa deve contar com um processo seletivo rigoroso e fornecer um programa de treinamento abrangente e de longa duração, inclusive com a utilização de simuladores, evitando-se o desgaste prematuro das máquinas mais sofisticadas tecnologicamente.

A escolha do tipo de máquina a ser utilizada na extração de madeira deve considerar não somente os aspectos técnicos e econômicos, mas também o grau de

impacto sobre o meio ambiente, notadamente o solo, em termos de compactação, a poluição por óleos combustíveis e lubrificantes e o assoreamento de cursos d'água. A adoção de equipamentos de georreferenciamento pode auxiliar no deslocamento das máquinas, principalmente na realização de desbastes, e evitar a ultrapassagem dos limites das áreas de colheita, atingindo faixas de proteção ou preservação permanente, entre outras vantagens (SEIXAS, 2002).

3.7.1 Evolução das operações de corte

O método mais antigo de corte é o com traçador e machado, muito utilizado até a década de 1950 e que começou a cair em desuso nos anos 1960, com a chegada das primeiras motosserras. Segundo Machado (2002), no início das atividades de reflorestamento no Brasil, poucas empresas utilizavam a mecanização nas operações de colheita. Até a década de 1940, praticamente não havia emprego de máquinas na colheita florestal. Durante muitos anos, estas dependeram do uso de equipamentos adaptados dos tratores agrícolas e industriais para a sua operação. Nesse período, os sistemas manuais e semi-mecanizados foram amplamente usados por falta de alternativas, empregando grande contingente de mão-de-obra, tornando as operações onerosas e com alto risco de acidentes.

O surgimento e a evolução das motosserras livraram o trabalhador de uma atividade rudimentar, como o corte manual, sendo o primeiro passo para a utilização gradual de máquinas na colheita de madeira. A instalação de algumas empresas fabricantes do produto nos anos 1970 provocou inovações no sistema tradicional de corte, e o uso de motosserras passou a ser acessível a praticamente todas as empresas florestais. Esse sistema de corte permite produtividade individual elevada, exige baixo investimento inicial, menos mão-de-obra, proporciona melhores salários aos trabalhadores, além de poder ser utilizado em locais de difícil acesso às máquinas especializadas. Entretanto, o corte com motosserra ainda é uma atividade perigosa e de elevada exigência física. Nesta década teve início, no Brasil, a modernização das operações de colheita florestal, com o surgimento do trator derrubador-acumulador (*feller-buncher*) (SANT'ANNA, 2002).

A introdução de equipamentos que substituíram o machado e a motosserra possibilitou o aumento da produtividade das operações de colheita, diminuindo a participação do homem nas atividades manual e semi-mecanizada, que proporcionam elevado desgaste físico, por serem em geral muito pesadas, e detêm elevado índice de acidentes. Uma pequena alteração na produtividade de sistemas mecanizados é, provavelmente, mais rentável do que grande modificação na produtividade de sistemas de trabalhos manuais, em razão das elevadas diferenças de rendimentos que os primeiros proporcionam (SANTOS, 1995; LIMA; LEITE, 2002).

A modernização das operações de colheita florestal teve início na década de 1970, e o surgimento do trator derrubador-acumulador (*feller-buncher*), no Brasil, ocorreu no fim da mesma década. Normalmente a introdução de uma máquina nova implica em alteração de pelo menos algumas etapas do sistema de colheita da empresa. Em sistemas mecanizados, o corte de florestas plantadas no Brasil atualmente é feito com diversas máquinas nacionais e importadas, disponíveis no mercado. As principais linhas de máquinas dividem-se em três grupos: motosserras, *feller-bunchers* (tratores derrubador-acumuladores) e *harvesters* (tratores florestal-colhedores) (SANT'ANNA, 2002).

Machado (2002) cita que, na década de 1980, vieram os *feller-buncher* com cabeçotes dos tipos faca e tesoura de sabre, montados em triciclos e grade desganhadora, que Sant'anna (2002) considerou como a grande inovação na mecanização do corte no Brasil.

O incremento da mecanização nas operações florestais, a partir do início da década de 1990, possibilitou ao Brasil manter-se competitivo no mercado internacional de produtos florestais, graças ao rendimento operacional dos equipamentos utilizados na colheita de madeira e à possibilidade de trabalho ininterrupto, que, devido à disponibilidade mecânica, e em virtude do sistema de colheita adotada por algumas empresas, permite o desenvolvimento de operações em três turnos de trabalho, abrangendo 24 horas diárias (LIMA; LEITE, 2002; SEIXAS, 2002).

Todavia, com a facilitação das importações, em 1994, houve aumento do custo da mão-de-obra e a necessidade de se executar o trabalho de forma mais

ergonômica, com maior eficiência e menores custos de produção. Muitas empresas iniciaram a mecanização da colheita de forma mais intensiva, obtendo ganhos significativos na utilização da mão-de-obra, reduzindo os índices de acidentes e alcançando, por conseguinte, bons resultados econômicos. A partir daí, a mecanização tem aumentado acentuadamente e, em consequência, a colheita florestal passou a ser mensurada em metros cúbicos por minuto, ao invés de metro cúbico por hora. A evolução da mecanização trouxe progressos para a colheita florestal, como máquinas com desenho ergonômico, motosserras mais leves, com menor vibração e ruído, máquinas com cabeçote de corte e acumulador (*feller-buncher*), que amontoam feixes para o arraste; e máquinas com cabeçote de corte acumulador e processador (*harvester*), que deixam a madeira pronta para o carregamento. O cenário atual da colheita é formado de três divisões: as grandes empresas, que dispõem de máquinas leves, médias, pesadas e sofisticadas; as empresas médias, que utilizam máquinas e equipamentos pouco sofisticados e mão-de-obra especializada; e as pequenas empresas, que continuam a utilizar métodos rudimentares, baseados em mão-de-obra não qualificada. O grau de mecanização da colheita florestal do Brasil só não é maior devido à dificuldade de se colher florestas em terrenos montanhosos, com mais de um fuste por cepa e baixo volume por árvore (MACHADO, 2002).

Machado (2002) considerou que outro ponto importante é o processo de terceirização na colheita florestal, uma realidade com fortes indícios de crescimento no Brasil, e que atualmente abrange cerca de 70% dos serviços de plantio, reforma, manutenção, colheita e transporte, dentre outras atividades. Além disso, com a globalização da economia mundial e as pressões ambientais provenientes de todas as partes do mundo, as empresas florestais brasileiras estão se adequando para atender às exigências dos mercados internos e externos. Por essa razão, a colheita e o transporte florestal, como partes do processo de produção florestal, também devem se adequar a estas novas exigências.

3.7.2 *Feller-buncher*

O *feller-buncher* (derrubador-acumulador) é um trator florestal de pneus ou esteira com cabeçote, um implemento frontal que faz o corte, acumula várias árvores e tomba-as (báscula), formando feixes de toras ou de árvores, empilhando-as para a posterior

operação. O cabeçote é uma peça de construção rígida, onde está localizado o órgão de corte – que pode ser composto por um disco dentado, uma tesoura de dupla ação, uma serra, ou um sabre – e os braços acumuladores, todos acionados por um sistema hidráulico (MACHADO, 2002).

O procedimento de corte consiste em fixar a árvore por duas garras na altura aproximada do DAP e, em seguida, fazer o corte no nível do solo com o instrumento adequado. Após o corte, é acionado o braço acumulador, firmando uma árvore no cabeçote, reabrindo as garras e acionando a máquina de corte para nova operação, até atingir a capacidade de carga. Após a derrubada da primeira metade dos dois eitos, o *feller-buncher* desloca-se para a outra extremidade do talhão, iniciando assim a derrubada da segunda metade do primeiro eito de trabalho e, posteriormente, a da outra metade do segundo eito, posicionando a base dos feixes para serem arrastados para essa extremidade do talhão (MACHADO; LOPES, 2002).

Segundo Sant'Anna (2002), o corte realizado com sabre é similar ao efetuado com motosserra, com diferença básica na força propulsora da corrente, pois com a motosserra a força é gerada por um motor a explosão, e não por motor hidráulico. Um ponto a ser salientado é que os *fellers* de sabre desenvolvidos no Brasil não são acumuladores, ou seja, efetuam o corte e depositam a árvore diretamente na pilha. Já o corte realizado com cabeçote de tesoura, segundo o mesmo autor, pode apresentar algumas variações quanto ao número de lâminas e ao sentido do corte. Os cabeçotes de guilhotina apresentam somente uma lâmina, a qual é introduzida frontalmente na árvore. Por fim, os cabeçotes com duas lâminas podem ter movimentos laterais simultâneos, ou uma lâmina ser fixa e a outra móvel, para efetuar o corte. Os cabeçotes de disco são formados basicamente por um motor hidráulico, que faz girar um disco metálico com dentes no seu perímetro. Este disco tem espessura de aproximadamente 50 mm, pesa em torno de 1.000 kg (2.245 kg é o peso total do cabeçote), gira a 1.500 rpm e é capaz de cortar uma árvore com um simples golpe.

Este trator com rodados de pneus está disponível no mercado com dois eixos-motriz, com chassi articulado e com quatro pneus, ou no formato triciclo. A versão triciclo possui um eixo-motriz e uma roda "maluca" na traseira. A potência do motor varia de 50 a 90 kW, e seu peso total sem carga, em alguns modelos, chega a 20 t, adaptado com rodado de

esteiras. Os feixes formados em ângulos de 45 ou 90 graus, ao longo da linha de plantio, são extraídos pelo trator *skidder* até o local de traçamento (LIMA; LEITE, 2002).

3.7.3 Harvester

De acordo com Lima e Leite (2002), este trator, conhecido como colhedor e processador florestal, é automotriz e tem a finalidade de cortar e processar árvores dentro da floresta. É uma máquina que pode executar, simultaneamente, as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento, descascamento e empilhamento da madeira. Suas características principais são definidas por um conjunto-motriz de alta mobilidade e boa estabilidade. É composta por uma máquina-base de pneus em tandem ou esteiras, uma lança hidráulica, grua e um cabeçote (MACHADO, 2002).

Alguns modelos desenvolvidos e utilizados são oriundos da adaptação de uma retroescavadora, que possui um braço de acionamento hidráulico (lança), acoplado ao cabeçote de múltiplas funções. A altura máxima e o comprimento do braço articulado são, em alguns modelos com movimento telescópico, pontos importantes na seleção, e o cabeçote de *harvester*, em associação com a estrutura da retroescavadora, é comumente chamado de trator *harvester*. (LIMA; LEITE, 2002).

O cabeçote é constituído de braços acumuladores (preensores), cuja finalidade é segurar e levantar a árvore após o corte. Nesse tipo de trator, a movimentação e o acionamento dos dispositivos que compõem o cabeçote são realizados pelo operador, que empunha um *joystick*. Em alguns modelos, o corte é realizado por uma serra, um sabre ou um disco, com a árvore posicionada horizontalmente e movimentada por rolos dentados ora para a esquerda, ora para a direita, de forma que o descasque e o desgalhamento seja realizado por uma estrutura metálica de corte (LIMA; LEITE, 2002). No caso de *one grip harvester*, o cabeçote derruba, desgalha e traça, e, em se tratando de *two grip harvester*, o cabeçote somente derruba, sendo o desgalhamento e o traçamento feitos em implementos localizados sobre o eixo traseiro da máquina-base (SANT'ANNA, 2002). Então, iniciam-se a toragem e o empilhamento, de acordo com a finalidade da madeira colhida, com a vantagem de alguns

modelos possuem um sistema de informação que determina e registra o volume de madeira processada no turno de trabalho.

Existem no mercado várias marcas e modelos de *harvesters*. A potência do motor varia, conforme os modelos disponíveis, entre 70 kW e 170 kW, e o peso total, entre 8,5 t e 16,5 t. Hoje, algumas empresas florestais estão adotando o trator com rodados de esteiras, por entenderem que, assim, menor pressão será aplicada ao solo, contribuindo para menor compactação mecânica.

Tabela 1. Produtividades e custos para o corte com *harvester*, segundo o manejo do povoamento.

Manejo	Volume (m ³ /árvore)	Produção (t/h)	Custo (US\$/h)	Custo (US\$/m ³)
1º desbaste	0,081	10,30	67,15	6,51
2º desbaste	0,199	21,21	67,15	3,16
3º desbaste	0,418	36,68	67,15	1,83
Corte raso	1,160	50,00	67,15	1,06

Fonte: Malinovski e Malinovski (1998)

Este trator tem sido muito utilizado em povoamentos florestais de alta produtividade e, de acordo com Sant'Anna (2002), no Brasil, na década de 1980 iniciou-se o desenvolvimento do *harvester*, buscando a redução de mão-de-obra com baixa qualificação, melhoria das condições de trabalho do homem e redução dos custos operacionais.

3.8 Processamento

O processamento das árvores (desgalhamento, toragem e embandeiramento) é totalmente mecanizado com o uso de processadores. A cada processador é dada uma faixa de trabalho (eito) de cinco linhas. A máquina entra pela quarta linha de seu eito e processa as árvores da primeira à quinta linha. Os toretes ficam posicionados entre a primeira e a terceira linha, e a galhada é colocada entre a terceira e a quinta linha (SANTOS *et al.*, 1995).

Na etapa de processamento das árvores, devem ser considerados os seguintes parâmetros: topografia, disposição dos feixes à beira do talhão, local de

empilhamento, disposição da galhada, capacidade de suporte dos solos e distância de segurança em relação a outras máquinas (MACHADO; LOPES, 2002).

3.8.1 *Slingshot*

É uma máquina básica, com cabeçote denominado *slingshot*. Este permite o corte e o processamento de diversas árvores ao mesmo tempo, graças à sua capacidade de acumular árvores antes de processá-las. Normalmente, é utilizada em povoamentos de baixa produtividade ou naqueles em que a brotação é conduzida para o segundo e/ou terceiro cortes (LIMA; LEITE, 2002).

3.9 Extração

É a operação que se refere à movimentação da madeira desde o local de corte até a estrada, carreador ou pátio intermediário. A extração de madeira é um dos pontos críticos da colheita florestal, exigindo um planejamento detalhado da operação, de maneira a empregar os equipamentos próprios dentro do sistema mais indicado de trabalho. Existem formas similares desta operação, muitas vezes dependendo do modo como ela é realizada ou do tipo de equipamento utilizado, das quais as mais comuns são o baldeio, arraste, o encoste e o transporte primário. Para tanto, os fatores de influência têm que ser corretamente avaliados, apresentando os respectivos pesos de importância a cada um (SEIXAS, 2002).

Para o autor, a conceituação de transporte primário refere-se à primeira movimentação da madeira até um ponto onde ela será transferida para veículos que farão o transporte final, chamado de transporte florestal, da floresta até o centro de consumo. Contudo, em certas condições de topografia favorável, o próprio caminhão que faz o transporte até a fábrica retira também a madeira de dentro da floresta, ocorrendo o que se chama de transporte direto. A eliminação do "transbordo", com o carregamento da madeira já empilhada na margem dos carreadores nos caminhões e a utilização de um único equipamento para todo o transporte, pode inicialmente apresentar alguma vantagem econômica, mas

pode também resultar em danos ao povoamento, devido ao maior impacto dos caminhões, contribuindo para a compactação e distúrbios do solo.

Para Machado e Lopes (2002), na etapa de extração, devem-se considerar os seguintes parâmetros: sentido de fluxo de extração, capacidade de arraste, topografia, disposição dos feixes no carreador, condições do carreador e a capacidade de suporte dos solos.

A inclinação do terreno delimita o equipamento a ser utilizado, influenciando diretamente o rendimento operacional da máquina escolhida. Deve ser respeitada para cada equipamento a sua capacidade máxima de trabalho, de acordo com a declividade e os acidentes do terreno (SEIXAS, 2002). Em alguns terrenos, os danos resultantes da erosão e as dificuldades de regeneração muitas vezes impedem a utilização de certos equipamentos que poderiam trabalhar em uma determinada inclinação. Como exemplo, um limite máximo aceitável para o trabalho com tratores de esteiras estaria entre 50% e 60% de declividade do solo. Acima disso, mesmo com a construção de estradas ou trilhas, a atividade é desaconselhável, em virtude do custo de construção, remoção de solo produtivo e ocorrência de erosão (CONWAY, 1976). Ressalte-se que atividades florestais em terreno com declividades iguais ou acima de 45° não são permitidas legalmente no Brasil, por se tratar de Áreas de Preservação Permanente.

A classe de solo está relacionada com a capacidade de sustentação e tração do equipamento. Estas características vão depender também do teor de água do solo, ocorrendo um processo de compactação acentuada com teores mais elevados de água e mesmo, por vezes, a total incapacidade de movimentação do veículo em determinada classe de solo e com determinada umidade (SEIXAS, 2002). Em um solo com baixa capacidade de sustentação do equipamento, uma rota deve ser estabelecida para cada ciclo da máquina, sendo muito importante a correta escolha do equipamento e o tipo de rodado. Além da sustentação, existe também o problema da compactação do solo. McNabb e Froehlich (1983) afirmam que a maior parte da compactação total em uma trilha de arraste já ocorre nas primeiras passadas de uma máquina. Pelo menos 60% do aumento esperado para a densidade do solo em uma trilha com uso elevado (mais de 20 passadas) ocorrem após as primeiras três a cinco passadas. Essa afirmativa foi escrita por Hatchell *et al.* (1970) e

confirmada por Froehlich e McNabb (1984), indicando a necessidade de se restringir o tráfego de veículos à menor área possível dentro da floresta, mesmo com aquela área atingindo níveis mais altos de compactação, mas reduzindo-se a extensão do solo compactado.

Pressões de contato aplicadas sobre o solo por algumas máquinas florestais chegam a atingir por volta de 100 kPa, enquanto os rodados de caminhões alcançam até 290 kPa, quando carregados (GREACEN; SANDS, 1980 apud MIALHE, 1993). No caso de distâncias curtas da floresta até o centro de consumo (média de 12 km), utiliza-se também, para transporte direto, a versão madeireira de um caminhão articulado e reboque *timber-hauler*, com capacidade aproximada de 42 t de carga, porém com limitação legal de uso exclusivo em estradas particulares.

No Brasil, os pequenos produtores continuam utilizando animais e caminhões com tração simples (4 x 2) para retirada de madeira da floresta. Das formas mais tradicionais, a extração com animais ainda é utilizada em algumas regiões, em razão do baixo custo, principalmente em locais acidentados, onde não há condições de se mecanizar a operação (SEIXAS, 2002). A extração com muar deve ser feita a uma distância máxima de 140 m, com limitação de 30% de declive e 15% a 17% de aclave. A velocidade de trabalho varia de 2,5 km/h a 4,0 km/h, dependendo da topografia, do tipo de solo e da intensidade do sub-bosque (FAO, 1974; TANAKA, 1986).

No que se refere a extração manual, as distâncias de extração variam até 25 m. Já em terrenos declivosos é empregado o chamado "tombo", que consiste no arremesso de toretes de até 2,20 m de comprimento morro abaixo até a margem das estradas. É feito a uma distância máxima de até 70 m, em declividades superiores a 30%, apresentando rendimento operacional médio entre 10 e 12 st/homem/dia (SEIXAS, 1987; 2002). Em alguns casos, o "tombo" manual, em terrenos inclinados, ainda é uma realidade, mas trata-se de um trabalho que certamente será substituído, em virtude do elevado desgaste físico (SEIXAS, 2002).

Tratores florestais como *forwarder* e *skidder* vêm sendo adquiridos pelas grandes empresas. As diversidades regionais encontradas impedem uma padronização das máquinas, o que dificulta a sua colocação no mercado consumidor. Por essa razão, o investimento em equipamentos especializados depende do aporte financeiro disponível nas

empresas, as quais muitas vezes optam por equipamentos mais versáteis, que possam ser utilizados em diferentes operações (preparo de solo, abertura de estradas, transporte), em detrimento de equipamentos tecnologicamente mais adequados. Por diversas vezes, a adaptação de tratores agrícolas pode constituir-se na alternativa economicamente mais viável (SEIXAS, 2002).

Na extração mecanizada, os equipamentos típicos empregados em sistemas de toras longas ou árvores inteiras envolvem um *feller-buncher* para cortar as árvores e um *skidder* para a extração das toras. Criado na década de 1960, o *skidder* é um veículo versátil, forte, fácil de operar e econômico. Sua robustez e facilidade de manutenção são algumas das outras razões que o fazem popular na América do Norte. Com esta máquina, pode-se trabalhar com diferentes tamanhos de árvores. O sistema *feller-buncher* + *skidder* tem sido otimizado para produção em sistemas de corte raso em larga escala. Trata-se de um sistema comumente utilizado em florestas tropicais, devido ao elevado peso das toras. Também é comum nas florestas norte-americanas. Exatamente por serem muito grandes e dificultarem a movimentação de retirada, essas toras exigem maior potência dos equipamentos (SEIXAS, 2002).

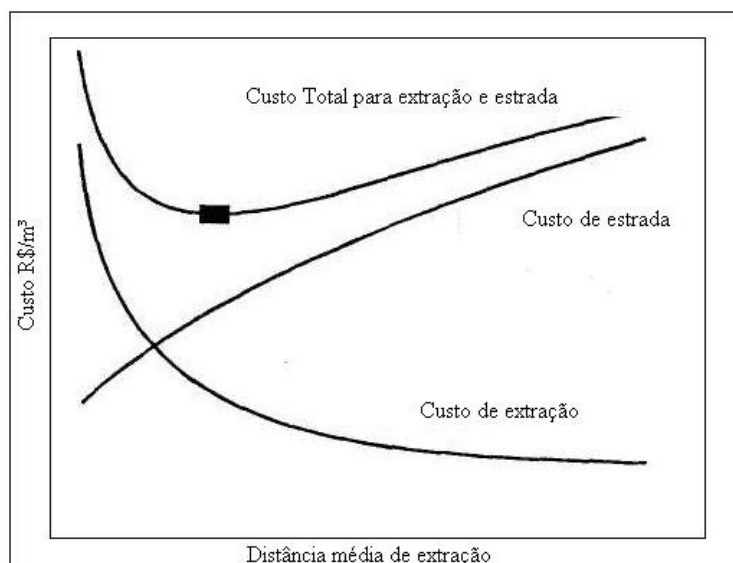
É de grande importância para a viabilidade das operações florestais que a extração seja desenvolvida ao menor custo possível, de maneira que se faz necessário o conhecimento de todos os fatores que influenciam na produção da extração, a utilização dos meios disponíveis e estrutura dos custos parciais da operação. Os mais importantes seriam o tempo de viagem, os tempos terminais (carregamento e descarregamento), o tamanho da carga, grau de utilização dos equipamentos, os custos com salários, máquinas e materiais (STAAF; WIKSTEN, 1984).

Na extração é importante a definição da disposição dos toretes e seu ângulo em relação ao eixo do ramal de extração. Minette *et al.* (2004) descrevem um sistema em que feixes, com toras de seis metros, foram direcionados a aproximadamente 30° em relação ao alinhamento do plantio, realizando o carregamento apenas por um lado, pelo fato da distância entre as pilhas de cada eito ser maior que o alcance máximo da grua do *forwarder*. Os mesmos autores ainda descrevem um sistema com a mesma disposição dos feixes, em relação ao eixo do ramal de extração. Contudo, a distância entre as pilhas formadas foi menor,

proporcionando condições para que o carregamento fosse realizado por ambos os lados (direito e esquerdo). No sistema em que os feixes encontravam-se em um só lado do ramal de extração, o tempo de carregamento e o tempo total foram melhores, considerando o menor número de deslocamentos verificados durante o carregamento.

Quanto menor a árvore, maior o custo operacional por unidade de produção. O uso de peças maiores significa necessidade de menor número para completar uma carga, o que diminui os custos operacionais variáveis. Contudo, o incremento no tamanho das árvores acima de determinado ponto, dependendo da capacidade da máquina empregada, pode eliminar certas vantagens. A densidade do talhão está relacionada com o número de árvores colhidas por área e o volume das pilhas de madeira, que influencia diretamente na operação de carregamento. Em florestas com baixa densidade, o tempo de viagem da máquina aumenta, a produção fica abaixo da média e os custos unitários tornam-se elevados (SEIXAS, 2002).

O planejamento inicial feito na floresta, em termos da dimensão dos talhões, densidade e qualidade da rede viária, já determina a distância de transporte e condiciona a seleção dos equipamentos mais adequados para cada situação. Contudo, o inverso também deve ser considerado, ou seja, a escolha do sistema de transporte mais adequado a uma empresa pode vir a condicionar a rede viária necessária (SEIXAS, 2002), uma vez que o custo da rede viária é inversamente proporcional à distância de extração. Deve ser determinado um ponto de equilíbrio que considere o custo total mínimo resultante da combinação dos custos de extração e construção de estradas por metro cúbico de madeira (Figura 3).



Fonte: Modificado de Plamondon e Favreau (1994) apud Seixas (2002)

Figura 3. Otimização da distância de extração.

3.9.1 Forwarder

Máquina constituída por grua e compartimento de carga, também conhecida como trator florestal transportador, cuja função é a retirada da madeira de dentro dos talhões, levando-a para as margens das estradas. O seu uso é mais comum em sistemas mecanizados, em que o corte e o processamento das árvores são realizados por um *harvester*. Pode ser dotada de sistemas de rodados de pneus em *tandem* ou esteiras, com chassi articulado, possibilitando a diminuição do raio de giro nas manobras dentro do talhão. Possui uma cabina de proteção ao operador, com sistema condicionador de ar e assento giratório, facilitando a ação e visibilidade na operação. Seu carregamento com a madeira é feito por um braço de acionamento hidráulico articulado e telescópico, acoplado a ele uma garra com movimento de abrir e fechar. O *forwarder* se movimenta no talhão, posicionando-se próximo aos feixes de toras, e aciona, hidráulicamente, calços que permitem o posicionamento do braço de carregamento em um ângulo de 90 graus com o plano longitudinal do trator, com o objetivo de minimizar o momento provocado após o abraçamento e a suspensão das toras pelo braço, com um alcance aproximado de sete metros. Na seqüência, processa o carregamento de sua caçamba, de volume variável, adaptada com estruturas laterais que permitem o empilhamento das toras,

apoiadas sobre uma plataforma. O comprimento destas pode variar de acordo com os diferentes sistemas de colheita, sendo o mais comum o de até seis metros (LIMA; LEITE, 2002).

No mercado encontram-se várias marcas e modelos, com o peso variando de 9 t a 12 t e potência do motor na ordem de 70 kW a 120 kW. A distância dos deslocamentos carregado e vazio influencia o rendimento no seu ciclo operacional, no entanto, o carregamento e o descarregamento são os elementos do ciclo operacional mais importante, uma vez que consomem até 85% do tempo total. A capacidade de carga varia entre 10 t e 19 t e os pontos de carregamento devem ser levados em consideração no planejamento da operação. Na área de colheita, inclinações maiores ou semelhantes a 40 graus, podem limitar o tráfego dessa máquina (LIMA; LEITE, 2002).

Originalmente fabricados no Canadá e aprimorados na Escandinávia, os tratores florestais autocarregáveis são, em sua maioria, máquinas articuladas com suspensão da plataforma embaixo do chassi traseiro, com capacidade de carga variando de 5 t a 20 t. A razão entre o peso movimentado e a potência do veículo oscila entre 140 kg/hp e 280 kg/hp, com a maioria situando-se na faixa de 160 kg/hp a 180 kg/hp. A velocidade não é uma característica essencial desse trator, pois a maior parte do seu tempo operacional é gasta com carga e descarga. Ele se destaca muito mais pela capacidade de superar as condições adversas encontradas no campo (SEIXAS, 2002).

Essas máquinas possuem uma caixa de carga e um carregador de acionamento hidráulico que pode ser montado tanto no chassi de carga como no chassi dianteiro. O carregador geralmente conta com uma capacidade de carga que varia de 300 kg a 1.800 kg por ciclo e alcance de 3 a 12 metros. Estes tratores podem trabalhar em terrenos acidentados em aclive de até 30% ou em declive de 60%. Trata-se de um equipamento com custo de aquisição elevado, que exige florestas de boa produtividade e operador qualificado. Com as distâncias médias de extração situando-se entre 200 m e 300 m e rendimentos operacionais em torno de 30 m³/hora (SEIXAS, 1987; SOUZA *et al.*, 1988).

Segundo Peña *et al.* (1993), as atividades do ciclo operacional do *forwarder* seguem uma distribuição média de tempo, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Distribuição dos elementos do ciclo operacional do *forwarder*.

Atividades	Tempo total do ciclo operacional
Deslocamento	5-8 %
Parada	6-10 %
Carregamento	50 – 60 %
Descarregamento	28 – 34 %

Fonte: Peña *et al.* (1993)

O número de toras por carga da garra é sempre menor para carga do que para o descarregamento, especialmente se o feixe para a carga for pequeno (WENGER, 1984). Santos e Machado (2001) avaliaram o desempenho técnico e econômico da extração de madeira com *forwarder* em floresta de eucalipto de primeira rotação para diferentes comprimentos de toras. Constataram que a operação com toras mais longas (até 5,5 metros) foi mais produtiva (Tabela 3) e que a produtividade do *forwarder* cresce inversamente proporcional à distância de extração em um mesmo comprimento de toras. Maiores comprimentos de toras se traduzem em menores custos de operação.

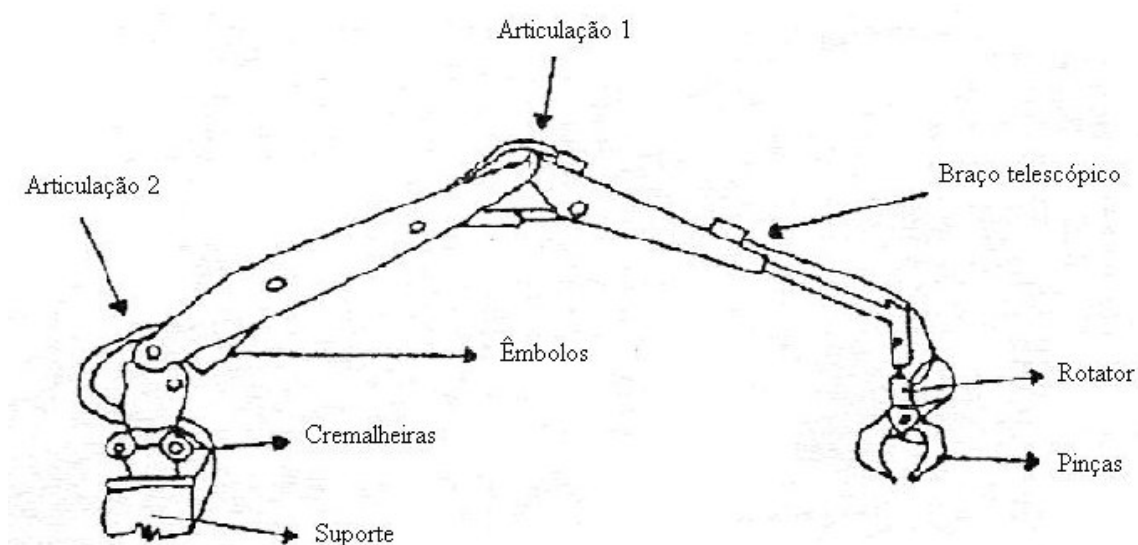
Tabela 3. Elementos médios do ciclo operacional e da produtividade do *forwarder* para diferentes comprimentos de toras. Adaptado de Santos e Machado (2001).

Comprimento da tora (m)	Distância de extração (m)	Elementos do ciclo operacional				Ciclo total (h)	Produção acumulada	Produtividade (m^3h^{-1})
		Carga	Descarga	Viagem com carga	Viagem sem carga			
2,8	300	0,32	0,110	0,044	0,021	0,495	122,01	246,5
4	300	0,20	0,066	0,044	0,021	0,331	132,91	401,6
5,5	300	0,20	0,066	0,021	0,044	0,331	182,81	552,3

3.9.2 Grua e garra

Segundo Seixas (2002), a grua é formada por um suporte rígido, o qual une uma base giratória ao chassi do trator, dois braços articulados, podendo o segundo ser telescópico, e uma garra, que se une ao segundo braço por meio de um rotator. Seu

movimento é obtido graças ao sistema de rotação da base, das duas articulações, ao alargamento do segundo braço e ao rotator. Todos esses elementos movem-se por acionamento hidráulico, através de uma linha de pressão que alimenta uma bomba conectada aos elementos de transmissão do trator e que reparte o fluido mediante um distribuidor hidráulico (Figura 4).

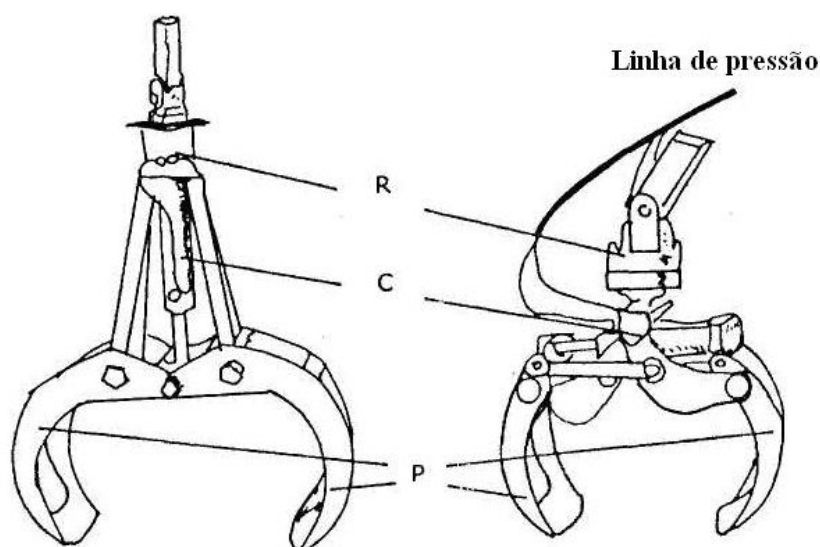


Fonte: Peña *et al.* (1993)

Figura 4. Elementos da grua hidráulica e garra.

A grua deve realizar as operações de carregamento e descarregamento o mais rápido possível e sua velocidade é relacionada à capacidade de carga da garra e à rapidez de ação de cada um de seus elementos. Para escolher a secção de abertura da garra, deve-se levar em conta o peso da madeira. Se ela tem baixa densidade e são curtas, pode-se optar por garras de maior abertura, pois movem maior volume e menor peso. Se a madeira for densa e de maior comprimento, deve-se considerar as garras de secção menor (PEÑA *et al.*, 1993).

Para Seixas (2002), a rapidez de movimento da grua também depende da velocidade de movimento dos seus elementos e do desenho dos braços e das articulações. Se a grua está dimensionada para um maior alcance, a duração da fase de carregamento será maior, por serem maiores as distâncias a serem cobertas. Deve-se optar sempre por guias que tenham um alcance adequado, de acordo com a disposição espacial da madeira sobre o terreno. A maior rapidez da grua irá exigir maior potência e menor capacidade de carga (Figura 5).



Fonte: Peña *et al.* (1993)

Figura 5. Garra mecânica e garra hidráulica, respectivamente

Elementos da garra: (R) Rotor ou rotator, (C) Cilindro, (P) Pinças

O tempo de paradas depende do número de "estacionadas" para se completar uma carga do trator e do tempo consumido para realizar cada estacionada (Tabela 2). O número de estacionadas depende, por sua vez, do alcance da grua, diminuindo com o aumento desse alcance (Tabela 4). Contudo, o crescimento do alcance da grua diminui a velocidade do ciclo de carga/descarga e, o que é mais importante, mantém a potência do trator, resultando na diminuição da capacidade de carga com o alcance (SEIXAS, 2002).

Tabela 4. Relação entre alcance da grua e número de "estacionadas".

Alcance (m)	5	6	7	8	9	10	11	12
Nº de estacionadas	125	92	70	56	45	38	32	27

Fonte: Peña *et al.* (1993).

Outro fator que influi na operacionalidade do trator é o peso da própria grua, pois, à medida que este aumenta, diminui sua capacidade, além de subir o seu centro de gravidade, aumentando a instabilidade. Esta característica, aliada à própria robustez que deve ter a grua, faz com que seja necessário projetá-la com base em materiais especialmente resistentes e leves. Por outro lado, quanto maior a capacidade volumétrica da grua, maior será o rendimento operacional no trabalho, desde que compatível com a força disponível, e quanto

menor o tempo gasto para realizar o movimento da garra para carga e descarga, maior será o rendimento (SEIXAS, 2002).

Marcelino *et al.* (2006), estudando o carregamento de caminhões concluíram que, para toretes de eucalipto com 6,0 m de comprimento, a garra florestal com capacidade de 1,0 m² apresentou melhores resultados de desempenho no carregamento que a garra com capacidade de 0,5 m², recomendando sua utilização para uma maior racionalização dos trabalhos efetuados no campo, dependendo dos fatores antes apontados.

3.10 Estudo de tempos e movimentos

O estudo de tempos iniciou-se com Taylor, em 1881 e o dos movimentos com o casal Gilbreth, por volta de 1885 e foram conjuminados no início do século XX, bem como receberam a contribuição inovadora de sensores orbitais a partir da última década do século, permitindo acurácia em ações anteriormente consideradas de difícil controle na obtenção de dados devido ao campo de ação dentro do canteiro de obras (florestas, lavoura, transporte rodoviário, aéreo e marítimo). O estudo de tempos e movimentos tem influência fundamental na intenção de melhoria dos métodos operacionais e condições de trabalho, permitindo análises do processo produtivo, de atividades, relação homem-máquina e operações em geral. O controle da produção e custos operacionais é essencial na organização de um empreendimento, influenciando sobre os rendimentos, condições de trabalho, aproveitamento da mão-de-obra e da máquina (MACHADO, 1984).

O estudo de tempos e movimentos é definido por Mialhe (1974) apud Barnes (1977) como o estudo sistemático dos processos de trabalho com os seguintes objetivos: desenvolver o método adequado ou preferido, usualmente aquele de menor custo; padronizar este sistema e método; determinar o tempo gasto por uma pessoa qualificada e devidamente treinada, trabalhando num ritmo normal, para executar uma tarefa ou operação específica e; orientar o treinamento do trabalhador no método preferido. Machado (1984) define o estudo de tempos e movimentos na exploração florestal aquele que procura encontrar a melhor técnica de se executar uma operação, enquanto determina o seu tempo padrão dentro de um clima econômico, social e ecológico. Jróbstov (1977) define a norma de tempo como o tempo necessário para cumprir, nas condições dadas, uma unidade de trabalho ou obter uma

unidade de produto. O estudo de tempos é, de forma geral, o núcleo do estudo do trabalho (FENNER, 2002) objetivando sugerir meios de se promover o cumprimento das metas de organização, melhorando a eficiência humana (BARNES, 1977).

Através do estudo de tempos são obtidas as informações mais importantes para tomada de decisões em relação ao planejamento e execução do trabalho. De uma forma geral os objetivos do estudo de tempos e movimentos do trabalho envolvem medir o tempo total e os tempos parciais necessários para realizar determinada tarefa, registrar o resultado do trabalho obtido durante estes tempos (rendimento) e compreender os fatores que exercem influência sobre a atividade desenvolvida (FENNER, 2002).

Estudos de tempos e movimentos auxiliam no trabalho operacional e sistemas administrativos, para que se atinjam os objetivos da organização resultando em aumento de rendimento operacional e induzindo maior satisfação ao pessoal de produção, principalmente. Também são usados no equacionamento do processo geral de solução de problemas (BARNES, 1977).

Para a organização, o estudo de tempos e movimentos é empregado no planejamento, controle e racionalização das operações podendo resultar em aumento de rentabilidade o qual se manifesta através do aumento da produtividade ou pela redução dos custos de produção (FENNER, 2002). Contudo existem limites da aplicação do estudo de movimentos e tempos em um processo laboral, exigindo-se um cuidadoso projeto de métodos de trabalho e o desenvolvimento do método melhorado sempre que o estudo de tempos e movimentos é aplicado com frequência em uma atividade (BARNES, 1977).

O estudo de tempos e movimentos também pode ser usado para o planejamento e organização do trabalho. Neste caso o objetivo do estudo pode ser a configuração adequada do local de trabalho e dos meios de produção, a definição da técnica e/ou método para efetuar as operações, a organização da seqüência de execução do trabalho e para controlar a produtividade e fixar a remuneração do trabalho. No planejamento econômico da empresa, o estudo de tempos pode ser usado para a otimização e racionalização das operações, bem como para o micro e macro planejamento operacional (FENNER, 2002).

Segundo o mesmo autor, para atingir os mais variados objetivos na realização do estudo de tempos e movimentos, é preciso conhecer os tempos parciais e totais necessários para a realização de cada atividade, os rendimentos obtidos (produção), bem como

os fatores que influem direta ou indiretamente no resultado do trabalho desenvolvido. Os estudos são realizados para aumentar a capacidade em horas produtivas (com eficiência normal), reduzindo as horas improdutivas pois, no geral, existem diferenças substanciais entre as horas disponíveis para o trabalho com as horas efetivas, ou seja, o tempo dedicado à transformação propriamente dita com eficiência razoável. Trata-se de levantar informações tais como a incidência de perturbações, paradas, preparações, manutenção, falta de componentes ou programa, transportes, manuseios, principalmente e partir para a busca de alternativas para sua diminuição. Racionalizar é tornar o trabalho de fácil execução. É transformá-lo em ações de fácil manipulação, evitar os desperdícios, principalmente de tempo e aproveitar ao máximo os recursos de produção. Adaptação de dispositivos quando a exigência de habilidade ou capacidade ultrapassa as limitações naturais do ser humano. Barnes (1977) conclui que a relação entre o estudo de movimentos e de tempos permite avaliar melhorias operacionais, incentivos salariais, modernização de máquinas, equipamentos e ferramentas.

Contudo, o uso de métodos de estudo de tempos e movimentos exige programas de treinamento continuado dos profissionais de planejamento, aplicação, análise de dados e decisão de adoção de resultados. Igualmente o treinamento de operadores de ações e/ou máquinas e equipamentos também devem ser treinados continuamente visto que o efeito da prática, correção de vícios e eliminação de fadiga operacional são fundamentais na obtenção da otimização dos tempos e movimentos (BARNES,1977).

3.10.1 Estudo de tempos

Ao se adotar o estudo de tempos, devem ser considerados os equipamentos e o desenvolvimento de processos apropriados para cada caso específico. Devem ser consideradas a avaliação do ritmo, a determinação das tolerâncias e do tempo-padrão para a execução das tarefas, a diferença entre a operação manual e mecanizada. A avaliação preliminar da utilização de tempos, tais como tempos pré-determinados, tempos padrão a partir de tempos elementares são fundamentais para que possam ser identificados os sistemas e determinadas as matrizes, ferramentas e fórmulas a serem utilizadas (BARNES, 1977).

O método do estudo do tempo pode ser dividido em análise e síntese. A análise é a pesquisa do decurso do trabalho na sua situação (estado atual), como ele acontece na prática. A análise não contém intervenções na estruturação do sistema de trabalho.

A síntese compreende a elaboração de um processo a ser atingido em situação futura, ou seja, é a pesquisa do decurso do trabalho previamente estruturado com a finalidade de, por exemplo, aumentar os rendimentos, melhorar as condições de trabalho, aperfeiçoar o aproveitamento das capacidades de trabalho da mão-de-obra e/ou máquinas e aparelhos entre outros. Normalmente são necessárias várias repetições de análise e síntese, utilizando as informações obtidas na pesquisa anterior até encontrar, sob condições normais de trabalho, o decurso ótimo (FENNER, 2002).

3.10.2 Estudo de movimentos

Os estudos dos movimentos humanos preocupam-se com a ergonomia dos locais do trabalho, com os princípios de economia dos movimentos relacionados com o uso do corpo humano, locais de trabalho e com projetos de ferramentas e equipamentos, além de estudos de micromovimentos e movimentos de membros, principalmente das mãos. Para tanto, desenvolvem-se inúmeros equipamentos para estudo dos movimentos e micromovimentos durante as operações - desde cronômetros até filmadoras, permitindo meticulosas análises posteriores praticamente imperceptíveis durante o levantamento de dados.

Os estudos de movimentos na mecanização permitem automação, racionalização e padronização destes por intermédio de adoção de métodos apropriados e específicos (BARNES, 1977).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

4.1.1 Área experimental e tratamentos

As atividades foram realizadas em um povoamento homogêneo de *Eucalyptus* spp localizado no município de Lençóis Paulista, Estado de São Paulo, entre as seguintes coordenadas geográficas: UTM ZONA 22K E707513 a 714402 e UTM ZONA 22K N7479462 a 7482957, com altitude média de 650 m (Apêndice 1). O experimento foi locado conforme diferentes subsistemas de colheita da madeira, ocupando área estimada de 4,32 ha de efetivo trabalho, sendo composto por três tratamentos. A Figura 6 ilustra a localização de Lençóis Paulista no Estado de São Paulo, a localização do experimento através do mapa dos talhões e mostra os três subsistemas em campo, sendo o experimento destacado pela cor vermelha.

- Subsistema 1: Primeira rotação, pilha de madeira convencional, com “travesseiro”
- Subsistema 2: Primeira rotação, pilha de madeira remontada, com “travesseiro”
- Subsistema 3: Segunda rotação, pilha de madeira convencional, sem “travesseiro”

Cada tratamento (subsistema) foi demarcado com uma área de 14.400 m² ou 1,44 ha, contendo a madeira derrubada e extraída durante o desenvolvimento do trabalho. Os tratamentos foram compostos por quatro eitos de quatro linhas de plantio, totalizando 16 linhas de plantio com espaçamento de 3 m entre si, perfazendo 48 m de largura

e 300 m de comprimento. No subsistema 1 o espaçamento entre árvores, na linha, foi de 1,5 m e nos subsistemas 2 e 3 o espaçamento entre árvores, na linha, foi de 2,0 m.

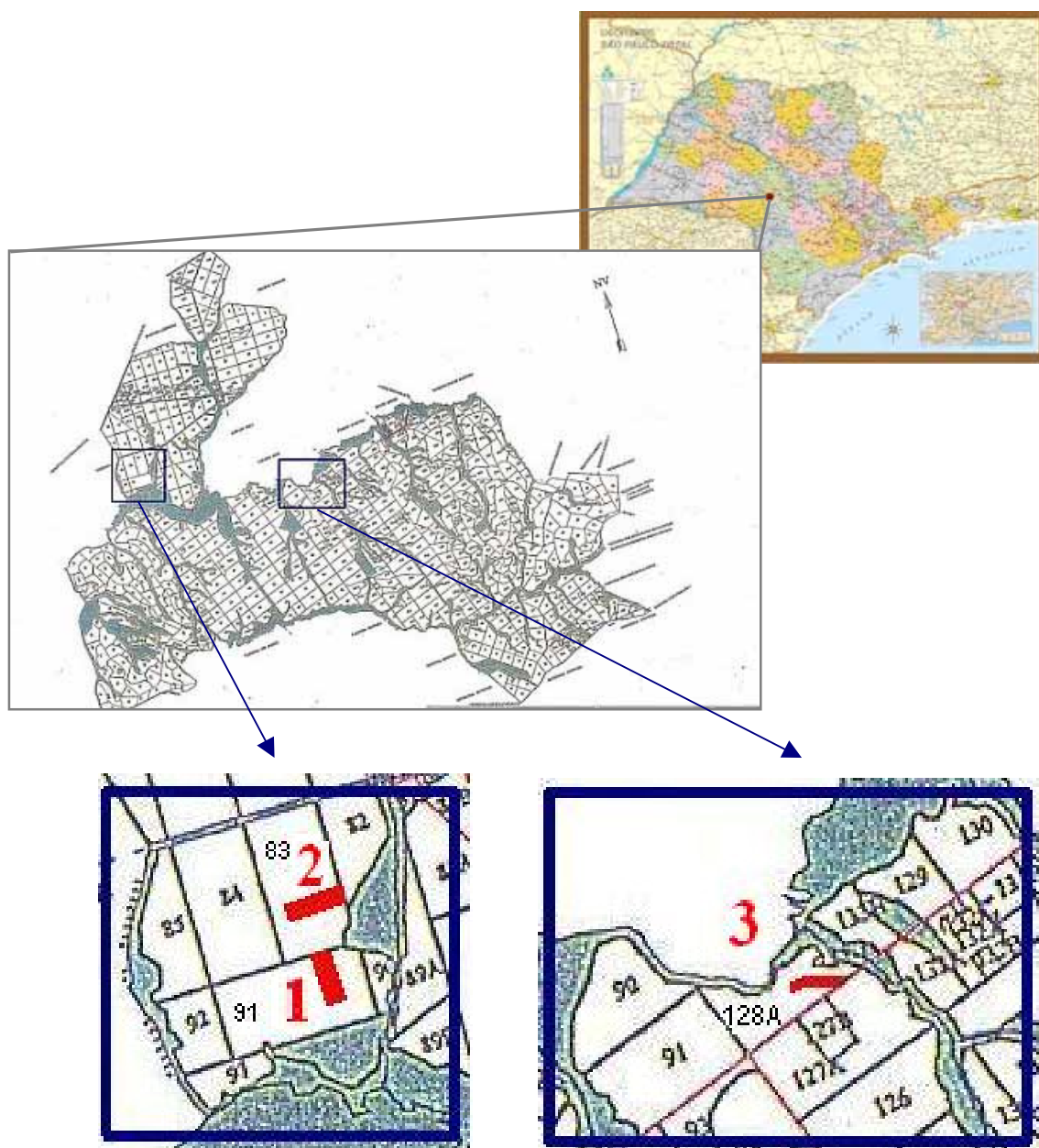


Figura 6: Localização das áreas experimentais dos subsistemas de extração de madeira 1, 2 e 3, em vermelho, nos talhões 91, 83 e 128A, respectivamente, na região de Lencóis Paulista, SP.
Fonte Mapa de São Paulo: Geomapas, 2006

Os tratamentos apresentavam dois ramais de extração de 300 m de comprimento e, entre esses ramais, foram instaladas balizas a cada 25 m para a mensuração

complementar do deslocamento da máquina durante as operações e levantamento das declividades transversais e longitudinais do terreno (Apêndice 2).

4.1.2 Clima, solos, hidrografia e topologia

Conforme a classificação Koeppen, o clima característico da região é o Cwa, quente úmido, de inverno seco. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.200 mm, enquanto a temperatura média anual se situa em torno de 21°C e a umidade relativa média do ar é de 60%.

Os solos predominantes na região, pela nomenclatura da EMBRAPA adotada em 1999, são os Latossolos Vermelho – Amarelo (LV56/LVA) nas áreas altas e Latossolos Roxo (LV6) nas áreas baixas (OLIVEIRA, 1998). A nomenclatura anterior e de domínio público classificava os solos da região como Latossolos Vermelho Amarelo – Fase arenosa nas áreas altas e Latossolos Roxo nas áreas baixas (LEMOS *et al.*, 1960), com relevo plano a suavemente ondulado.

A rede hidrográfica pertence, em ordem crescente, de montante a jusante às bacias do Rio Claro, Rio Pardo e Rio Paranapanema.

As declividades no experimento foram levantadas no sentido longitudinal e nas transversais, tomando-se como ponto de referência o centro de cada parcela, entre os dois ramais de extração, e os limites externos destes (Apêndice 2).

4.1.3 Tipo de floresta e sub-bosque

Dentre as espécies florestais dos reflorestamentos da empresa, predominavam variedades e híbridos de *Eucalyptus* spp.

Os talhões eram compostos por florestas equiâneas e homogêneas de eucalipto (*Eucalyptus* spp.). O manejo destas florestas estava programado para corte raso aos 7 anos, em primeira rotação, e aos 14 anos em segunda rotação. Nos subsistemas 1 e 2, as árvores caracterizavam-se por possuírem apenas um fuste por unidade. Já no subsistema 3 havia uma predominância de dois ou mais fustes por árvore.

Nos subsistemas 1 e 2 a vegetação do sub-bosque era predominantemente composta por espécies arbóreas e arbustivas características do cerrado regional (Figura 7).



Figura 7: Floresta e sub-bosque característicos dos subsistemas 1 e 2

No subsistema 3, (Figura 8) o sub-bosque apresentava composição semelhante aos subsistemas 1 e 2, entretanto neste caso verificou-se também a presença abundante de gramíneas.



Figura 8: Floresta e sub-bosque característicos do subsistema 3.

Nos três subsistemas, devido à densidade e altura (cerca de 3,0m) da vegetação do sub-bosque, houve necessidade de efetuar uma roçada pré-corte.

As florestas dos três subsistemas avaliados foram conduzidas para a produção de madeira, com corte raso no sistema de colheita de toras curtas (*cut-to-length*) conforme descrito a seguir.

4.1.3.1. Manejo do subsistema 1

O manejo das florestas do subsistema 1 previa o corte raso (talhadia) em primeira rotação (Figura 9).

O plantio das mudas foi feito com espaçamento de 3,00m x 1,50m, contendo em média 2016 fustes/ha. O corte raso ocorreu aos 8,24 anos, e as árvores apresentavam o volume unitário médio de 0,19 m³, e IMA de 47,00 m³/ha.ano (até julho de 2005) e 383,00 m³/ha de volume comercial com casca (diâmetros acima de 4 cm).



Figura 9. Floresta de primeira rotação (subsistema 1 e 2)

4.1.3.2 Manejo do subsistema 2

O manejo das florestas do subsistema 2 previa o corte raso (talhadia) em primeira rotação (Figura 9).

O plantio das mudas foi feito com espaçamento de 3,00m x 2,00m e, perfazendo em média 1287 fustes por hectare. O volume unitário médio foi de 0,24 m³ por árvore. Na época do corte, aos 8,60 anos, o IMA foi de 35,9m³/ha.ano e o volume comercial com casca (diâmetros acima de 4 cm) de 309m³/ha.

4.1.3.3 Manejo do subsistema 3

O manejo das florestas do subsistema 3 (Figura 10) estava previsto para o corte raso em segunda rotação.

A floresta foi originalmente plantada com espaçamento de 3,00m x 2,00m. O primeiro corte ocorreu aos 5,55 anos. Após o primeiro corte houve a condução da brotação das cepas remanescentes na área. Para a segunda rotação foram conduzidas em média 1273 árvores por hectare com 2279 fustes. O volume médio por fuste era de 0,19 m³ no período de corte, que ocorreu aos 8,56 anos. O IMA para a segunda rotação foi de 51 m³/ha.ano, totalizando 433 m³ de volume comercial com casca (diâmetros acima de 4 cm) por hectare.



Figura 10. Floresta de segunda rotação (subsistema 3)

4.1.4 Empilhamento dos toretes

O empilhamento dos toretes no ramal era efetuado sobre alguns toretes que formavam o travesseiro.

Segundo Seixas (2002), quanto mais organizado o empilhamento, embandeiramento e enleiramento nos pátios ou nos locais onde é efetuado o carregamento, maior o rendimento das máquinas ou equipamentos.

Jacovine *et al* (2005), ao descrever subsistemas de colheita florestal, menciona que as toras são colocadas sobre "travesseiros", formados por toras atravessadas e escoradas por duas estacas previamente fixadas no solo. Nos subsistemas 1 e 2 o travesseiro era disposto transversalmente ao sentido dos toretes das pilhas (Figura 11).



Figura 11: Traveseiro para empilhamento de toretes no ramal.

O uso de traveseiro para empilhamento de toretes, tanto no ramal quanto nas margens das estradas, reduz o contato dos toretes da pilha com o solo e com os resíduos da colheita minimizando a contaminação da madeira que chega na fábrica.

Outro aspecto favorável é que os traveseiros também facilitam a ação da grua durante o carregamento dos toretes, pois a pilha estando suspensa permite maior velocidade nas garradas do *forwarder*.

Entretanto após o carregamento de toda madeira da pilha restam os toretes dos traveseiros espalhados sobre o solo. Para efetuar o recolhimento e carregamento destes toretes, a grua executa diversos movimentos muitas vezes com apenas um torete na garra, além de que estes movimentos geralmente são mais lentos e cuidadosos para evitar a contaminação da madeira. Portanto, quanto menor o número de traveseiros, menor tempo de carregamento do *forwarder*.

Um efeito similar ocorre na operação de derrubada com o *harvester*, pois para a confecção dos traveseiros transversalmente formando a base para as pilhas, o *harvester* executa movimentos usando o cabeçote como se fosse uma grua. Portanto, também no *harvester* há um ganho de tempo com a redução do número de traveseiros.

Desta forma, comparando-se os subsistemas 1 e 2, tanto na colheita com o *harvester* quanto na extração com o *forwarder*, pode-se supor que haverá um ganho de

tempo no subsistema 2, pois neste caso a madeira de dois ramais é empilhada sobre os mesmos travesseiros, resultando em um menor número de travesseiros, ou seja, aproximadamente a metade do número de travesseiros do subsistema 1.



Figura 12: Travesseiro para empilhamento de toretes na margem da estrada.

O travesseiro utilizado para o empilhamento da madeira nas margens das estradas (Figura 12) tem objetivo similar aos do travesseiro no ramal. Porém, nas margens das estradas, o travesseiro também serve para nivelar a base das pilhas que, neste caso, podem ultrapassar vários metros de altura.

4.1.5 Subsistemas de extração

Nos três subsistemas estudados a extração foi efetuada com o mesmo *forwarder* e operador. Também foi mantido o mesmo turno de trabalho nos três casos.

Entretanto os subsistemas diferiram quanto ao manejo e a colheita da madeira.

4.1.5.1 Subsistema 1

O subsistema 1 caracterizou-se pela extração da madeira em floresta de primeira rotação, com as pilhas de madeira dispostas sobre o “travesseiro” em ambos os lados do ramal, também denominado de convencional (Figura 13).

Neste caso a colheita florestal foi realizada por um *harvester* que efetuava as operações de derrubada, desgalhe, traçamento, medição e empilhamento da madeira.

O *harvester* transitava sobre a terceira linha, derrubando quatro linhas de árvores. As árvores eram derrubadas para a direita (sobre as árvores em pé) e o empilhamento dos toretes era feito do lado esquerdo do *harvester*. A galhada (resíduo da colheita) era disposta na frente do *harvester*, na linha de deslocamento da máquina. Os toretes, traçados com comprimento de até seis metros, eram empilhados transversalmente ao sentido de deslocamento da máquina. As pilhas eram formadas sobre os “travesseiros”. Os toretes dos travesseiros eram colocados transversalmente aos toretes da pilha e tinham por objetivo reduzir o recolhimento de resíduos durante a extração. A derrubada de dois eitos, com quatro linhas de árvores cada, formava um ramal que continha duas filas de feixes de madeira empilhada, entre as quais se deslocava o *forwarder* durante a extração.

A extração com o *forwarder* foi realizada através do recolhimento das pilhas dispostas nos dois lados do ramal, ou seja, com carregamento pelos dois lados da máquina. Os toretes eram colocados no compartimento de carga do *forwarder* e posteriormente transportados até a margem da estrada onde era feito o descarregamento.



Figura 13. Pilhas de madeira no ramal de primeira rotação convencional (Subsistema 1)

4.1.5.2 Subsistema 2

A extração da madeira no subsistema 2 era semelhante ao subsistema 1. A diferença é que no subsistema 2 havia uma só fileira de pilhas de madeira por ramal. Neste caso toda madeira do ramal (dois eitos de corte) foi concentrada numa única fila de pilhas, também denominada de remontada (Figura 14).

Neste caso a colheita florestal era realizada por um *harvester* que efetuava as operações de derrubada, desgálhe, traçamento, medição e empilhamento da madeira. Os eitos eram formados de 4 linhas de árvores e o *harvester* transitava sobre a 2ª linha. No primeiro eito as árvores eram derrubadas para a direita, os toretes eram empilhados à esquerda e a galhada era depositada à frente do *harvester*. No segundo eito as árvores eram derrubadas para a direita, os toretes eram empilhados à esquerda sobre as pilhas formadas pelo eito anterior, e a galhada era depositada a frente do *harvester*. Os toretes, traçados com comprimento de até seis metros, eram empilhados transversalmente ao sentido de deslocamento da máquina. As pilhas eram formadas sobre o “travesseiro”. A derrubada de dois eitos, com quatro linhas de árvores cada, formava um ramal que continha uma fila de feixes de madeira empilhada, ao lado da qual se deslocava o *forwarder* durante a extração.

No subsistema 2 o *forwarder* realizou a extração carregando os toretes por um só lado da máquina. Os toretes eram colocados no compartimento de carga do

forwarder e posteriormente transportados até a margem da estrada, onde era feito o descarregamento.



Figura 14. Pilhas de madeira no ramal de primeira rotação remontado (Subsistema 2)

4.1.5.3 Subsistema 3

O subsistema caracterizou-se pela extração da madeira em floresta de segunda rotação, com as pilhas de madeira dispostas diretamente sobre o solo, ou seja, sem o “travesseiro”, em ambos os lados do ramal, também denominado de convencional (Figura 15).

Neste caso a operação de derrubada era realizada pelo *feller-buncher*, com deslocamento de um eito para outro, da esquerda para a direita, cortando e acumulando as árvores, formando feixes que eram depositados transversalmente ao alinhamento de plantio. Cada eito era formado de quatro linhas e dois eitos formavam um ramal. Ao se deslocar, o *feller-buncher* se posicionava sobre a segunda linha e cortava os fustes, depositando os feixes de fustes em seu lado esquerdo. Ao retornar o *feller-buncher* posicionava os feixes de fustes no seu lado direito.

O processamento (desgalhe, toragem e empilhamento) foi realizado por um processador (*slingshot* modificado). Esta máquina trabalhava deslocando-se em sentido contrário ao *feller-buncher*, isto é, iniciava o trabalho no talhão no ponto onde o *feller-buncher* havia terminado. O processador transitava à esquerda da entrelinha transitada pelo

feller-buncher, efetuando as atividades de desgalhamento e traçamento, empilhando os toretes numa fileira em sentido transversal ao ramal, sem uso de travesseiros. Cada ramal de extração continha duas fileiras de feixes de toretes.

A extração com *forwarder* foi realizada com os feixes de toretes dispostos em ambos os lados da máquina.



Figura 15. Pilhas de madeira no ramal de segunda rotação convencional (Subsistema 3)

4.1.6 Máquinas e equipamentos

As máquinas e equipamentos utilizados no sistema de toras curtas e subsistemas de extração de madeira foram variados quanto ao corte e processamento, como *feller-buncher*, processador e *harvester*, e a extração da madeira, na qual foi usado o *forwarder*. As descrições das máquinas e equipamentos neste trabalho não significam que o autor faça recomendação de uso dos mesmos.

4.1.6.1 Corte e processamento

Nos subsistemas 1 e 2 o corte e processamento das árvores era realizado por um *harvester* constituído de uma escavadora hidráulica Caterpillar, modelo 320 CL com motor Caterpillar 3066 T, sistema rodante de esteira (Figura 16), com grua de acionamento hidráulico e cabeçote *harvester* de marca Waratah, modelo 616 HTH (Figura 17).



Figura 16. *Harvester*



Figura 17. Cabeçote *harvester*

No subsistema 3 o corte das árvores era realizado por *feller-buncher*, constituído por uma máquina-base, contendo grua, cabeçote *feller-buncher* e garras traçadoras. A máquina-base era uma escavadora hidráulica Caterpillar, modelo 320 CL com motor Caterpillar 3066 T, com 138 hp de potência, sistema rodante de esteira, contendo grua Caterpillar (Figura 18), cabeçote *feller-buncher* com capacidade de corte de 53,3 cm da marca Risley-MSU, operando a 1.200 rpm e composto por uma serra circular de 16 dentes estilizados, bem como um sistema de garras hidráulicas abraçadoras e traçadoras (Figura 19).



Figura 18. *Feller-buncher* Caterpillar 320 CL



Figura 19. Cabeçote do *feller-buncher* Caterpillar 320 CL

No subsistema 3 o processamento dos fustes era realizado por processadores constituídos por máquinas-base, acoplada a cabeçote processador combinado com uma garra traçadora na parte frontal para traçamento do fuste e uma adaptação do antigo *slingshot* na parte traseira.

As máquinas-base utilizadas foram escavadoras hidráulicas com sistema rodante de esteiras Timberjack (Figura 20), modelo 608, com motor Cummins e potência de 125 kW, e Caterpillar 320 CL, com motor Caterpillar 3066 T, com de potência de 138 hp (Figura 21).

O cabeçote processador (Figura 22) era composto por duas abraçadoras de acionamento hidráulico, sendo uma fixa junta à haste da grua e a outra móvel, que corre sobre uma guia, efetuando o trabalho de limpeza (desgalhamento) dos fustes e condução do avanço dos feixes de fustes para que seja efetuado o corte destes em toretes de 6,0 m. No cabeçote igualmente estava instalada uma serra de sabre que corta os fustes em toretes.



Figura 20. Processador Timberjack 608



Figura 21. Processador Caterpillar 320 CL



Figura 22. Cabeçote processador

4.1.6.2 Extração da madeira

Nos três subsistemas foi estudada a extração de madeira empregando o mesmo operador e o mesmo *forwarder*. Esta máquina era constituída de uma máquina-base e uma grua de acionamento hidráulico, para carregamento e descarregamento da madeira. A máquina-base era um trator florestal transportador marca Valmet, modelo 890.2/ 6WD (Figura 23), peso aproximado de 16.800 kg, capacidade de carga máxima de 18.000 kg, largura padrão frontal/traseira 2.995 mm, motor modelo Sisu, Diesel 74 ETA 6 cilindros, turbo alimentado com intercooler, potência 170 kW DIN (230 hp) a 1.700 rpm, torque 1000 Nm (104 kpm) a 1.200-1.600 rpm, velocidade máxima, em alta velocidade, 24 km/h, velocidade máxima, em baixa velocidade, 8,5 km/h, consumo médio de 23 litros de combustível hora, capacidade de extração máxima 206 kN (21.000 kp), eixo frontal rígido com cubo de marchas, rodado de pneus frontal 700/70x34, rodado de pneus traseiros 650/65x26.5. O compartimento de carga teve sua capacidade alterada pela empresa proprietária, apresentando maior largura e altura em relação ao modelo original. O *forwarder* possui uma utilização operacional efetiva de 367 h mês e seu custo hora total é de R\$ 104,51 (US\$ 44.50), tendo este custo distribuído em 55% de custos fixos e 45% de custos variáveis.



Figura 23. *Forwarder* Valmet 890.2

A grua da marca Valmet é constituída por um braço de acionamento hidráulico com um extensor telescópico e uma garra que se une ao braço por meio de um rotator, com as seguintes características técnicas: braço LRF14, com comprimento, quando encolhido, de 3.500 mm, comprimento do telescópio estendido de 6.000 mm e comprimento total (braço + extensor) de 7.930 mm (Figura 24).



Figura 24. Grua com telescópio estendido

Garra da marca Super Grip (Figura 25), quando totalmente aberta com dimensões de 2.080 mm de abertura e altura de 400 mm (Figura 26) e, quando fechada, com largura de 750 mm, altura de 650 mm e capacidade com área de 0,42 m² (Figura 27).



Figura 25. Garra Super Grip



Figura 26. Garra Aberta



Figura 27. Garra Fechada

4.1.7 Ciclo operacional da extração de madeira

O ciclo operacional foi dividido em diversas atividades parciais, sendo: deslocamento sem carga na estrada, deslocamento sem carga no ramal, carregamento de toretes de madeira, deslocamento com carga no ramal, deslocamento com carga na estrada, descarregamento e atividades gerais.

4.1.7.1 Deslocamento sem carga na estrada

O deslocamento sem carga na estrada foi caracterizado pelo trânsito da máquina em marcha à ré com compartimento de carga vazio. A máquina se deslocava após efetuar a atividade de descarga, no trajeto entre a pilha de madeira destinada ao transporte secundário, efetuado por caminhões e o ramal a ser transitado.

4.1.7.2 Deslocamento sem carga no ramal

O deslocamento sem carga no ramal é caracterizado pelo trânsito da máquina em marcha à ré com compartimento de carga vazio, que se deslocava após adentrar o talhão.

4.1.7.3 Carregamento de toretes de madeira ⁽¹⁾

A atividade era composta pela ação de carga de toretes de madeira, incluindo os ciclos de grua, acionamento da garra e deslocamentos da máquina, necessários durante a operação de carregamento.

O carregamento de toretes de madeira inicia-se no ramal de extração de madeira, na última pilha de cada fila de pilhas. O ciclo convencional da grua é composto do acionamento da grua, que direciona a garra ao encontro da pilha de toretes, o acionamento da garra para remover os toretes das pilhas justapostas no ramal de extração, a movimentação da grua com a garra segurando um feixe de toretes e a acomodação destes no compartimento de carga do *forwarder*, e demais ações até iniciar nova movimentação de carga. Outras atividades podem ocorrer com o acionamento da grua e da garra, como preparo do local de trabalho, remoção de obstáculos que interferem na operação de carga ou de deslocamentos.

¹ Os termos carregamento e descarregamento, para as atividades de carregar e descarregar, respectivamente, foram usadas por Lima e Leite (2002), Machado (2002), Minette *et al.*(2004), Pena *et al.*(1993), Salmeron (1980), Santos (2001), Seixas (2002), Silva (2003), Staaf e Wiksten (1984) e Tanaka (1986). Os termos carga e descarga para as atividades de carregar e descarregar, respectivamente, foram usados por Santos e Machado (2001).

O número de gruadas foi mensurado anotando-se o número de movimentos completos ou ciclos da grua.

4.1.7.4 Deslocamento com carga no ramal

O percurso com carga é caracterizado pelo deslocamento da máquina em marcha à frente no ramal, após ter concluído a operação de carregamento de toretes, avançando pelo ramal de extração até chegar à junção do ramal com a estrada, contendo em seu compartimento de carga toretes de madeira.

4.1.7.5 Deslocamento com carga na estrada

O deslocamento com carga na estrada é caracterizado pelo transito da máquina se desloca em marcha avante, estando carregada com toretes, do ponto onde saiu do ramal de extração e entrou no leito da estrada, até o ponto de descarregamento, situado ao longo da estrada, no momento da parada da máquina.

4.1.7.6 Descarregamento

A atividade é composta pela ação de descarregamento de toretes de madeira, incluindo os seus ciclos de grua, acionamento da garra e deslocamentos da máquina, necessários durante a operação de carregamento.

O descarregamento de toretes de madeira inicia-se no momento da parada da máquina, efetuando na seqüência as operações cíclicas com a grua, acionando a garra, retirando os toretes do compartimento de carga e colocando-os na pilha, geralmente junto à estrada.

Outras atividades podem ocorrer nesta operação, como colocar na pilha de madeira unidades caídas na estrada, arrumação da pilha de madeira, colocação de “travesseiros de toretes” na base da nova pilha em formação e retirada de obstáculos. A atividade se encerra quando, depois de descarregado o compartimento e terminadas quaisquer outras atividades, se prepara para início de deslocamento na estrada.

O número de guadas foi mensurado anotando-se o número de movimentos completos ou ciclos da grua.

4.1.7.7 Atividades gerais

As atividades gerais eram todas aquelas que não estavam diretamente relacionadas com a extração da madeira, tais como paradas para abastecimento, manutenção, revisão, troca de turno, necessidades pessoais, descanso do operador, comunicação pelo rádio, atendimento a visitas e vistorias.

4.1.8 Disposição dos toretes de madeira na margem da estrada

Quanto mais organizado o empilhamento, embandeiramento e enleiramento nos pátios ou nos locais onde o carregamento será efetuado, maior será o rendimento das máquinas ou equipamentos no trabalho (SEIXAS, 2002). Nos três subsistemas estudados os toretes eram empilhados na margem da estrada em sentido perpendicular ao seu eixo. As pilhas tinham até 3 metros de altura e eram dispostas sobre alguns toretes que formavam o travesseiro ou estrado.

4.1.9 Dados de movimentos e tempos

Os movimentos e tempos foram coletados conforme metodologia descrita por Fenner (2002) e Barnes (1977).

Foram elaborados formulários pelo autor, para levantamento de dados de campo, a fim de obter informações sobre rendimento operacional do *forwarder* que efetuou a remoção da madeira de dentro do talhão para a margem da estrada, onde esta era depositada e disponibilizada para o transporte secundário para a unidade fabril consumidora. Foram levantados pelos coletores de dados, os tempos operacionais do trajeto em que a máquina transitava sem carga, da atividade de carregamento de madeira, observando-se as ações de carregamento e deslocamento durante o carregamento, do trajeto em que a máquina transitava com carga, as ações de descarregamento da madeira e outras atividades ocorridas durante a

operação do *forwarder*. Igualmente foram levantados os volumes de madeira carregados em cada ciclo operacional, em cada ramal e no total durante o período de observações, além de se conhecer as metragens das áreas operadas.

Na extração da madeira o autor aplicou um formulário (Apêndice 3) em que foram anotados todos os dados que caracterizaram o processo de extração utilizando *forwarder* e que não variaram durante sua duração, tais como: deslocamento da máquina sem carga no ramal de extração e na estrada, carregamento de toretes no ramal de extração, deslocamento da máquina com carga de toretes (no ramal de extração e na estrada), descarregamento de toretes ao longo da estrada, volumes de madeira transportada, além dos movimentos e tempos variáveis ocorrentes com a máquina durante o processo de extração, tais como revisões de equipamento, abastecimento, paradas técnicas ou por decisão do operador. Ainda foi anotada ordem de trabalho ou tarefa, método de trabalho, dados sobre o meio de produção, informações sobre a máquina, operador, turno de trabalho, informações sobre as condições locais e dados sobre o local, tais como extensão e largura dos ramais, espaçamentos de plantio, ciclos de operação da grua e da máquina.

Além das colunas para os tempos cronometrados, foram incluídos no cabeçalho todos os dados que serviram para a identificação deste formulário, como também aqueles que variaram durante a cronometragem.

O estudo foi realizado empregando-se o método de tempo contínuo. Esse método foi escolhido, pois se caracteriza pela medição do tempo sem detenção do cronômetro, isto é, de forma contínua (FENNER, 2002).

Segundo Fenner (2002) o método de tempo continuo consiste na medição do tempo sem detenção do cronômetro, quer dizer em forma contínua. O pesquisador faz a leitura do cronômetro cada vez que acontece um ponto de medição anotando a hora indicada no cronômetro (a posição dos ponteiros) nesse momento, sem detê-lo, junto ao nome da atividade parcial recém terminada. O tempo requerido para cada trabalho parcial é calculado durante a avaliação por subtração entre a hora em que terminou a atividade parcial em questão e a hora em que iniciou. A posição dos ponteiros no final de uma atividade parcial é idêntica com aquela do início da atividade parcial seguinte. Por isso na prática se anota apenas a hora em que termina uma atividade parcial. Este método de cronometragem apresenta a vantagem de que as atividades parciais são anotadas na sequência que elas acontecem, quer

dizer, em forma cronológica, o que facilita a descoberta de erros e facilita a identificação e cronometragem de atividades não previstas. Este método é especialmente útil para aquelas pesquisas em que se deseja identificar as diferentes atividades parciais e a sequência em que acontecem num trabalho a ser analisado.

Foi lido o cronômetro cada vez que aconteceu um ponto de medição, anotando a hora indicada no cronômetro no momento, sem detê-lo, junto ao nome da atividade parcial recém-terminada. O tempo requerido para cada trabalho parcial foi calculado durante a avaliação, por subtração entre a hora em que terminou a atividade parcial em questão e a hora em que se iniciou. A posição dos ponteiros no final de uma atividade é idêntica àquela do início da atividade parcial seguinte. Por esse motivo se anota apenas a hora em que se termina uma atividade parcial. Este método de cronometragem apresenta a vantagem de que as atividades parciais são anotadas na sequência em que acontecem (cronologicamente), o que facilitou a descoberta de erros e a identificação e cronometragem de atividades não previstas (BARNES, 1977).

As atividades desenvolvidas e cronometradas no processo de extração da madeira foram:

- deslocamento da máquina sem carga, do ponto de descarga da madeira até o ponto de início do carregamento da madeira a transportar, diferenciando os trechos transitados na estrada e no ramal (DVT);
- atividades de carregamento (C) da madeira a transportar e deslocamentos da máquina durante a operação de carregamento, sendo anotadas as quantidades de gruadas, distâncias de carga dentro do ramal a partir da estrada, deslocamento e suas distâncias durante a operação de carregamento;
- deslocamento da máquina com carga de madeira, de dentro do talhão até o ponto na estrada onde é feita a operação de descarga, diferenciando os trechos transitados no ramal (DCT) e na estrada;
- atividades de descarregamento (D) da madeira transportada e deslocamentos da máquina durante a operação de descarregamento, sendo anotadas as distâncias de descarga ao longo da estrada a partir da junção da estrada com o ramal e quantidades de gruadas no descarregamento;

- atividades ou paradas da máquina para execução de outros serviços alheios à operação de deslocamento no trecho estrada-ramal, carregamento da madeira, deslocamento no trecho ramal-estrada e descarregamento da madeira.

Assim, o período de estudo correspondeu à extração da madeira encontrada em ramais de 300m de extensão e descarregada ao longo da estrada em distâncias variáveis. Três formas diferentes de disponibilização da madeira foram avaliados em dois ramais em cada caso, totalizando seis eitos ou ramais estudados (Figura 28).

Além dos dados de campo, foi realizado o levantamento de informações por intermédio de entrevista com engenheiros e responsáveis, encarregados das atividades de extração de madeira. Nestas entrevistas foram abordadas questões mais específicas: dados da floresta de eucalipto, da madeira produzida, técnicas de extração da mesma, informações a respeito das máquinas e equipamentos utilizados para corte de árvores, preparo da madeira para extração, a extração da madeira propriamente dita, para transporte da mesma para as unidades fabris.

Durante as medições de campo foram utilizados os seguintes equipamentos e material de apoio: cronômetro digital marca Casio Crono 1000 para o estudo de tempos e movimentos, clinômetro manual marca Breithaupt para levantamento das declividades dentro dos tratamentos, GPS da marca Garmin, modelo etrex venture, máquina fotográfica digital marca Nikon CoolPix 4600, trena e fita métrica para locação das amostras e mensuração das dimensões dos toretes, prancheta, formulários, lápis, caneta esferográfica, borracha, estilete, giz de cera, escada, balizas e bandeirolas para demarcação das parcelas, EPI's (capacete, perneira) e ferramentas para remoção manual de toretes (pé de cabra, machadinha).

4.2 Metodologia

4.2.1 Delineamento experimental e análise de dados

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com três tratamentos, equivalentes aos subsistemas 1, 2 e 3 de extração de madeira e duas repetições. As parcelas experimentais eram constituídas de estratos de 50 metros lineares de distância, totalizando 300 metros de comprimento para cada subsistema, como apresentado na

Figura 28. As análises dos dados foram feitas para cada variável, ciclos de trabalho e volumes (m^3) transportados.

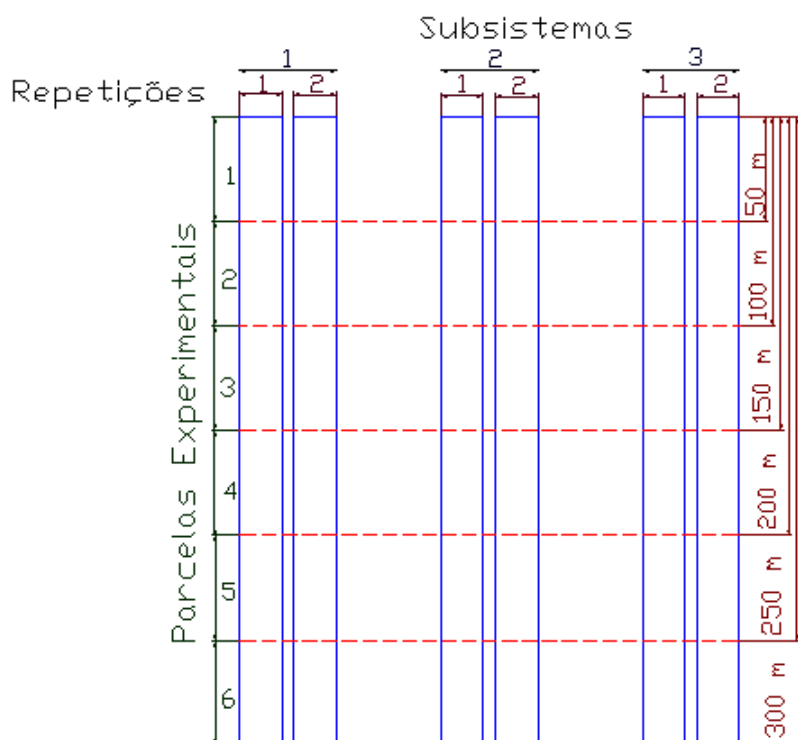


Figura 28. Ilustração do subsistema, repetição e parcelas experimentais

4.2.2 Avaliação dos dados

Para que os dados coletados refletissem realidade operacional da atividade, buscou-se não alterar ou interferir na rotina de operação da máquina e no trabalho da equipe (transporte e manutenção), nem no sistema operacional usado pela empresa, tal como determinação de carga máxima e jornada de trabalho. Sabe-se, entretanto, que o operador de máquina, sempre que observado por terceiros, pode sofrer alguma influência de estímulo ou de desestímulo, sentindo-se avaliado ou fiscalizado, alterando, mesmo que inconscientemente, a rotina de trabalho.

O operador de *forwarder* era funcionário regularmente registrado, treinado e constantemente reciclado para o melhor desempenho de sua atividade, sendo nela apoiado por corpo técnico, administrativo, de apoio logístico e de manutenção, estando

diretamente em contato com seus superiores e demais operadores de máquinas e condutores de veículos por intermédio de rádio frequência. Além disto, recebia visitas constantes de supervisores, pessoal de manutenção e de apoio, de tal maneira que nenhuma atividade laboral ou de produção sofresse ação de descontinuidade prolongada.

4.2.2.1 Atividades efetivas

Os ciclos de extração de madeira eram compostos das atividades parciais efetivas de:

- Deslocamento sem carga no ramal;
- Gruada no carregamento;
- Carregamento;
- Deslocamento com carga no ramal;
- Gruada no descarregamento;
- Descarregamento.

Deslocamento sem carga no ramal foi o tempo despendido no deslocamento do *forwarder* da estrada até o ponto de carregamento dentro do talhão. Iniciava-se quando o primeiro rodado da máquina adentrava o talhão pelo ramal de extração e terminava quando a máquina parava no ponto de carregamento e acionava a garra.

Gruada no carregamento foi o tempo despendido em cada movimentação da grua e acionamento da garra para a retirada dos toretes dispostos sobre o solo, e colocação destes no compartimento de carga do *forwarder*.

Carregamento foi a somatória dos tempos das gruadas a no carregamento e o deslocamento do *forwarder* durante o carregamento.

Deslocamento com carga no ramal foi o tempo despendido no deslocamento do *forwarder* do ponto de carregamento no ramal de extração, dentro do talhão, até a saída na estrada para o descarregamento de madeira. Iniciava-se quando o operador posicionava a grua sobre a carga e acionava o acelerador, e terminava quando o primeiro rodado da máquina adentrava a estrada.

Gruada no descarregamento foi o tempo despendido em cada movimentação da grua e acionamento da garra para a retirada dos toretes do compartimento de carga do *forwarder* e empilhamento da madeira nas margens da estrada, deixando-a apta para o transporte rodoviário.

Descarregamento foi a somatória dos tempos dos ciclos de grua e acionamento da garra no descarregamento e seu deslocamento entre o acionamento da grua e outro no local do descarregamento.

4.2.2.2 Atividades gerais

As atividades gerais foram todas aquelas que ocorriam repetidamente ou casualmente durante o decurso do trabalho, mas que não resultavam em produção, tais como pausa para almoço, para manutenção mecânica do *forwarder*, para abastecimento de combustível, limpeza do local de empilhamento.

4.2.3 Cálculo de volume médio de madeira extraída

Para a obtenção do volume médio dos toretes foi feita a cubagem da madeira empilhada no local de extração. A medição dos toretes foi procedida com a escolha ao acaso de uma linha de pilhas dentro de cada tratamento e nesta foram excluídas as cinco primeiras pilhas dispostas no ramal. Após a medição dos toretes da sexta pilha, foram descartadas três pilhas seguintes e medidos os toretes da décima pilha e assim sucessivamente, até que fossem mensurados no mínimo 120 toretes. Caso fosse completado o número de 120 toretes, mas a pilha não houvesse terminado, era feita a medição de todos os toretes restantes da pilha, para que não houvesse erros de amostragem, ao serem medidos ponteiros ou bases de árvores desproporcionalmente, pois se constatou que as pilhas eram compostas por toretes provenientes de grupos de árvores inteiras. Foram medidas as circunferências dos topos dos toretes e os seus comprimentos, permitindo determinar o volume médio sólido unitário. Após a determinação do volume médio do torete componente de cada sistema, foram contados quantos toretes havia na carga de cada ciclo de extração transportado pelo *forwarder*, e multiplicado pelo seu volume médio unitário levantado em cada sistema.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Velocidades operacionais do *forwarder*

A velocidade média (km/h) do deslocamento do *forwarder* no ramal com e sem carga para uma distância média de extração de 150 metros é apresentada na Figura 29. Verifica-se que para os três sub-sistemas as velocidades médias com carga foram maiores do que sem carga. No subsistema 1 a velocidade média foi maior, tanto no deslocamento sem carga quanto com carga, em comparação aos demais subsistemas e o *forwarder* atingiu as velocidades médias de 8,31 km/h e 8,82 km/h respectivamente para o deslocamento no ramal sem e com carga.

As menores velocidades medias no ramal foram obtidas no subsistema 3. Neste caso as velocidades médias de deslocamento, tanto vazio quanto carregado, foram respectivamente de 6,67 e 6,78 km/h. Observou-se, neste subsistema, uma maior quantidade de resíduos da colheita com a presença de cepos ou tocos (denominados de “pé-de-camelo”) e galhada que podem ter afetado a velocidade no deslocamento.

De acordo com os dados do fabricante (Apêndice 6), a velocidade máxima do *forwarder* é de 24 km/h (em alta velocidade). Já em baixa velocidade, ou seja, mantendo sua máxima capacidade de extração, a velocidade máxima pode atingir até 8,5 km/h. Portanto verifica-se que no subsistema 1 a velocidade média ultrapassou a recomendada pelo fabricante.

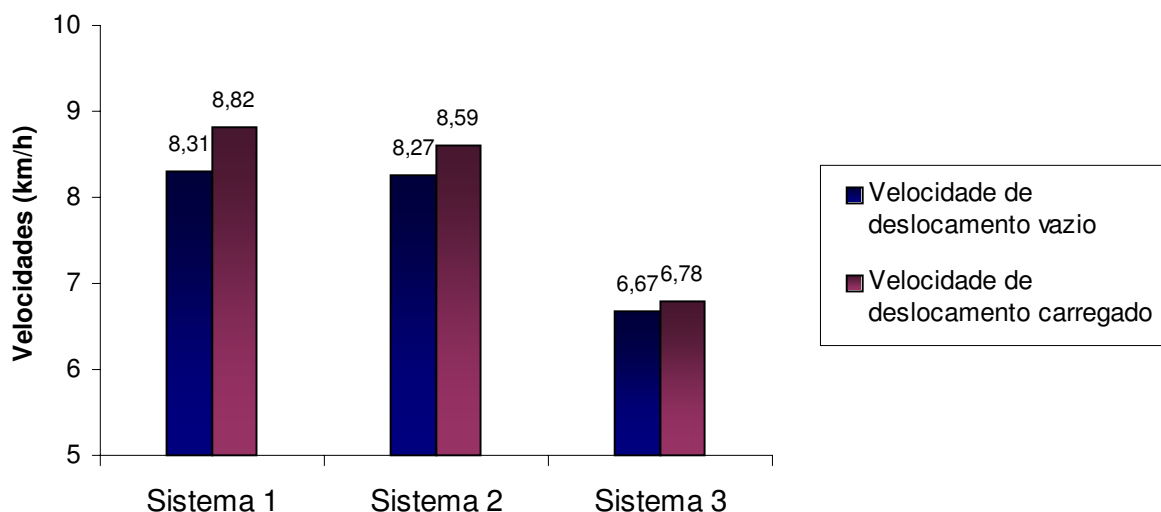


Figura 29 – Velocidade média (km/h) para os deslocamentos do *forwarder* sem e com carga.

Observou-se que a declividade longitudinal (Apêndice 2) nos ramais do subsistema 1 variou de 2% a 4% e a declividade transversal variou de 1% a 6%. Nos ramais do subsistema 2, a declividade longitudinal variou de 2% a 5% e a transversal, de 0% a 4%. Já nos ramais do subsistema 3, a declividade longitudinal variou de 0% a 2% e a declividade transversal, de 2% a 8%.

Desta forma verifica-se que as declividades em aclave e em declive das áreas estudadas não ultrapassaram os limites citados por Seixas (1987) e Souza *et al.* (1988). Segundo os autores os *forwarders* podem trabalhar em terrenos acidentados com aclives de até 30% e com declives de até 60%.

Entretanto no subsistema 3 a declividade transversal em alguns trechos do ramal chegou a 8%. Isto pode ter influenciado na velocidade. Neste subsistema foram observadas as menores velocidades médias do *forwarder*, tanto no deslocamento sem carga (6,67 km/h) quanto no deslocamento com carga (6,78 km/h).

5.2 Tempos das atividades parciais

Na Tabela 5 são apresentadas as atividades parciais e tempos (h) do ciclo operacional nos três subsistemas de extração florestal, para distância média de 150 m.

Verifica-se que o subsistema 2 resultou no menor tempo total de ciclo, seguido o subsistema 1 e do subsistema 3 que teve o maior tempo total por ciclo. Ressalta-se que o subsistema 2 resultou nos menores tempos por ciclo para todas atividades parciais.

Tabela 5. Atividades parciais e tempos (h) do ciclo operacional nos três subsistemas de extração florestal.

Atividades parciais	Carregamento (h)	Descarregamento (h)	Deslocamento sem carga no ramal (h)	Deslocamento com carga no ramal (h)	Tempo total de ciclo (h)
Subsistema 1	0,228	0,183	0,041	0,034	0,498
Subsistema 2	0,173	0,128	0,030	0,022	0,353
Subsistema 3	0,225	0,207	0,049	0,042	0,524

Tabela 6. Elementos do ciclo operacional e da rentabilidade operacional média do *forwarder*, para toretes de 5,5 m de comprimento, para uma distância média de extração de 150 m.

Atividades parciais	Carregamento (h)	Descarregamento (h)	Deslocamento sem carga no ramal (h)	Deslocamento com carga no ramal (h)	Tempo total de ciclo (h)
Subsistema Santos e Machado	0,200	0,066	0,021	0,044	0,331

Fonte: Santos e Machado, 2001 (modificado)

Estes tempos do ciclo operacional do *forwarder*, são comparáveis aos obtidos por Santos e Machado (2001), que trabalhou com a extração de toretes de 5,5 m de comprimento, para uma distância média de extração de 150 m (Tabela 6). Entretanto observa-se que os tempos médios totais, obtidos por Santos e Machado (2001) foram menores aos obtidos nos três subsistemas estudados. Para o carregamento, Santos e Machado (2001) encontraram tempo de 0,200h, enquanto no subsistema 2 o tempo médio foi 0,173h, no subsistema 3 foi de 0,225h e no subsistema 1, de 0,228h. Para o descarregamento, os autores encontraram o tempo de 0,066h, enquanto nos subsistemas estudados os tempos médios foram superiores, variando de 0,128h a 0,207h.

Para o deslocamento sem carga no ramal, foram encontrados tempos médios variando de 0,030h até 0,049h, todos superiores ao tempo apontado pelos autores, que foi de 0,021h. Na operação de deslocamento com carga no ramal, em média, os tempos variaram de 0,022h a 0,042 h, todos abaixo do tempo de 0,044h encontrado pelos autores.

No tempo total do ciclo, em média, foram encontrados tempos variando de 0,0353h a 0,524h, enquanto que o encontrado pelos autores foi de 0,331h.

Observou-se que os autores encontraram um tempo de descarregamento duas a três vezes menor do que os tempos médios do presente estudo. A operação de descarregamento, no presente estudo, consumiu em média 36,3% a 39,5% do tempo total médio do ciclo, enquanto no estudo de Santos e Machado (2001) esta operação consumiu 19,9% do tempo total do ciclo, portanto cerca da metade do tempo registrado por estes autores.

A descarga consumiu tempos entre 35% e 40% do ciclo e ofereceu as melhores oportunidades de otimização do tempo do ciclo de extração de madeira, através da utilização de equipamentos ou sistemas operacionais empregados na indústria canavieira, por exemplo, em que a descarga é efetuada em um único feixe, por meio de descarregadores complementares estacionados no estaleiro de transbordo de carga.

Outra possibilidade de otimização é a de sistemas basculantes, que procedem a descarga em um único movimento lateral ou traseiro. Desta forma, também supõe-se que seria possível melhorar a eficiência do *forwarder*.

5.3 Análise de variância dos elementos do ciclo operacional

Na Tabela 7 são apresentados os dados médios da análise de variância do número de gruadas na carga e descarga para os três subsistemas de extração. Verifica-se que, no carregamento, o número de gruadas no subsistema 2 foi estatisticamente diferente do subsistema 1. No descarregamento os três subsistemas foram estatisticamente diferentes.

Tabela 7. Dados médios da análise de variância do número de guadas no carregamento e no descarregamento.

Subsistemas	Número de Guadas	
	Carregamento	Descarregamento
1	43 b	29 b
2	30 a	21 a
3	36 ab	31 c
Média Geral	37	28
F _{sistema}	7,51 **	9,68 **
DMS (Tukey 10%)	6,84	5,42
C.V (%)	22	24

ns = não significativo;

* e ** = significativo a 10 e 1% de probabilidade respectivamente pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 10%

Na Tabela 8 são apresentadas a análise de variância de subsistemas de extração de madeira para o tempo total do ciclo, tempo de carregamento, tempo de descarregamento e volume. Pode-se ver que o volume não houve diferença estatisticamente significativa entre os subsistemas. Observa-se que o tempo total do ciclo bem como o tempo de carregamento e descarregamento foram estatisticamente menores no subsistema 2 em comparação aos subsistemas 1 e 3. Os subsistemas 1 e 3 foram estatisticamente iguais no que se refere aos tempos avaliados.

Tabela 8. Análise de variância de subsistemas de extração de madeira, para o tempo total de ciclo, tempo de carregamento, tempo de descarregamento e média do volume (m³) de madeira extraída por estrato.

Subsistemas	Tempo total de ciclo (s)	Tempo de carregamento (s)	Tempo de descarregamento (s)	Volume (m ³)
1	1.793 b	862 b	660 b	39
2	1.269 a	623 a	461 a	38
3	1.888 b	811 b	751 b	44
Média Geral	1697	787	642	41
F _{sistema}	10,05**	6,96 **	12,03**	2,05 ns
F _{distância}	4,46**	1,53 ns	1,93 ns	1,77 ns
DMS (Tukey 10%)	359,93	156,36	148,06	8,10
C.V (%)	24	23	26	29

ns = não significativo;

e ** = significativo a 10 e 1% de probabilidade respectivamente pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra ou não contendo letras na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 10%

Na Tabela 9 são apresentadas as análises de variância de subsistemas de extração de madeira para o tempo de deslocamento sem carga no ramal, tempo de deslocamento com carga no ramal. O tempo de deslocamento sem carga no ramal foi estatisticamente igual nos subsistemas 1 e 2 e o subsistema 2 diferiu do 3. Os subsistemas 1 e 3 foram iguais para o tempo de deslocamento sem carga no ramal. Já o tempo de deslocamento com carga no ramal do subsistema 2 foi estatisticamente diferente dos demais, sendo que os subsistemas 1 e 3 não diferiram estatisticamente. Verifica-se que não houve interação significativa entre distância de extração e subsistemas.

Tabela 9. Análise de variância de subsistemas de extração de madeira, tempo de deslocamento sem carga no ramal, tempo de deslocamento com carga no ramal.

Subsistemas	Deslocamento sem carga no ramal (s)	Deslocamento com carga no ramal (s)
1	147 a b	124 b
2	107 a	78 a
3	176 b	151 b
Média Geral	147	121
F _{subsistema}	10,53**	9,82**
F _{distância}	32,44**	23,70**
F _{sist*dist}	1,02 ns	0,93 ns
DMS (Tukey 10%)	40,02	42,18
C.V (%)	29	37

ns = não significativo;

* e ** = significativo a 10 e 1% de probabilidade respectivamente pelo teste F.

Embora o volume médio de madeira por estrato não apresentar diferença estatisticamente significativa entre os subsistemas, as atividades de carregamento, descarregamento, deslocamento sem carga no talhão, deslocamento com carga no talhão e tempo total do ciclo de extração, foram inferiores no subsistema 2.

Ainda nas Tabelas 7, 8 e 9 são apresentados os resultados da análise de variância onde se detecta a existência de diferenças significativas ao nível de confiança de 1% entre os subsistemas adotados para todas as variáveis avaliadas, exceto para o volume extraído (m³). Percebe-se também que o subsistema 2 foi o que apresentou as menores médias em todas as atividades de extração de madeira, embora o volume extraído também seja inferior, mas estatisticamente igual quando comparados com os outros.

O tempo total do ciclo, além de ser influenciado pelos subsistemas de extração e distâncias, está sujeito também a variações de um ou mais componentes, como aconteceu no presente caso, onde se registra que as atividades parciais deslocamento sem carga no ramal e deslocamento com carga no ramal foram os que mais influenciaram esta variável.

Por outro lado, tanto o tempo de carregamento quanto o tempo de descarregamento tiveram pouco ou nenhum efeito na variação do tempo total do ciclo de extração de madeira. Isto pode ser explicado da seguinte maneira: as atividades parciais de deslocamento sem carga no ramal e deslocamento com carga no ramal dependem diretamente das distancias percorridas no ramal de extração. Já o tempo de carregamento e o tempo de descarregamento não são afetados pelas distancias de extração de toretes. As operações de carregamento e descarregamento significam a maior parcela de tempo no ciclo, sendo que sobre estas é possível adotar novos subsistemas que reduzam o tempo das atividades.

Tabela 10. Análise de variância de subsistemas de extração de madeira, para o número de guadas para carregamento, número de guadas para descarregamento e volume (m³) de madeira extraída por parcela experimental de 50 m.

Classes de Distância (m)	Número de guadas para carregamento			Número de guadas para descarregamento			Volume (m ³)		
	Subsistemas			Subsistemas			Subsistemas		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0-50	29 a	28	35	21	20	31	31	31	44
>50-100	44 ab	34	40	28	22	37	38	45	48
>100-150	46 ab	20	36	30	15	28	40	31	40
>150-200	45 ab	29	18	28	22	15	36	40	21
>200-250	40 ab	23	44	28	15	36	37	28	53
>250-300	51 b	43	43	38	30	36	48	54	57
Média Geral	43	30	36	29	21	30	38	38	44
Fdistância	4,24*	0,99 ns	1,56ns	2,63ns	1,07ns	2,26ns	2,49ns	0,99ns	1,79ns
DMS (Tukey 10%)	18	42	38	17	27	28	19	51	47
C.V (%)	12,26	39,66	29,99	16,32	36,99	26,46	13,70	38,35	30,74

ns = não significativo;

* e ** = significativo a 10 e 1% de significância respectivamente pelo teste Tuckey.

Médias seguidas de mesma letra ou não contendo letras na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 10%

Na Tabela 10 foi realizada a análise de variância de subsistemas de extração de madeira para o número de guadas para carregamento, número de guadas para

descarregamento e volume, considerando como parcelas experimentais as distâncias de extração para as diferentes variáveis estudadas.

A variável número de gruadas para carregamento foi significativa ao nível de confiança de 10% de probabilidade, apenas no subsistema 1, variando de 29 a 51 nas distâncias de 0-50 e de 250-300 m respectivamente, mostrando visivelmente maiores volumes de madeira quanto mais distantes da estrada, como mostrado na média dos volumes (m³) do subsistema 1. No entanto vale salientar que, a quantidade de madeira distribuída ao longo do ramal é totalmente ao acaso, não existindo nenhuma relação entre volume e distância de extração. Nota-se que não houve diferenças significativas no número de gruadas no descarregamento na mesma situação, mas isto pode ser explicado pelos volumes mais regulares na ocasião do descarregamento. Na distância de 150-200 metros do subsistema 3 foi constatado menor número de gruadas para carregamento e descarregamento, bem como baixo volume de madeira, sendo que em uma das parcelas não havia madeira, resultando dados discrepantes dos demais.

Na Tabela 11 foi realizada a análise de variância para distâncias de extração de madeira, para tempo total do ciclo, tempo de carregamento, tempo de descarregamento, considerando como parcelas experimentais as distâncias de extração para as diferentes variáveis estudadas. Na distância de 150-200 metros do subsistema 3 foi constatado menor tempo total de ciclo, tempo de carregamento e tempo de descarregamento, sendo que em uma das parcelas não havia madeira, resultando dados discrepantes dos demais.

Tabela 11. Distâncias de extração de madeira, para tempo total de ciclo, tempo de carregamento, tempo de descarregamento por parcela experimental de 50 m.

Distância (m)	Tempo total de ciclo (s)			Tempo de Carregamento (s)			Tempo de Descarregamento (s)		
	Subsistemas			Subsistemas			Subsistemas		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0-50	1071 a	1055	1788 ab	614	570	890	424	441	816 ab
>50-100	1606 a b	1271	2052 ab	835	693	907	659	484	922 b
>100-150	1798 a b	855	1761 ab	924	449	779	663	305	739 ab
>150-200	1866 a b	1029	886 a	908	689	388	672	508	328 a
>200-250	1915a b	952	2326 ab	852	465	955	690	312	831 ab
>250-300	2498 b	2054	2513 b	1039	673	946	852	715	868 b
Média Geral	1793	1269	1888	862	623	810	660	461	751
Fdistância	3,89*	2,06 ns	3,55*	1,41ns	1,26 ns	2,41ns	2,44 ns	1,33 ns	4,32*
DMS (Tukey 10%)	1170	1518	1514	592	715	694	436	653	517
C.V (%)	18,00	33,98	22,78	19,52	32,58	24,43	18,80	40,24	19,56

ns = não significativo;

* e ** = significativo a 10 e 1% de significância respectivamente pelo teste Tuckey.

Médias seguidas de mesma letra ou não contendo letras na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 10%

Tabela 12. Dados referentes a distâncias de extração de madeira, para o tempo de deslocamento sem carga no ramal, tempo de deslocamento com carga no ramal e volume (m³) de madeira extraída por parcela experimental de 50 m.

Distância (m)	Tempo de deslocamento sem carga (s)			Tempo de deslocamento com carga (s)		
	Subsistemas			Subsistemas		
	1	2	3	1	2	3
0-50	24 a	28 a	50 a	11 a	16 a	33 a
>50-100	70 ab	61 a	111 a	43 a	33 a	113 ab
>100-150	122 ab	61 a	132 ab	89 ab	41 a	111 ab
>150-200	155 ab	125 a	186 ab	132 ab	107 b	144 ab
>200-250	201 c	106 a	296 ac	173 b	70 a	245 ac
>250-300	308 c	265 b	374 c	300 c	202 b	326 c
Média Geral	147	107	176	124	78	151
Fdistância	12,67**	12,23**	14,21**	18,28**	11,47**	8,50*
DMS (Tukey 10%)	141	120	170	121	101	190
C.V (%)	27,23	31,85	27,40	27,64	36,69	35,85

ns = não significativo;

* e ** = significativo a 10 e 1% de significância respectivamente pelo teste Tuckey.

Médias seguidas de mesma letra ou não contendo letras na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 10%

Na Tabela 12 foi apresentada a análise de variância para distâncias de extração de madeira, para tempo total do ciclo, deslocamento sem carga no ramal, deslocamento com carga no ramal e volume, considerando como parcelas experimentais as distâncias de extração para as diferentes variáveis estudadas.

Os resultados indicam que, apesar do volume transportado de madeira ser semelhante nos três subsistemas analisados, as atividades de carregamento, descarregamento, deslocamento sem carga no talhão, deslocamento com carga no talhão e tempo total do ciclo de extração foram todas significativamente menores no subsistema 2. Isto pode ser devido a vários motivos, tais como a diferença na composição das pilhas, quantidade de resíduos da colheita no ramal e carregamento por um ou pelos dois lados do *forwarder*.

5.3.1 Composição das pilhas no ramal

Observou-se que a composição das pilhas de toretes diferiu nos três subsistemas.

Nas florestas de primeira rotação as pilhas do subsistema 1 eram menores em comparação com o subsistema 2, sendo que em ambos os casos elas eram formadas sobre os travesseiros.

Já nas florestas de segunda rotação as pilhas eram formadas diretamente sobre o solo, isto é, sem travesseiros e tinham um tamanho similar as pilhas do subsistema 1.

5.3.2 Quantidade de resíduos da colheita

O deslocamento sem carga no talhão, que é efetuado em marcha-ré, o que significa uma limitação no campo de visão do operador. Havendo menor quantidade de resíduos da colheita o *forwarder* pode se deslocar com maior segurança e velocidade. Pode-se ver na Figura 29 que a velocidade média do *forwarder* no ramal com e sem carga nos três subsistemas foram menores no subsistema 3, onde observou-se uma maior quantidade de resíduos da colheita.

5.3.3 Forma de carregamento do *forwarder*

O carregamento da madeira disposta em um só lado do ramal, como no subsistema 2, resultou em menor tempo de carregamento (Tabela 8). Supõe-se que neste caso a máquina, pode posicionar-se adequadamente junto às pilhas a serem carregadas, reduzindo o tempo de cada movimento da grua na operação.

Aspectos tais como o tamanho das pilhas e também quanto maior a proximidade entre as pilhas, podem ter influenciado no rendimento operacional do carregamento na medida em que desta forma o *forwarder* realizava um maior numero de gruadas num mesmo local, sem haver necessidade de deslocamento.

Pilhas maiores também podem ter aumentado a eficiência da garra, permitindo carregar maior volume por ciclo de grua.

No subsistema 2, o número de gruadas na carga e na descarga, mesmo tendo percentualmente volume semelhante de madeira movimentada ao subsistema 1, foi significativamente menor. Isto permite supor que a forma de empilhamento da madeira, com pilhas em um só lado do ramal, contribuiu para este menor número de gruadas em relação aos demais subsistemas. Contudo, considerando que os tempos das atividades parciais do subsistema 2 foram menores do que as atividades parciais dos demais subsistemas, supõe-se que a forma do empilhamento com pilhas em um só lado do ramal deve ter influenciado nestes tempos, porém não descarta-se a possibilidade de outros fatores também terem participação nos resultados.

5.3.4 Análise não paramétrica dos rendimentos operacionais

Foi efetuada a análise estatística com teste não paramétrico (qui-quadrado) (Tabela 13), e estabelecidos índices como se fossem “notas médias” (Pimentel Gomes, 1987).

Tabela 13. Aplicação do qui-quadrado para o rendimento operacional por subsistema.

Subsistema	Rendimento operacional (m ³ h ⁻¹)	Média	Soma
1	77,35	90,3	167,65
2	109,29	90,3	199,59
3	84,26	90,3	174,56
Soma	270,9	270,9	541,8

Considerou-se os limites unilaterais de qui-quadrado (χ^2) com probabilidades para 1 e 2 graus de liberdade conforme Tabela 14.

Tabela 14: Limites unilaterais de qui-quadrado.

Graus de Liberdade	20%	10%	5%	2%	1%	0,1%
1	1,64	2,71	3,84	5,41	6,64	10,83
2	3,22	4,60	5,99	7,82	9,21	13,82

Fonte: Pimentel Gomes (1987)

Desta forma foram encontrados os seguintes resultados para o conjunto dos três sistemas de extração de madeira: $X^2 = 6,25$ com 2 G.L. *10% **5%

Assim sendo, para 10% de probabilidade este resultado é maior que o limite de 4,60, portanto significativo. Isto significa que existem menos de 10% de probabilidade de que os três sistemas estudados sejam iguais, ou por outro lado, existem mais de 90% de probabilidade de acertar de que os sistemas são diferentes entre si.

Confrontando os três subsistemas entre si, dois a dois, encontrou-se os seguintes resultados:

Comparando os sistemas 1 e 2: $x^2 = 5,466$ com 1 G.L. ***2%

Comparando os sistemas 1 e 3: $x^2 = 0,296$ com 1 G.L. Não significativo

Comparando os sistemas 2 e 3: $x^2 = 3,24$ com 1 G.L. *10%

Isto significa que, ao comparar os três sistemas, existe diferença entre o sistema 1 e 2 para mais de 98% de probabilidades. Existe diferença entre o sistema 2 e 3 para mais de 90% de probabilidades. Porém, não foi encontrada diferença entre os sistemas 1 e 3 para 20% de probabilidades.

5.4 Rendimentos operacionais

Na Tabela 15 é apresentada a comparação percentual dos movimentos da grua do *forwarder* para os três subsistemas. Observa-se que nos três subsistemas apresentaram maior numero de gruadas no carregamento em comparação ao descarregamento, considerando valores médios de volume por ciclo.

Tabela 15. Comparação percentual dos movimentos da grua do *forwarder*.

Subsistema	Movimentos da Grua		
	Gruadas no carregamento (%)	Gruadas no descarregamento (%)	Total (%)
1	60	40	100
2	59	41	100
3	54	46	100

Na Tabela 16 é apresentada a comparação percentual dos tempos do *forwarder*.

Tabela 16. Composição percentual dos tempos do *forwarder*.

Subsistema	Carregamento (%)	Descarregamento (%)	Deslocamento no ramal		Tempo total do ciclo (%)
			sem carga (%)	com carga (%)	
1	48	37	8	7	100
2	49	36	9	6	100
3	43	40	9	8	100

Na Tabela 16, pode-se observar que os ciclos são compostos de atividades parciais com semelhança porcentual no deslocamento sem carga no ramal, com 8% no subsistema 1, de 9% nos subsistemas 2 e 3, e no deslocamento com carga no ramal, que foi de 7 % no subsistema 1, de 6 % no subsistema 2 e de 8% no subsistema 3. A atividade de carregamento necessitaram de 48% do tempo do ciclo no subsistema 1, 49% no subsistema 2 e 43% no subsistema 3. A atividade de descarregamento necessitou de 37% do ciclo no subsistema 1, de 36% no subsistema 23 e 40% no subsistema 3.

Observou-se que nos três subsistemas foi necessário no máximo 17% do tempo médio por ciclo de extração de madeira para as atividades de deslocamento sem e com carga no ramal.

Por outro lado observou-se que nos três subsistemas as atividades de carregamento e descarregamento necessitaram no mínimo 83% do tempo médio.

Pena et al. (1993) verificaram que a atividade parcial de carregamento representa entre 50 e 60% do tempo do ciclo operacional do *forwarder* estando acima dos valores encontrados neste estudo. Entretanto as observações de campo permitem supor que

esta atividade poderia ser redimensionada através de uma diminuição do alcance da grua. Menores alcances significam menor momento, ou seja, maior capacidade de carga da grua. Desta forma esta mudança poderia aumentar a eficiência do *forwarder*. O aumento da capacidade de carga também está relacionado ao aumento da área da garra.

Segundo Pena *et al.* (1993) a atividade de descarregamento representa entre 28 e 34% do tempo do ciclo, ou seja, valores inferiores aos obtidos neste estudo onde o descarregamento ocupou até 40% do tempo dos ciclos dos subsistemas estudados. Neste caso pode-se supor que também seja possível reduzir o tempo de descarregamento. Considerando que o *forwarder* tem como função principal realizar a extração, ou seja, transportar a madeira até a margem da estrada, o descarregamento poderia ser executado adotando-se uma máquina ou um equipamento específico. Como, por exemplo, podemos citar o sistema basculante que libera a carga do *forwarder* em uma única operação, retirando a madeira em um único feixe. Outra forma de descarregar o *forwarder* poderia ser através de uma ponte rolante móvel, similar ao que é utilizado na indústria canavieira.

5.4.1 Tempo médio por ciclo

Na Figura 30 é apresentado o tempo médio por ciclo. Em ordem crescente o tempo médio por ciclo foi de 890 segundos, para o subsistema 2, 894,24 segundos para o subsistema 3 e 899,32 segundos para o subsistema 1.

O menor tempo médio para desenvolver um ciclo de extração de madeira apresentado pelo subsistema 2 pode ter sido influenciado pela disposição das pilhas de toretes, que neste caso estavam dispostas somente em um lado do ramal. Pode-se supor que isto também pode ter sido devido ao fato das pilhas terem maior volume unitário além de terem sido confeccionadas sobre travesseiros aliado a presença de menor quantidade de resíduo de colheita no ramal.

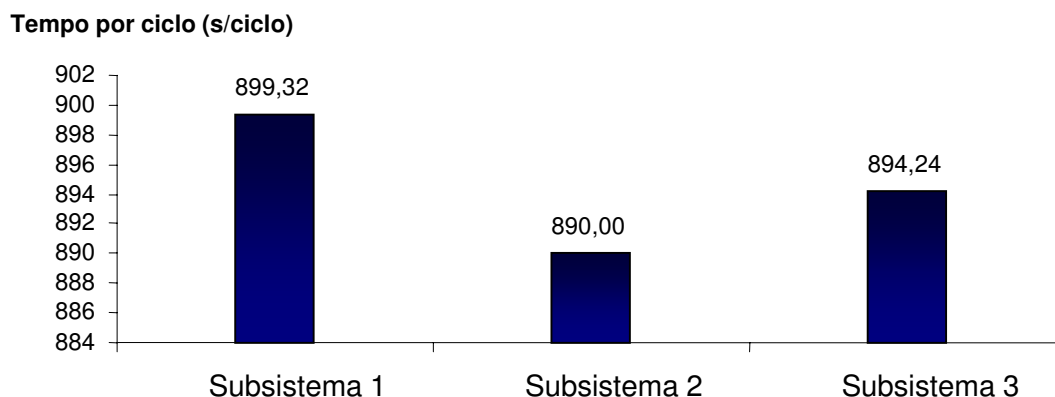


Figura 30 – Tempo médio por ciclo para uma distância média de extração de 150 m.

5.4.2 Correlação entre a distância de extração e o rendimento operacional

A Figura 31 permite visualizar o desempenho dos três subsistemas de extração. Pode-se ver que a capacidade funcional do *forwarder* no subsistema 2 foi superior aos demais subsistemas. Também se pode verificar que nos três subsistemas estudados o rendimento operacional não tem correlação com a distância de extração. Isto pode ser observado pela distribuição heterogênea dos pontos no gráfico com referência aos três subsistemas.

Embora possa verificar uma tendência na diminuição do rendimento operacional do *forwarder* em função da distancia de extração para os três subsistemas a dispersão dos pontos e o R^2 baixo indica que a distancia pouco influencia o rendimento operacional de extração para distancias de até 300 metros de extração. Isto confirma os dados da composição porcentual dos tempos do *forwarder* apresentados na Tabela 17, onde vemos que o tempo de viagem com e sem carga representa até 17% do tempo total do ciclo de extração.

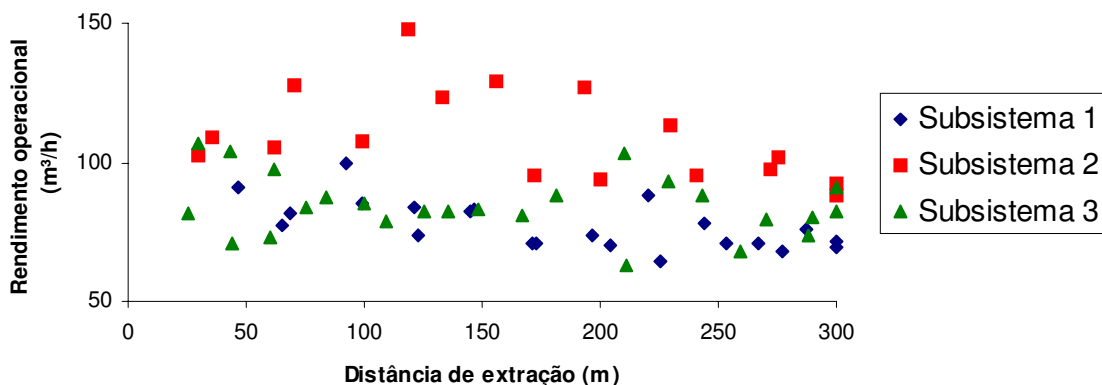


Figura 31 – Relação entre o rendimento operacional e a distância de extração

O rendimento operacional do deslocamento sem carga no ramal em função da distância de extração (Figura 32) apresentou alta correlação (Tabela 18) nos três subsistemas. Observa-se que a dispersão dos dados segue uma tendência clara sobre a qual foi traçada a curva de correlação.

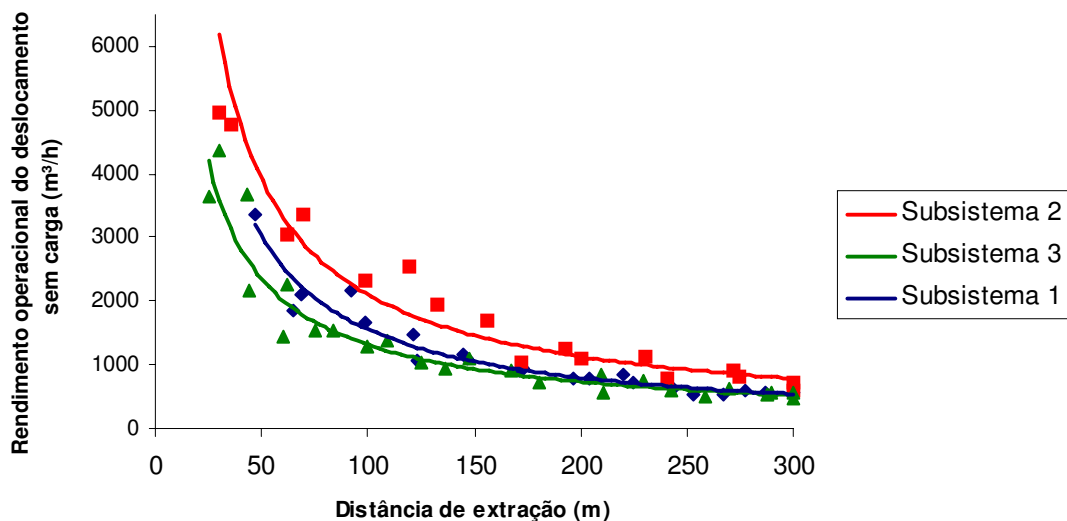


Figura 32 – Rendimento operacional do deslocamento sem carga no ramal em função da distância de extração

As equações da correlação e principalmente o R^2 confirmam a correlação entre o rendimento operacional do *forwarder* e a distância de extração (Tabela 17) para até 300 metros de distância de extração.

Tabela 17. Equações da correlação entre o rendimento operacional do deslocamento do *forwarder* sem carga no ramal em função da distância de extração

Subsistema 1	$Y = 128723x^{-0,9591}$	$R^2 = 0,9588$
Subsistema 2	$Y = 130324x^{-0,896}$	$R^2 = 0,9351$
Subsistema 3	$Y = 62727x^{-0,8393}$	$R^2 = 0,9477$

Na Figura 33 é apresentada o rendimento operacional do deslocamento com carga no ramal em função da distância de extração. Neste caso o R^2 apresentado na Tabela 20 indica uma boa correlação entre o rendimento operacional e a distancia de extração.

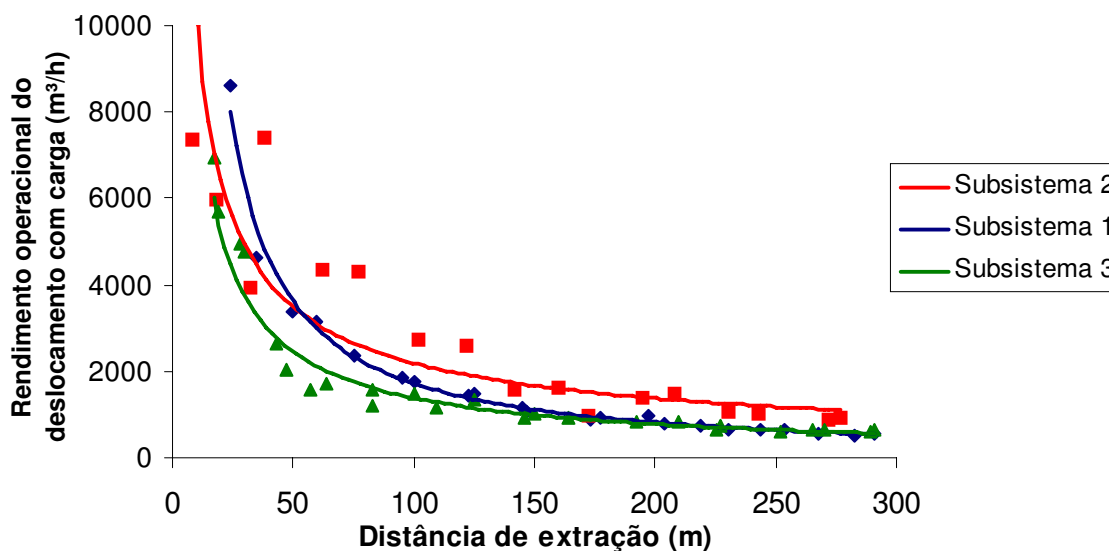


Figura 33 – Rendimento operacional do deslocamento com carga no ramal em função da distância de extração

Na Tabela 18 são apresentadas as equações da correlação entre o rendimento operacional do deslocamento do *forwarder* com carga no ramal em função da distância de extração:

Tabela 18. Equações da correlação entre o rendimento operacional do deslocamento do *forwarder* com carga no ramal em função da distância de extração

Subsistema 1	$Y = 48383x^{-0,6723}$	$R^2 = 0,8375$
Subsistema 2	$Y = 245070x^{-1,0768}$	$R^2 = 0,9927$
Subsistema 3	$Y = 63680x^{-0,8323}$	$R^2 = 0,9626$

5.4.3 Rendimentos operacionais médios

Na Figura 34 é apresentado o rendimento operacional da extração para distância média de 150 m. No subsistema 1 o rendimento operacional médio foi de 77,35m³/h, no subsistema 2 foi de 109,29m³/h e no subsistema 3 foi de 84,26m³/h.

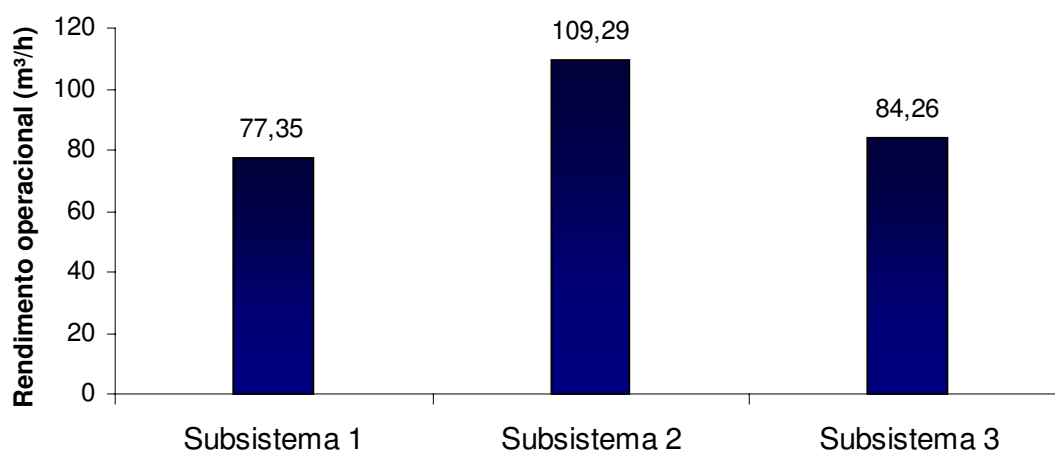


Figura 34 – Rendimento operacional do forwarder para distância média de 150 metros de extração

Na Figura 35 é apresentado o rendimento operacional do *forwarder* na atividade parcial de deslocamento sem carga no ramal para a distância média de extração de 150 metros. No subsistema 1 o rendimento médio operacional do *forwarder* na atividade parcial de deslocamento sem carga no ramal foi de 1132,51m³/h, no subsistema 2 foi de 1942,87m³/h e no subsistema 3 foi de 1361,13m³/h.

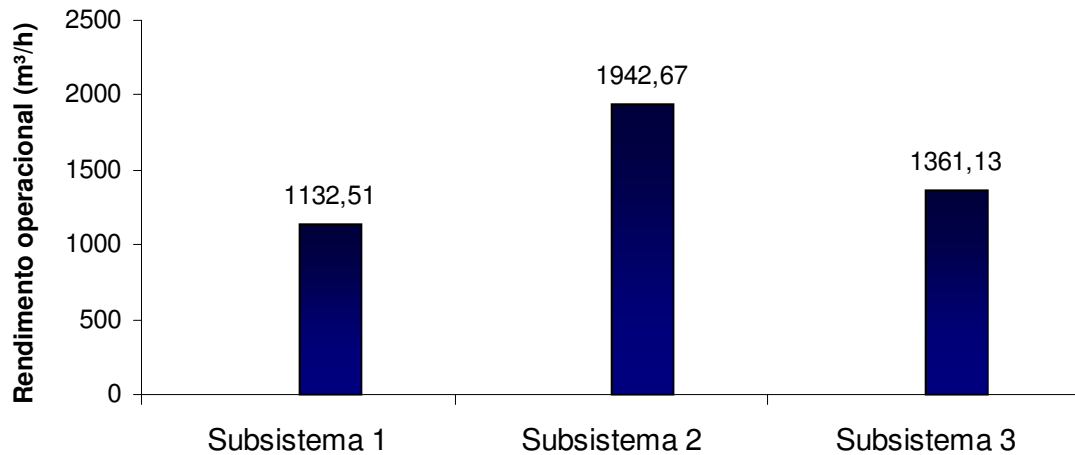


Figura 35 – Rendimento operacional médio do deslocamento sem carga no ramal em função dos diferentes subsistemas para a distância média de extração de 150 metros.

Na Figura 36 é apresentado o rendimento operacional do carregamento em m³ por hora nos diferentes subsistemas. No subsistema 1 o rendimento operacional do *forwarder* na atividade parcial de carregamento foi de 159,78m³/h, no subsistema 2 foi de 224,07m³/h e no subsistema 3 foi de 196,07m³/h.

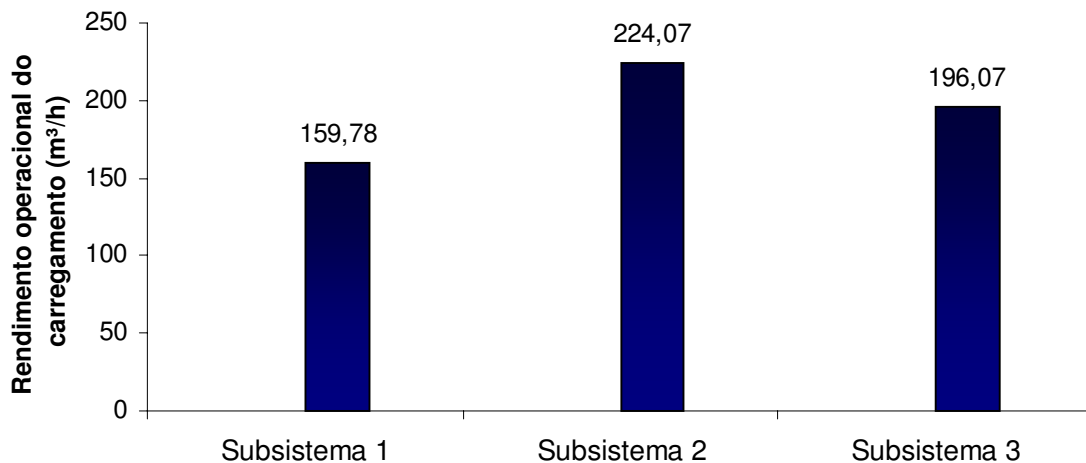


Figura 36 – Rendimento operacional do carregamento em m³ por hora nos diferentes subsistemas

Observou-se que no subsistema 2 o *forwarder* posiciona-se próximo das pilhas durante o carregamento do que nos outros subsistemas estudados. Neste caso não há necessidade do telescópio na grua, pois a máquina pode estacionar junto da pilha a ser

carregada. Desta forma há a possibilidade de economia na aquisição, bem como na manutenção do equipamento.

Na Figura 37 pode-se ver a média do rendimento operacional no deslocamento com carga no ramal nos diferentes sistemas para uma distância média de extração de 150 metros. No subsistema 1 o rendimento médio operacional do *forwarder* na atividade parcial de deslocamento com carga no ramal foi de 1765,68m³/h, no subsistema 2 foi de 2916,45m³/h e no subsistema 3 foi de 1846,04m³/h.

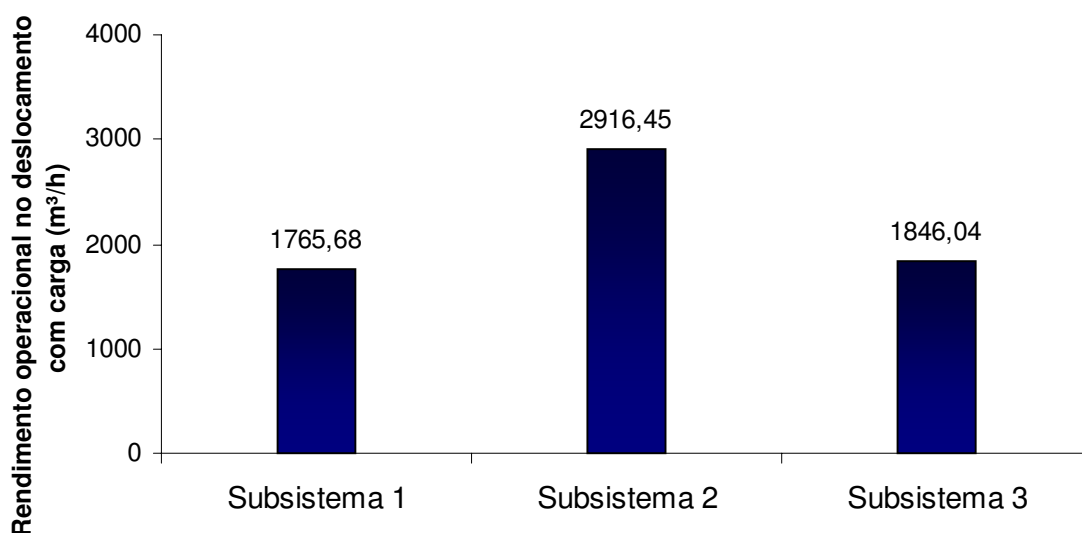


Figura 37 – Média do rendimento operacional no deslocamento com carga no ramal nos diferentes subsistemas para uma distância média de extração de 150 metros

Na Figura 38 é apresentado o rendimento operacional do *forwarder* no descarregamento. No subsistema 1 o rendimento operacional do *forwarder* na atividade parcial de descarregamento foi de 218,66m³/h, no subsistema 2 foi de 297,69m³/h e no subsistema 3 foi de 215,00m³/h.

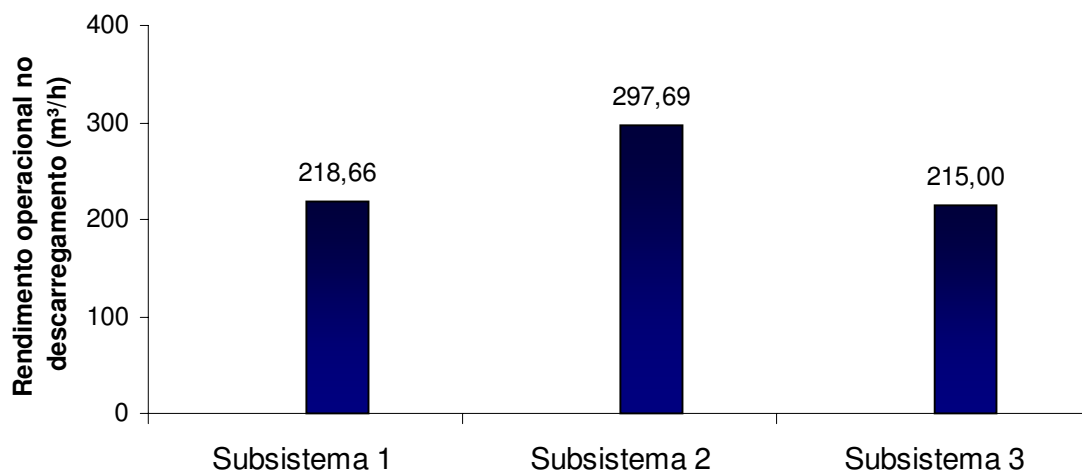


Figura 38 – Rendimento operacional médio no descarregamento em m³ por hora

5.5 Análise dos movimentos

Na Figura 39 são apresentados os volumes de madeira (m³/garrada) médios do carregamento e do descarregamento, nos três subsistemas. Observa-se que o subsistema 2 apresenta rendimentos operacionais superiores ao subsistema 3 que, por sua vez, apresenta rendimentos operacionais superiores ao subsistema 1, tanto no volume por garrada na carga quanto na descarga.

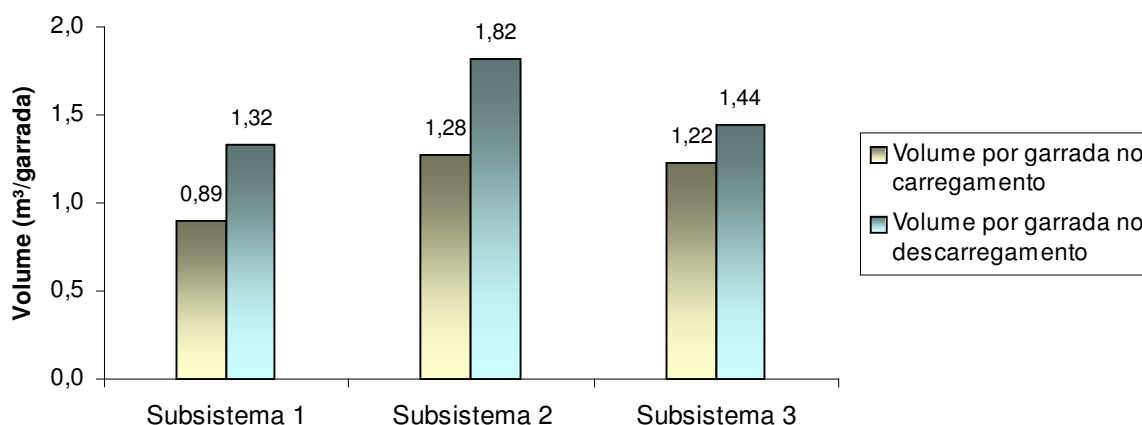


Figura 39 – Comparativo entre volume (m³/garrada) médio por garrada no carregamento e descarregamento, nos subsistemas

Na Figura 40 mostra a velocidade média do descarregamento no subsistema 1 que foi de 21,87 segundos por gruada, enquanto o subsistema 2 foi de 22,21 segundos por gruada e o subsistema 3 foi de 24,53 segundos por gruada.

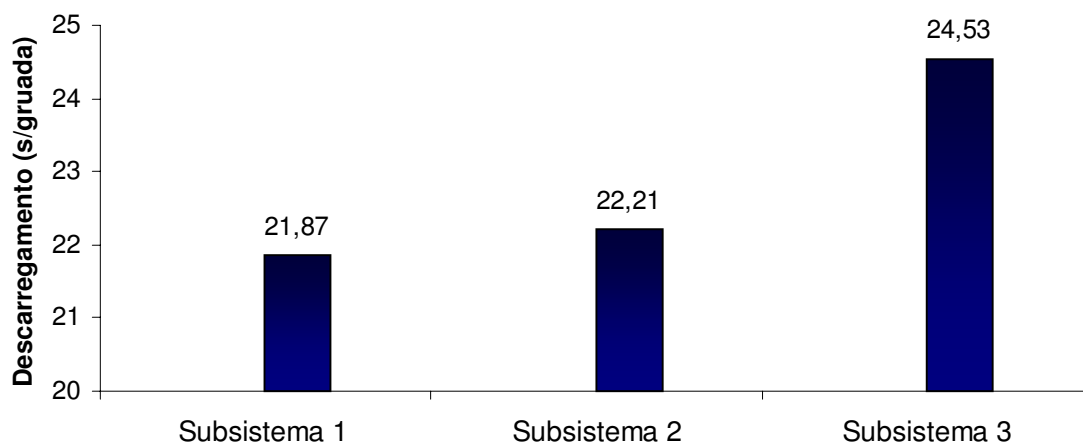


Figura 40 – Velocidade média do descarregamento em segundos por gruada

Na Figura 41 é apresentado o número de guadas por hora no carregamento e no descarregamento. O subsistema 1 apresenta maior número de guadas nas duas operações e o subsistema 3, o menor número de guadas. O subsistema 2 apresenta número menor de guadas do que o subsistema 1, sendo em média 2,91 guadas por hora no carregamento e 1,97 no descarregamento. Em todos subsistemas o número de guadas por hora foi maior no carregamento em comparação ao descarregamento.

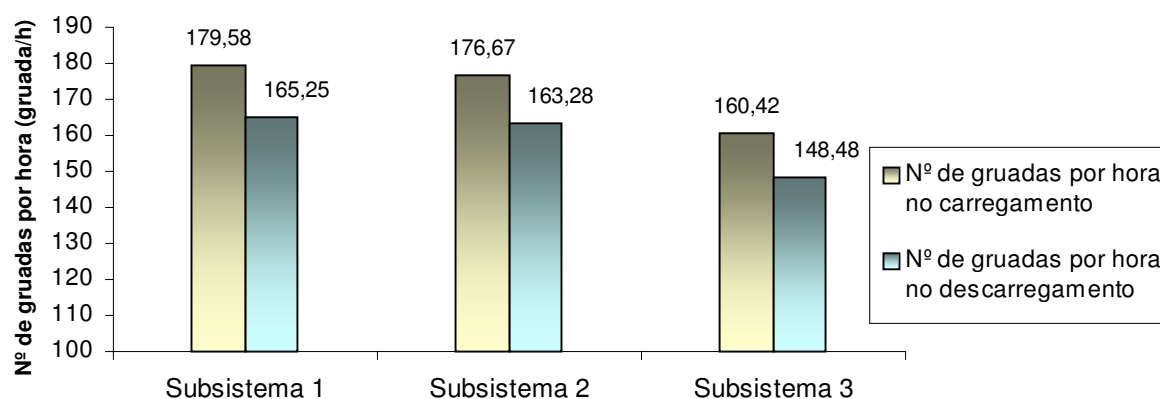


Figura 41 – Número de gruadas por hora no carregamento e descarregamento

Na Tabela 19 é apresentada a média dos tempos em segundos por ciclo, para os três subsistemas. Pode ser observado que o deslocamento sem carga e o deslocamento com carga têm o menor tempo médio no subsistema 2. Já no carregamento o menor tempo médio ocorreu no subsistema 3 e o menor tempo médio de descarregamento ocorreu no subsistema 1. Na média total de tempo por ciclo, o subsistema 2 apresentou 890 segundos, contra 894,24 segundos do subsistema 3 e 899,31 segundos do subsistema 1.

Tabela 19 – Média dos tempos em segundos por ciclo

Subsistema	Deslocamento sem carga (s)	Deslocamento com carga (s)	Carregamento (s)	Descarregamento (s)	Total (s)
1	78,91	67,32	435,68	317,41	899,32
2	75,71	55,65	431,88	326,76	890,00
3	84,00	75,36	385,56	354,32	894,24

A Tabela 20 apresenta numericamente os rendimentos operacionais (m^3h^{-1}) por atividade do ciclo de extração de madeira nos subsistemas estudados, pode-se observar que o subsistema 2 tem a maior rendimento operacional em todas as atividades avaliadas. Neste subsistema o rendimento operacional total foi de $109,29 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, enquanto o rendimento operacional do subsistema 3 foi de $84,26 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ e o do subsistema foi de $77,35 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Os rendimentos operacionais no deslocamento sem carga e no deslocamento com carga são

de 5 a 11 vezes maiores que no carregamento e na descarga para o subsistema 1, de 9 a 13 vezes maiores para o subsistema 2 e 8 a 9 vezes maiores para o subsistema 3.

Tabela 20 – Rendimento operacional (m^3h^{-1}) por atividade do ciclo de extração de madeira

Subsistema	Desl. sem carga (m^3h^{-1})	Desl. com carga (m^3h^{-1})	Carregamento (m^3h^{-1})	Descarregamento (m^3h^{-1})	Total (m^3h^{-1})
1	1132,51	1765,68	159,78	218,66	77,35
2	1942,67	2916,45	224,07	297,69	109,29
3	1361,13	1846,04	196,07	215,00	84,26

5.6 Balanço energético e custos

Na Tabela 21 é apresentado o rendimento operacional, o consumo de óleo diesel e o custo na extração de madeira com *forwarder*, por subsistema.

Considerando o consumo de 23 litros de óleo Diesel por hora de operação do *forwarder*, segundo informação fornecida pela empresa, o consumo por m^3 de madeira extraída para o subsistema 2 foi de 0,21 l/m^3 , para o subsistema 3 foi de 0,27 l/m^3 e para o subsistema 1, 0,28 l/m^3 . Desta forma verifica-se que o subsistema 2 apresentou um consumo de óleo diesel 25% menor e em relação ao subsistema 1. Comparando-se o subsistema 2 com o subsistema 3 a economia é de 22,3%.

Considerando que as diferenças entre os subsistema 1 e 2 residem basicamente no volume por pilha no ramal, pode-se afirmar que quanto maior este volume menor é o consumo de combustível por metro cúbico de madeira extraída. Considerando-se ainda, que o volume das pilhas afeta basicamente a atividade parcial de carregamento do *forwarder* e que esta atividade corresponde a cerca de 50% do tempo do ciclo operacional, deduz-se que a concentração da madeira em uma fila de pilhas por ramal reduz pela metade o consumo de Diesel durante o carregamento ao se considerar as demais operações parciais similares.

De acordo com as informações da empresa o *forwarder* estudado tinha um custo de R\$ 104,51 (USD 44,50) por hora. Com base neste valor constatamos um custo de

R\$ 0,96 por metro cúbico de madeira extraída para o subsistema 2, R\$ 1,24 para o subsistema 3 e R\$ 1,35 para o subsistema 1.

Tabela 21 – Rendimento operacional, consumo de óleo diesel e custo por m³ na extração de madeira com *forwarder*, por subsistema

Subsistema	Rendimento operacional (m ³ h ⁻¹)	Consumo óleo diesel (l/m ³)	Custo R\$/ m ³
1	77,35	0,28	1,35
2	109,29	0,21	0,96
3	84,26	0,27	1,24

Comparando-se os subsistemas 1 e 2, que diferem basicamente no volume das pilhas, observa-se que há uma economia de 22,58% por metro cúbico de madeira extraída no subsistema 2, que tem pilhas maiores.

6 CONCLUSÕES

O subsistema de primeira rotação florestal com madeira remontada sobre “travesseiros” apresentou maior rendimento operacional em todas as atividades parciais, extraindo maior volume de madeira por ciclo de produção do *forwarder*.

O subsistema de primeira rotação florestal com madeira remontada sobre “travesseiros” permitiu uma economia de pelo menos 23% no consumo de combustível em comparação com os demais subsistemas.

As atividades de carregamento, descarregamento, deslocamento sem carga no ramal e deslocamento com carga no ramal, em relação ao tempo total do ciclo de produção do *forwarder*, apresentaram-se proporcionalmente semelhantes nos três subsistemas.

Nos subsistemas de primeira rotação florestal com madeira em pilhas convencionais sobre “travesseiros” e de primeira rotação florestal com madeira remontada sobre “travesseiros” houve maior tempo no carregamento.

No subsistema primeira rotação florestal com madeira em pilhas convencionais sem uso de “travesseiros” o tempo foi maior no descarregamento.

Nos três subsistemas a atividade de deslocamento com carga no ramal apresentou o maior rendimento operacional.

Nos três subsistemas a atividade de deslocamento sem carga no ramal apresentou o segundo maior rendimento operacional.

7 RECOMENDAÇÕES

Propõem-se intensificar os estudos de subsistemas de carga e descarga de madeira. Igualmente recomenda-se intensificar o estudo de remonte de madeira, utilizando-se máquina *harvester*.

Também é importante realizar estudos para verificar o impacto nas operações de corte florestal com a mudança para o subsistema de primeira rotação florestal com madeira remontada sobre “travesseiros”.

Recomenda-se estudos e desenvolvimento de equipamentos para o descarregamento, bem como para o carregamento, durante a extração de madeira com *forwarder*.

Sugere-se a realização de estudos relativos a impactos econômicos e ambientais no uso do subsistema de primeira rotação florestal com madeira remontada sobre “travesseiros”.

Incentiva-se também a realização de estudos dos subsistemas de empilhamento de madeira no ramal, para primeira e segunda rotação.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSSON, S.; LAESTADIUS, L. Efficiency in highly mechanized wood harvesting systems. In: SIMPÓSIO DE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, 5p. 1987, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1987. p.133-143.

ANDRADE, E.N. **O eucalipto**. Cia. Paulista de Estradas de Ferro, Jundiaí, São Paulo, 1961. 667 p.

BAENA, E. de S. **Análise da viabilidade econômica da resinagem em *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* nas regiões sul do Estado do Paraná e sul e sudoeste do Estado de São Paulo**. Curitiba.1994. 94 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais/ Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

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

BLUM, W. E. H. Processos termodinâmicos na relação planta-solo em ecossistemas florestais subtropicais e tropicais e consequências para a avaliação edáfica e o melhoramento florestal.

In: SEMINÁRIO SIF: [FERTILIZAÇÃO E MELHORAMENTO FLORESTAL] 10., Belo Horizonte, 1979. **Anais...** Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1979. p. 94-115.

CONWAY, S. **Logging practices:** principles of timber harvesting systems. [s.l.]: Miller Freeman Publications, 1976. 416 p.

DUARTE, R. C. G. **Sistemas de corte florestal mecanizado.** Trabalho de conclusão de Curso de Engenharia Florestal - Universidade Federal de Viçosa, MG, 1994. 21 p

ELDRIDGE, K.; DAVISON, J.; HARWOOD, C.; VAN WICK, C. **Eucalypt:** domestication and breeding. New York, Oxford University Press, 1993. 288 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Logging and log transport in man-made forests in developing countries. Roma: [s.n.] 1974. 134 p.

FENNER, P. T. **Estudo descritivo dos acidentes de trabalho em uma empresa florestal.** 1991. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

FENNER, P. T. Métodos de cronometragem e a obtenção de rendimentos para as atividades de colheita de madeira. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista, 2002. 14 p. (Notas de Aula: Disciplina de Exploração Florestal)

_____. Compactação do solo. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal.** Viçosa: UFV, 2002. p. 375-396.

FROEHLICH, H. A.; MCNABB, D. H. Minimizing soil compaction in Pacific Northwest forests. In: STONE, E. L. (Ed.) **Forest soils and treatment impacts.** Knoxville: University of Tennessee, 1984. p. 159-192.

GARCIA, C.H.; PIMENTEL-GOMES, F. Forest outlines of Brazil. **Revista da Agricultura**, v. 67, p. 105-107, 1992.

GEOMAPAS. **Estado de São Paulo total – ref. 581**. Disponível em: <<http://www.geomapas.com.br>>. Acesso em: 17 jul. 2006.

GREACEN, E. L.; SANDS, R. Compaction of forest soils: a review. **Australian Journal of Soil Research**. Glen Osmond: Collingwood, Australia, v. 18, n. 2, p. 163-189, 1980.

HATCHELL, G. E.; RALSTON, C. W.; FOIL, R. R. Effects on soil characteristics and growth of loblolly pine in the Atlantic Coastal Plain. **Journal of Forestry**, New York, v.68, p.772-775, 1970.

HEINRICH, R. State of the art in timber harvesting at the international level. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7.; CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba: SBS. **Anais...** 1993. p. 323-328

HOMA, M. Considerações técnicas e potencialidade da produção de derivados de resina de Pinus. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 33, p. 61-66, 1983.

JACOVINE, L. A. G. *et al.* Avaliação da perda de madeira em cinco sistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 463-470, 2001.

JACOVINE, L. A. G. *et al.* Avaliação da qualidade operacional em cinco subsistemas de colheita florestal. **Rev. Árvore.**, Viçosa, v. 29, n. 3, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000300006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 07 Sep 2006. doi: 10.1590/S0100-67622005000300006.

JRÓBOSTOV, S. N. Explotación del parque de tractores y maquinas. Moscou, Editorial Mir, 1977. 552 p.

KOMATSU FOREST, 2006. Disponível em: <<http://www.komatsuforest.com>>. Acesso em: 17 jul. 2006.

LEMOS, R. C. de; *et al.* **Carta dos solos do Estado de São Paulo**. Escala 1: 500.000. Ministério da Agricultura. 1960.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2002. p. 33-54.

LIMA, O. S. **Goma resina: origem, desenvolvimento e perspectivas para o Brasil**. São Paulo: Associação dos Resinadores do Brasil. 1996. p. 34-40.

MACHADO, C. C. O setor florestal brasileiro. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 2002. p.15-32

_____. **Exploração florestal**. 6. ed. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária., 1989, 34 p.

_____. **Exploração florestal**. 4. ed. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1985. 60 p.

_____. **Exploração florestal**. Viçosa, UFV: Imprensa Universitária, 1984, v. 3, 60 p.

_____. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal**. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1984. 138p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Planejamento. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2002. 468 p.

MARCELINO, F. A. **Análise técnica e econômica da resinagem de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* na região de Manduri, SP**. Botucatu. 2004. 85 f. Dissertação (Mestrado em

Agronomia / Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 2004.

MARCELINO, F. A.; FENNER, P. T.; CONEGLIAN, A.; NASCIMENTO, F. R. Comparação do desempenho das garras de 0,5 m² e 1,0 m² utilizadas pelos carregadores florestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2006. **Anais...** João Pessoa. 4 p.

MARTINI, A. J.; **História, geografia e meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.canalrioclaro.com.br/colunas/?coluna=61>>. Acesso em: 12 jul. 2006.

MCNABB, D. H.; FROEHLICH, H. A. Conceptual model for predicting forest losses from soil compaction. In: Society of American Foresters National Convention, 1983, San Francisco. **Proceedings of the 1983**. p.261-265.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722 p.

_____. O estado da arte e perspectivas da utilização de rodados pneumáticos e de baixa pressão na área agrícola. Apresentado ao Encontro sobre Pneus de Alta Flutuação e Baixa Pressão nas Áreas Agrícola e Florestal. Piracicaba, 1993. 17 p.

_____. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1974. 197p.

MINETTE, L. J.; MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; SILVA, K. R. Análise técnica e econômica do forwarder em três sistemas de colheita de florestas de eucalipto. Revista Árvore, Viçosa, v. 28, n. 1, 11 p., 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=SO100-67622004000100012&script=sci_arttext>. Acesso em: 18 jun. 2006

MINETTI, L. J.; SOUZA, A. P.; FIEDLER, N. C. Carregamento e descarregamento. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. p. 129-144.

MOREIRA, F.M.T. **Mecanização das atividades de colheita florestal**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 1998.25 p.

OLIVEIRA JÚNIOR, E.D. **Compactação do solo devido ao tráfego de carretas florestais com dois tipos de pneus inflados a diferentes pressões**. Piracicaba. 1998. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo.

PAIM, A. **A potencialidade inexplorada do setor florestal brasileiro**. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>. Acesso em: 14 out. 2002.

PEÑA, S. V.; COLLADO, J. M.; ALVAREZ, M. A. G. **Los tractores en la explotación forestal**. Madrid: Neografis, 1993. 150 p.

PINHEIRO, G. **Um apelo ao bom senso**: carta à sociedade brasileira. Disponível em: <http://www.sbef.org.br/carta_sociedade.htm>. Acesso em: 17 jul. 2006.

PLAMONDON, J.A.; FAVREAU, J. **Establishing the optimal skidding for forwarding distance as a function of road cost**. Vancouver: FERIC Technical Note, TN-219. 1994. 8 p.

REZENDE, J. L. P. Técnicas de análise econômica usadas nas tomadas de decisões referentes à reforma de eucaliptais. In: SEMINÁRIO SOBRE ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA REFORMA DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTOS. 1987, Belo Horizonte. **Anais...** : SIF. 28 p.

REZENDE, J. L. P.; PEREIRA, A. R.; OLIVEIRA, A. D. Espaçamento ótimo para a produção de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 7, n. 1, p. 30-43, 1983.

SALMERON, A. **A mecanização da exploração florestal**. Piracicaba: IPEF, 1980. (Circular técnica, 88) p. 1-10.

SANT'ANNA, C. M. Corte florestal. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 2002. p. 55-88.

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

SANTOS, S. L. M.; MACHADO, C. C. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira com forwarder em diferentes volumes por árvore e comprimentos de toras. **Revista Madera y Bosques**, Cidade do México, v. 7, n. 2, p. 87-94, 2001.

SANTOS, S. L. M.; MACHADO, C. C.; LEITE, H. G. Análise técnico-econômica da extração de eucalipto em áreas planas com o “forwarder”. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 213-227, 1995.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Estatísticas**. 2001 Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>>. Acesso em: jun. 2006.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JUNIOR, E. D.; SOUZA, C. R. Efeito da camada de resíduos florestais na compactação do solo causado pelo transporte primário de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 54, p. 9-16, 1998.

SEIXAS, F. Extração. In: MACHADO, C. C. (Org.), **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2002. p. 89-128

_____. **Exploração e transporte de *Eucalyptus* spp.** Piracicaba: IPEF, 1987. 40 p.

SILVA, J. R. **Compactação do solo exercida por tráfego de colheita e transporte de madeira**. Botucatu. 2003. 134 p. Tese (Doutorado / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SOUZA, A. P.; MINETTEE, L. J.; MACHADO, C. C.; REZENDE, J. L. P. Estudo técnico-econômico da extração de madeira de eucalyptus utilizando o trator florestal transportador (“forwarder”). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 12, n. 2, p. 87-99, 1988.

SOUZA, A. P. Um estudo de tempo e produção na exploração de povoamentos jovens de Douglas-Fir com motosserra e Skidder. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 2, p. 1-26, 1978.

SQUILASSI, M. G. **A importância do eucalipto**. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br/index.php?idpagina=artigo&artigo=955>>. Acesso em: 14 jul. 2006.

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

STOHR, G. W. D.; BAGGIO, A. J. Estudo comparativo de dois métodos de arraste principal do desbaste de *Pinus taeda* L. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, PR, n. 2, p. 89-131, 1981.

TANAKA, O. K. Exploração e transporte da cultura do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 141, p. 24-30, 1986.

TOMASELLI, I.; DELESPINASSE, B. Os reflorestamentos existentes vão garantir o suprimento das expansões industriais no Brasil?. **Revista STCP**, Curitiba, n. 4, p. 16-7, 2000.

WADOUSKI, L. H. Fatores determinantes da produtividade e dos custos na colheita de madeira. In: SEMINARIO DE ATUALIZACAO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA E

TRANSPORTE FLORESTAL, 10., 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR/FUPEF, 1997. p. 77-84.

WENGER, F. **Forestry handbook**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 1335 p.

ZYCH, G. L. A mecanização na colheita florestal. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., Curitiba, 1993, . **Anais...**: SBS, 1993. p. 350-354.

9 APÊNDICE

APÊNDICE 1

Imagem Satélite Floresta em Lençóis Paulista-SP

Figura 42. Imagem Satélite Floresta em Lençóis Paulista-SP (Google Earth, 2006)



Figura 43. (Google Earth, 2006)
 Talhão 83-Primeira rotação, pilhas de madeira remontadas (subsistema 2)
 Amostra 2
 Talhão 91-Primeira rotação, pilhas de madeira convencionais (subsistema 1)
 Amostra 1
 Amostra



Figura 44. (Google Earth, 2006)
 Talhão 128A - Segunda rotação, pilhas de madeira convencionais (subsistema 3)
 Amostra 3

APÊNDICE 2

Questionário

Questionário

1. Existem dados climáticos da região? Quais são?
2. Existem dados de solo na área estudada? Quais são?
3. Existe mapeamento da área, contendo área, talhamento, uso de espécies florestais?
Está disponível?
4. Quais as informações disponíveis a respeito dos povoamentos florestais?
5. Qual a descrição (ficha técnica) das máquinas e equipamentos utilizados?
6. Qual o sistema de abastecimento e atendimento das máquinas e assistência ao pessoal operacional?
7. Qual a espécie plantada?
8. Quais os espaçamentos utilizados?
9. Quais as rotações florestais existentes?
10. Qual o volume médio por fuste?
11. Qual a idade dos povoamentos estudados?
12. Quais os sistemas de colheita florestal adotados?
13. Quais os subsistemas de extração florestal adotados?
14. Quais os turnos de trabalho dos operadores da máquina utilizada no estudo?

APÊNDICE 3

Formulário do estudo de tempos e movimentos da atividade de extração da madeira.

APÊNDICE 4

Declividades e medidas dos ramais de extração

Tabela 22. Declividades nos ramais de extração no sentido longitudinal e transversal

Tratamento	Parcela no Ramal (m)	Declividade Longitudinal (%)	Declividade Transversal (%)	Largura do Ramal (m)	
				Ramal 1	Ramal 2
Subsistema 1	0-25	2	1	5,80	5,85
	25-50	3	4	6,00	5,69
	50-75	3	3	5,90	6,00
	75-100	4	4	6,20	6,04
	100-125	4	4	6,25	5,94
	125-150	3	4	6,15	5,66
	150-175	3	5	6,04	5,78
	175-200	4	2	6,00	5,80
	200-225	3	2	6,07	5,85
	225-250	4	5	6,00	5,83
	250-275	4	4	5,67	5,51
	275-300	4	6	5,31	6,15
Subsistema 2	0-25	5	4	6,00	6,10
	25-50	5	3	6,00	6,20
	50-75	5	3	5,80	6,30
	75-100	4	3	5,80	6,00
	100-125	4	2	5,90	6,30
	125-150	4	3	5,70	6,05
	150-175	3	2	5,75	6,20
	175-200	4	3	5,80	6,30
	200-225	2	3	5,90	6,00
	225-250	4	2	6,10	6,10
	250-275	2	0	6,25	6,20
	275-300	2	1	6,20	6,00
Subsistema 3	0-25	2	4	6,30	5,70
	25-50	0	2	6,80	6,50
	50-75	0	6	6,00	6,30
	75-100	0	4	6,20	6,70
	100-125	0	5	7,50	5,40
	125-150	0	5	6,30	5,60
	150-175	0	5	6,90	5,00
	175-200	1	5	6,40	4,60
	200-225	1	5	6,00	6,40
	225-250	0	3	7,70	6,15
	250-275	0	6	10,00	5,80
	275-300	0	8	9,10	7,00

APÊNDICE 5

Dados estatísticos totais por subsistema e parcelas

Tabela 23. Dados da média, desvio padrão, valores mínimos e máximos para as variáveis: tempo total de ciclo, número de gruadas para carregamento, número de gruadas para descarregamento, tempo de carregamento, tempo de descarregamento, tempo de deslocamento sem carga no ramal, tempo de deslocamento com carga no ramal e volume em m³.

Subsistema	Nº obs.	Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
1	12	TTC	1792.67	524.30	668.00	3004.00
		NGC	42.75	8.38	21.00	57.00
		NGD	29.00	6.28	17.00	45.00
		TC	861.92	191.74	363.00	1208.00
		TD	659.58	170.12	291.00	1059.00
		TDVT	146.75	100.36	14.00	376.00
		TDCT	124.42	102.70	0.00	361.00
		VOL	38.51	7.31	25.38	58.18
2	12	TTC	1269.17	515.90	747.00	2090.00
		NGC	29.92	11.30	18.00	47.00
		NGD	20.83	7.55	14.00	31.00
		TC	622.92	207.00	387.00	917.00
		TD	461.00	195.45	275.00	754.00
		TDVT	107.25	84.82	17.00	298.00
		TDCT	78.00	68.46	11.00	209.00
		VOL	37.92	14.04	22.55	63.39
3	11	TTC	2059.09	448.76	1614.00	2960.00
		NGC	39.27	6.47	31.00	52.00
		NGD	33.18	6.65	28.00	44.00
		TC	884.27	144.95	704.00	1110.00
		TD	818.73	146.42	656.00	1085.00
		TDVT	191.82	127.54	49.00	429.00
		TDCT	164.27	115.63	24.00	393.00
		VOL	47.69	11.99	35.88	70.28

APÊNDICE 6

Valmet 890.2 / Dados técnicos

Valmet 890.2 – Dados Técnicos

Peso e Dimensões

Peso (aprox.) 6WD	16.800 kg
Capacidade de carga (máx.)	18.000 kg
Área de carga (RGT padrão)	5.4m ² ou 6.0m ²
Largura padrão 6WD frontal/traseira	2.995 mm

Motor

Sisu Diesel 74 ETA 6-cil, motor turbo diesel com intercooler ar-ar. 170kW DIN (230 hp) a 1.700 rpm.

Torque 1000 Nm (104 kpm) a 1.200-1.600 rpm.

Transmissão

Transmissão hidrostática controlada pelo *MaxiForwarder*.

Propulsor da carroceria desengatável.

Trava diferencial (frontal e traseira).

Velocidade máxima

Alta velocidade	24 km/h
-----------------	---------

Baixa velocidade	8,5 km/h
------------------	----------

Capacidade de extração (máx.)	206 kN (21.000 kp)
-------------------------------	--------------------

Eixos e Rodas

Eixo frontal 6WD: Eixo rígido com cubo de marcha.

Bogie 6WD: Bogie com marcha

Rodas: 6WD	Frontal	700/70x34
	Traseira	650/65x26.5

Sistema de freios

Freio do motor	Freios a disco múltiplo totalmente hidráulicos com duplo circuito em todas as rodas.
Freio motor	O mesmo que freio do motor.
Freio de mão	Amortecedor com controle eletro-hidráulico. Funciona também como freio de emergência.

Sistema hidráulico

Sistema de controle de carga com bomba de pistões de vazão variável.

Rotações até 2000 rpm	0-290 l/min. ou 0-340 l/min.
Pressão de funcionamento, máx.	235 Bar (23 Mpa)

Cabine

A cabine é altamente segura, possui unidade integral combinada de frio e calor, e uma entrada de microfiltro de ar. Inclinações laterais operadas eletronicamente.

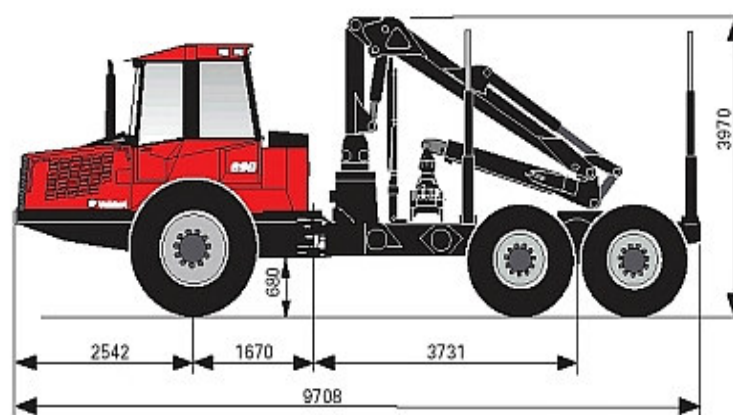


Figura 46. *Forwarder* Valmet 890.2

APÊNDICE 7
Memória de cálculo

Memória de Cálculo

- 3.000.000 ha de florestas plantadas disponíveis na próxima década para a extração florestal utilizando-se *forwarder*;
- 500.000 ha ano de colheita florestal para *forwarder*;
- IMA médio: 40 m³ha ano;
- Volume médio por ha após 6 anos: 240 m³ ha;
- Rendimento operacional médio atual para o *forwarder*: 80 m³ h⁻¹ ;
- Rendimento operacional do *forwarder* por ha: 3 horas máquina;
- Rendimento operacional para 500.000 ha ano: 1.500.000 h máquina ano;
- Rendimento operacional para o subsistema 2 em 500.000 ha ano:
 $1.500.000 \text{ ha} \times 80 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} / 109,29 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 1.098.000 \text{ h}$;
- 1 hora máquina = R\$ 104,51
- Custo máquina (R\$) para subsistema atual por ano:
 $1.500.000 \text{ ha} \times \text{R\$ } 104,54 = \text{R\$ } 156.765.000,00$
- Custo máquina (R\$) para subsistema 2:
 $1.098.000 \text{ h} \times \text{R\$ } 104,54 = \text{R\$ } 114.752.000,00$;
- Economia anual ao adotar o subsistema 2: R\$ 42.013.000,00;
- 1 hora máquina = 23 l óleo Diesel;
- Economia anual de combustível ao adotar o subsistema 2:
 $1.500.000 \text{ h} - 1.098.000 \text{ h} = 402.000 \text{ h}$,
 $402.000 \text{ h} \times 23 \text{ l} = 9.246.000 \text{ l} \text{ óleo Diesel}$;
- Vida útil da máquina: 17.000 h;
- Economia de máquina ano:
 $402.000 \text{ h} / 17.000 \text{ h} = 23,6 \text{ máquinas ano}$;
- Custo de uma máquina: R\$ 700.000,00;
- Economia de investimento anual em máquinas:
 $23,6 \text{ máquinas} \times \text{R\$ } 700.000,00 = \text{R\$ } 16.520.000,00$.

APÊNDICE 8

Volume da madeira extraída e volume médio de toretes

Tabela 24. Volume médio dos toretes

<i>Subsistema</i>	<i>Nº toretes medidos</i>	<i>Volume médio (m³/torete)</i>
1	132	0,0580
2	132	0,0761
3	126	0,0985

Tabela 25. Volume de madeira extraída por ciclo pelo *forwarder* no 1º ramal do subsistema 1

Ciclo	Nº de toretes	Volume (m³/ciclo)
1	335	19,5882
2	347	20,2899
3	313	18,3018
4	311	18,1849
5	359	20,9915
6	316	18,4772
7	303	17,7171
8	351	20,5237
9	354	20,6992
10	338	19,7636
11	322	18,8280
12	368	21,5178
13	253	14,7935
Volume total (ramal)		249,6764

Tabela 26. Volume de madeira extraída por ciclo pelo *forwarder* no 2º ramal do subsistema 1

Ciclo	Nº de toretes	Volume (m³/ciclo)
1	329	19,2374
2	332	19,4128
3	302	17,6586
4	321	18,7696
5	312	18,2433
6	322	18,8280
7	333	19,4712
8	327	19,1204
9	358	20,9330
10	264	15,4367
11	325	19,0035
12	109	6,3735
Volume total (ramal)		212,4880

Tabela 27. Volume de madeira extraída por ciclo pelo *forwarder* no 1º ramal do subsistema 2

Ciclo	Nº de toretes	Volume (m³/ciclo)
1	327	24,9137
2	356	27,1231
3	383	29,1802
4	363	27,6565
5	416	31,6945
6	454	34,5896
7	378	28,7993
8	296	22,5518
Volume total (ramal)		226,5087

Tabela 28. Volume de madeira extraída por ciclo pelo *forwarder* no 2º ramal de subsistema 2,

Ciclo	Nº de toretes	Volume (m³/ciclo)
1	370	28,1898
2	370	28,1898
3	343	26,1327
4	348	26,5136
5	322	24,5327
6	381	29,0279
7	348	26,5136
8	301	22,9328
9	217	16,5329
Volume total (ramal)		228,5658

Tabela 29. Volume de madeira extraída por ciclo pelo *forwarder* no 1º ramal do subsistema 3

Ciclo	Nº de toretes	Volume (m³/ciclo)
1	229	22,5737
2	223	21,9823
3	196	19,3207
4	168	16,5606
5	199	19,6165
6	183	18,0393
7	203	20,0108
8	217	21,3908
9	228	22,4751
10	209	20,6022
11	55	5,4216
Volume total (ramal)		207,9936

Tabela 30. Volume de madeira extraída por ciclo pelo *forwarder* no 2º ramal do subsistema 3

Ciclo	Nº de toretes	Volume da carga (m³)
1	250	24,6438
2	219	21,5880
3	228	22,4751
4	227	22,3766
5	244	24,0523
6	242	23,8552
7	218	21,4894
8	203	20,0108
9	212	20,8979
10	215	21,1937
11	204	20,1093
12	175	17,2507
13	178	17,5464
14	182	17,9407
15	215	21,1937
Volume total (ramal)		316,6236