

FÁBIO MURILO TIEGHI MOREIRA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE SUBSISTEMAS DE COLHEITA DE
MADEIRA DE EUCALIPTO EM TERCEIRA ROTAÇÃO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2000

A Deus.

Aos meus pais, a quem devo tudo que sou.

À minha namorada Daniela, pelo carinho e pela atenção.

A todos que de alguma forma ajudaram na execução deste trabalho.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, pela realização deste curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Ao professor Amaury Paulo de Souza, pela orientação e pela amizade.

Aos professores Carlos Cardoso Machado, Haroldo Carlos Fernandes e Aloisio Xavier e ao pesquisador Luciano José Minette, pelas sugestões apresentadas.

À DURATEX S/A, na pessoa dos senhores Antônio Joaquim de Oliveira, Valério Tibúrcio e principalmente do senhor José Maria de Sene, pelo apoio e pelas facilidades proporcionadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos operadores de máquina que participaram deste trabalho, sem a colaboração dos quais a adequada realização deste seria impossível.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, em especial à Ritinha, pelo apoio e pela paciência.

Aos amigos de pós-graduação do DEF, pela excelente convivência no decorrer do curso.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

FÁBIO MURILO TIEGHI MOREIRA, filho de Lirio José Moreira e Maria Tieghi Moreira, nasceu em Juazeiro, Bahia, em 25 de dezembro de 1975.

Concluiu o ensino médio na Escola Estadual "Virgílio Capoani", em Lençóis Paulista, em dezembro de 1992.

Graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa em outubro de 1998.

Em outubro de 1998, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de Mestrado, pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa.

Em outubro de 2000, submeteu-se aos exames de defesa de tese, para obtenção do título de "Magister Scientiae".

ÍNDICE

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. O problema e sua importância	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Importância do setor florestal brasileiro.....	3
2.2. Conceitos básicos sobre colheita florestal	4
2.3. A evolução da colheita florestal.....	5
2.4. A mecanização da colheita florestal	6
2.5. Sistemas de colheita florestal.....	7
2.6. Análise dos sistemas de colheita florestal.....	10
2.7. Colheita em florestas de baixo volume por árvore	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Caracterização da área de estudo	13
3.2. Metodologia do estudo	14
3.2.1. Seleção da área	14
3.3. Descrição dos subsistemas de colheita analisados	16
3.4. Descrição das máquinas analisadas	25
3.4.1. Descrição do Feller-Buncher.....	25
3.4.2. Descrição do Slingshot.....	27
3.4.3. Descrição do Skidder	28
3.4.4. Descrição do Forwarder	28
3.4.5. Descrição da motosserra	28
3.5. Descrição do ciclo operacional das máquinas	30
3.5.1. Ciclo operacional do Feller-Buncher	30
3.5.2. Ciclo operacional do Slingshot.....	31
3.5.2.1. Ciclo operacional do Slingshot nos subsistemas 1 e 2..	31
3.5.2.2. Ciclo operacional do Slingshot no subsistema 3	32

3.5.3. Ciclo operacional do Skidder.....	33
3.5.4. Ciclo operacional do Forwarder	33
3.5.5. Ciclo operacional de corte semimecanizado	34
3.6. Determinação dos fatores que influenciaram o rendimento das máquinas analisadas	35
3.6.1. Espécie florestal.....	35
3.6.2. Espaçamento	35
3.6.3. Condições do sub-bosque e topografia do terreno	35
3.6.4. Volume por árvore.....	35
3.6.5. Solos	35
3.6.6. Faixa de corte	36
3.6.7. Comprimento das toras	36
3.6.8. Distância de extração.....	36
3.6.9. Fatores humanos e sociais	36
3.7. Delineamento estatístico	37
3.7.1. Coleta dos dados do ciclo operacional.....	37
3.7.2. Número de observações	38
3.8. Grau de disponibilidade mecânica	38
3.9. Eficiência operacional	39
3.10. Determinação da produtividade operacional	39
3.11. Análise econômica dos subsistemas de colheita analisados ..	40
3.11.1. Determinação dos custos operacionais das máquinas analisadas.....	41
3.11.1.1 Custos fixos (CF).....	41
3.11.1.2. Custos variáveis (CV).....	42
3.11.1.3. Custo de administração (CAD).....	45
3.11.1.4. Custo operacional total (CT)	45
3.11.2. Determinação do custo de produção	45
3.11.3. Determinação do rendimento energético	46
3.11.4. Determinação do custo de produção e rendimento energético totais dos subsistemas de colheita estudados	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1. Resultados do Feller-Buncher.....	47
4.1.1. Composição dos elementos parciais do Feller-Buncher	47
4.1.2. Análise dos elementos do ciclo operacional do Feller-Buncher	48
4.1.2.1. Deslocamento vazio	48
4.1.2.2. Busca e corte	49
4.1.2.3. Deslocamento para o descarregamento	50
4.1.2.4. Interrupções	51
4.1.2.5. Tempo efetivo total do ciclo operacional	52
4.1.3. Análise da produtividade do Feller-Buncher.....	53
4.1.4. Determinação das interrupções mecânicas e operacionais nos subsistemas de colheita com Feller-Buncher	55
4.1.5. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético do Feller-Buncher	57
4.2. Resultados gerais do Slingshot.....	60

4.2.1. Composição dos elementos parciais do Slingshot nos subsistemas 1 e 2	60
4.2.2. Composição dos elementos parciais do Slingshot no subsistema 3	62
4.2.3. Análise dos elementos do ciclo operacional do Slingshot...	63
4.2.3.1. Análise dos elementos parciais do Slingshot nos subsistemas 1 e 2	64
4.2.3.1.1. Deslocamento da máquina-base.....	64
4.2.3.1.2. Deslocamento do cabeçote vazio	65
4.2.3.1.3. Pega do feixe	66
4.2.3.1.4. Deslocamento do cabeçote carregado.....	66
4.2.3.1.5. Processamento	66
4.2.3.1.6. Interrupções	67
4.2.3.1.7. Tempo efetivo total do ciclo operacional	68
4.2.3.2. Análise dos elementos parciais do Slingshot no subsistema 3.....	68
4.2.3.2.1. Deslocamento sem carga.....	68
4.2.3.2.2. Busca e corte	69
4.2.3.2.3. Deslocamento carregado	69
4.2.3.2.4. Processamento	69
4.2.3.2.5. Interrupções	69
4.2.3.2.6. Tempo efetivo total do ciclo operacional	70
4.2.4. Análise da produtividade do Slingshot	70
4.2.5. Determinação das interrupções mecânicas e operacionais nos subsistemas de colheita com Slingshot.....	72
4.2.6. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético do Slingshot.....	76
4.3. Resultados gerais do Forwarder	78
4.3.1. Composição dos elementos parciais do Forwarder nos subsistemas 2, 3 e 4.....	78
4.3.2. Análise dos elementos do ciclo operacional do Forwarder .	80
4.3.2.1. Viagem vazio.....	80
4.3.2.2. Carregamento	82
4.3.2.3. Viagem carregado	83
4.3.2.4. Descarga	85
4.3.2.5. Interrupções	85
4.3.2.6. Tempo efetivo total do ciclo operacional	86
4.3.3. Análise da produtividade do Forwarder.....	87
4.3.4. Determinação das interrupções mecânicas e operacionais nos subsistemas de colheita com Forwarder	88
4.3.5. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético do Forwarder	90
4.4. Resultados do Skidder	93
4.4.1. Composição dos elementos parciais do Skidder.....	93
4.4.2 Análise dos elementos do ciclo operacional do Skidder.....	95
4.4.2.1. Viagem sem carga	95
4.4.2.2. Manobra para carregamento	96

	Página
4.4.2.3. Carregamento	96
4.4.2.4. Arraste.....	97
4.4.2.5. Descarregamento.....	98
4.4.2.6. Manobra na estrada	98
4.4.2.7. Interrupções	99
4.4.2.8. Tempo efetivo total do ciclo operacional	99
4.4.3. Análise da produtividade do Skidder	100
4.4.4. Determinação das interrupções mecânicas e operacionais no subsistema de colheita com Skidder	101
4.4.5. Custo operacional, custo de produção e rendimento ener- gético do Skidder	102
4.5. Resultados do corte semimecanizado.....	103
4.5.1. Composição dos elementos parciais do corte semimeca- nizado.....	103
4.5.2. Análise dos elementos do ciclo operacional de corte semimecanizado	105
4.5.2.1. Derrubada	105
4.5.2.2. Desgalhamento	105
4.5.2.3. Toragem.....	105
4.5.2.4. Enleiramento	106
4.5.2.5. Interrupções	106
4.5.2.6. Tempo efetivo total do ciclo operacional	107
4.5.3. Análise da produtividade do corte semimecanizado	108
4.5.4. Determinação das interrupções mecânicas e operacionais no corte semimecanizado	108
4.5.5. Custo operacional, custo de produção e rendimento ener- gético do corte semimecanizado.....	109
4.6. Resultados finais dos subsistemas de colheita analisados	111
4.6.1. Determinação dos custo de produção total e rendimento energético dos subsistemas de colheita analisados	111
4.6.2. Comparação entre os custos de produção e rendimento energético dos diferentes subsistemas de colheita anali- sados	113
4.6.3. Vantagens e desvantagens dos subsistemas de colheita analisados.....	116
4.6.3.1. Vantagens e desvantagens do subsistema 1	117
4.6.3.2. Vantagens e desvantagens do subsistema 2.....	118
4.6.3.3. Vantagens e desvantagens do subsistema 3.....	120
4.6.3.4. Vantagens e desvantagens do subsistema 4.....	121
5. RESUMO E CONCLUSÕES	122
6. RECOMENDAÇÕES.....	124
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
APÊNDICES	130
APÊNDICE A	131
APÊNDICE B	134
APÊNDICE C	137

RESUMO

MOREIRA, Fábio Murilo Tieghi, M.S., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2000. **Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação.** Orientador: Amaury Paulo de Souza. Conselheiros: Carlos Cardoso Machado e Luciano José Minette.

Este estudo foi conduzido em povoamentos de eucalipto de uma empresa florestal do Estado de São Paulo, com o objetivo central de analisar técnica e economicamente quatro subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação. Os subsistemas estudados foram: subsistema 1) Feller-Buncher + Skidder + Slingshot; subsistema 2) Feller-Buncher + Slingshot + Forwarder; subsistema 3) Slingshot + Forwarder; e subsistema 4) corte semimecanizado + Forwarder. A análise técnica consistiu de um estudo de tempos e movimentos, com o objetivo de identificar e analisar os elementos do ciclo operacional de cada máquina estudada, bem como suas interrupções. Outros parâmetros técnicos determinados foram a produtividade, a disponibilidade mecânica e a eficiência operacional de cada máquina dentro de cada subsistema de colheita específico. A análise econômica consistiu na determinação dos custos operacionais, de produção e do rendimento energético de cada máquina, assim como de cada subsistema de colheita como um todo. Empregou-se o delineamento em blocos, com três repetições e quatro

tratamentos, perfazendo um total de 12 parcelas experimentais, em que foram avaliados os quatro tratamentos referentes aos subsistemas de colheita. Foram efetuadas análises de variância e testes de média para cada elemento parcial do ciclo, de comparar as produtividades, os custos de produção e o rendimento energético das máquinas dentro de cada subsistema, bem como para comparar os resultados totais de cada subsistema. De acordo com os estudos, concluiu-se que os subsistemas 1 e 3 apresentaram o menor e o maior custo de produção, respectivamente. Os subsistemas 2 e 4 apresentaram custos de produção muito próximos, não sendo a diferença considerada significativa. O subsistema 4 apresentou o pior rendimento energético. Em todas as etapas de cada subsistema, a produtividade das máquinas estudadas aumentou à medida que se aumentou o valor do volume médio por árvore. Todos os subsistemas de colheita estudados apresentaram potencial de melhorias em algumas das suas etapas.

ABSTRACT

MOREIRA, Fábio Murilo Tieghi, M.S., Universidade Federal de Viçosa, October 2000. **Technical and economical analyses of eucalypt wood harvest subsystems at third rotation.** Adviser: Amaury Paulo de Souza. Committee Members: Carlos Cardoso Machado and Luciano José Minette.

This work was carried on in stands of eucalypts which, belongs to a forest enterprise in the State of São Paulo, Brazil. The main central objective of this work was to technically and economically analyse four subsystems of eucalypt wood harvest at third rotation. The subsystems studied were as follows: Subsystem 1) Feller-Bunchert + Skidder + Slingshot; Subsystem 2) Feller-Buncher + Slingshot + Forwarder; Subsystem 3) Slingshot + Forwarder, and Subsystem 4) Semimechanized cut + Forwarder. The technical analysis was a study of time and moves, to identify and analyse the elements of the operational cycle of each studied machine, as well as of their interruptions. Other technical parameters which were determined were the productivity, mechanical disponibility and operational efficiency of each machine within each specific harvest subsystem. The economic analysis was made to determine the operational and production costs and the energetic yield of each machine, as well as of each harvest subsystem as a whole. The statistical design was of blocks with 3 repetitions and 4 treatments, totaling twelve experimental plots, where the 4 treatments related to the harvest subsystems were evaluated.

Variance analyses and mean tests for each partial element of the cycle were made. The analyses also compared the productivities, production costs and energetic yield of the machines in each subsystem, as well as the total results of each subsystem. According to the studies, it was concluded that the subsystems 1 and 3 presented the lowest and the highest production costs, respectively. The subsystems 2 and 4 presented very close production costs, and the difference was not considered significant. The subsystem 4 presented the worst energetic yield. In all of the steps of each subsystem the rate of productivity of the machines studied increased as the value of the mean volume per tree increased. All the harvest subsystems studied presented a potential improvement in some of their steps.

1. INTRODUÇÃO

1.1. O problema e sua importância

O setor florestal se destaca como importante e relevante para o Brasil em diversas áreas.

Do ponto de vista econômico, o setor florestal contribui com aproximadamente 4% do PIB (Produto Interno Bruto) nacional, com faturamento global da ordem de 20 bilhões de dólares/ano; do ponto de vista social, o setor gera cerca de 600.000 empregos diretos e mais de 3,5 milhões de empregos indiretos, contribuindo também para a melhoria da qualidade de vida, através da manutenção dos recursos hídricos, edáficos e da qualidade do ar (SOBRINHO, 1995).

Em nível político, a crescente demanda mundial por madeira, juntamente com a diminuição das florestas nativas, faz com que o Brasil, por ser um dos grandes detentores desses recursos naturais, tenha papel de destaque no cenário mundial, o que proporciona ao País poder de influência nas decisões relacionadas ao setor (MOREIRA, 1998).

Pelos aspectos citados, entre outros, nota-se a importância do setor florestal e a necessidade de estudos que visem contribuir para o seu desenvolvimento, aumentando a produtividade e reduzindo os custos das atividades florestais, tornando assim o setor moderno e competitivo, como exige o mercado atual, altamente globalizado.

Dentre as diversas áreas do setor, destacam-se a colheita e o transporte, por sua grande importância técnica e econômica dentro do contexto florestal.

Segundo MACHADO (1989), a colheita e o transporte chegam a representar cerca de 50%, ou acima disso, do total dos custos finais da madeira posta na indústria.

Uma tendência seguida pela maioria das empresas florestais atualmente é a mecanização das atividades relativas à colheita florestal.

Estudos realizados com sistemas de colheita mecanizados mostraram que a produtividade dos povoamentos explorados tem influência direta sobre a eficiência técnica e econômica da maioria das máquinas utilizadas, sendo mais eficientes aquelas que atuam em povoamentos de maior produtividade volumétrica por unidade de área.

Várias empresas, dependendo dos métodos de manejo adotados ou de outros fatores quaisquer, possuem áreas com povoamentos de baixo rendimento volumétrico, devendo para esses casos ser estudados métodos alternativos de colheita que proporcionem bom rendimento tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, visando proporcionar uma relação custo/benefício satisfatória.

O objetivo central deste trabalho foi analisar técnica e economicamente quatro subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação.

Os objetivos específicos foram:

- Descrever, analisar e determinar alguns dos fatores que possam afetar o desempenho dos subsistemas de colheita analisados.
- Identificar e analisar os elementos do ciclo operacional de cada máquina estudada, bem como as interrupções.
- Determinar a produtividade e eficiência operacional de cada máquina dentro de cada subsistema de colheita específico.
- Determinar os custos operacionais e de produção de cada máquina, assim como de cada subsistema de colheita.
- Fornecer subsídios ao planejamento da colheita florestal, utilizando os subsistemas de colheita estudados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância do setor florestal brasileiro

Com uma área de 528.383 milhões de hectares de florestas nativas ricas em biodiversidade e de 4,750 milhões de hectares de reflorestamento, sendo 2,920 milhões com espécies de *Eucalyptus* sp., 1,690 milhão de *Pinus* sp. e 138 mil hectares de outras espécies, o setor florestal brasileiro tem como seus principais produtos, entre outros, madeira roliça, serrados, painéis, chapas de fibras, laminados, carvão e celulose. Mais recentemente, o Brasil iniciou a produção de MDF (Medium Density Fiber), com perspectivas de se tornar um dos maiores produtores mundiais (VALVERDE, 2000).

A economia florestal brasileira tem sido responsável, anualmente, na formação econômica do País, por aproximadamente 4% do Produto Interno Bruto (PIB), gerando 600.000 empregos diretos, US\$450 milhões em arrecadação de impostos e US\$4,1 bilhões em divisas de exportações (GARLIPP, 1995).

Em se tratando de produtos como a celulose, o Brasil vem obtendo ganhos de competitividade, via aumento na participação desse mercado, ao longo das últimas três décadas, conforme estudo de MEDEIROS e FONTES (1994), sendo atualmente o sétimo maior produtor mundial.

No caso de produtos sólidos de madeira, dadas as exigências por produtos certificados pelos principais consumidores e os altos investimentos nesse

tipo de indústria, no País, é provável que se consiga uma participação mais expressiva nesse comércio num futuro próximo (VALVERDE, 2000).

Segundo VALVERDE (2000), o setor florestal pode contribuir para melhorar os indicadores socioeconômicos brasileiros e, mais importante ainda, no tocante a emprego, absorver grande parte da mão-de-obra que vem sendo dispensada pelo avanço tecnológico, principalmente pela mecanização agrícola em áreas planas.

De acordo com SANTOS (1995), a atividade florestal oferece um mercado de trabalho intenso e permanente nas piores regiões, evitando o êxodo rural. Em termos médios, essa atividade possibilita a geração de quatro empregos diretos para cada 100 hectares implantados, mostrando, dessa forma, a sua importância social e econômica.

Não obstante, é necessário destacar que as florestas apresentam outros valores, tão importantes quanto os socioambientais, que são difíceis de ser mensurados e contabilizados. Esses valores referem-se às funções de proteção de encostas e de margens de cursos d'água, rodovias e ferrovias, contra erosão, lixiviação e queda de barreiras, de regulação e manutenção da qualidade das águas, etc., além das funções de gerar lazer e recreação (VALVERDE, 2000).

2.2. Conceitos básicos sobre colheita florestal

Segundo TANAKA (1986), a colheita florestal é um conjunto de operações realizadas no maciço florestal, visando preparar e transportar a madeira até o seu local de utilização, empregando-se técnicas e padrões estabelecidos, tendo por finalidade transformá-la em produto final.

A colheita florestal pode ser interpretada como um sistema integrado por subsistemas de aproveitamento de madeira. Entende-se por sistema um conjunto de operações que podem ser realizadas num só local, ou em locais distintos, e que devem estar perfeitamente integradas e organizadas entre si, de modo que permita fluxo constante de madeira, evitando-se pontos de estrangulamento e levando os equipamentos à sua máxima utilização (SALMERON, 1981).

No setor florestal, a colheita de madeira é a fase mais importante economicamente, dada a sua alta participação no custo final do produto e os riscos de perda envolvidos nessa atividade (DUARTE, 1994).

De acordo com JACOVINE et al. (1997), os custos de produção da madeira são derivados em custos de exaustão, colheita e transporte, sendo os custos de colheita os que mais contribuem para elevação do preço do produto.

2.3. A evolução da colheita florestal

No Brasil, as primeiras atividades de colheita florestal foram realizadas ao longo da costa, na época da descoberta, e a principal espécie comercializada foi o pau-brasil (VALVERDE, 1995).

Os sistemas de colheita manuais foram os primeiros a ser adotados no Brasil, em sua maioria na exploração de florestas nativas, sem preocupação com a racionalização e produtividade das atividades, sendo ainda hoje utilizados em pequena escala, geralmente na obtenção de madeira para uso doméstico.

A primeira ferramenta utilizada no abate de árvores foi o machado. Conforme MACHADO (1981), ele era empregado em diversos setores florestais, sendo na década de 40 utilizado em 100% das explorações tropicais de menor desenvolvimento; em 50%, na América do Norte, em madeiras destinadas à polpa; e em 35% em produção de toras para serraria.

A colheita de florestas plantadas no Brasil teve sua tecnologia originada da colheita de florestas nativas, cuja tecnologia, inapropriada, foi gradativamente modificada e trocada por outras alternativas (HAKKILA et al., 1992).

Com o advento dos incentivos fiscais, na década de 60, o setor florestal teve o seu maior crescimento; muitas empresas passaram a se interessar mais pelo setor, desenvolvendo pesquisas e gerando novas tecnologias.

As atividades florestais passaram a ser mais bem estudadas, pois deixavam de ter caráter simplesmente extrativista e passavam a ser vistas como atividades comerciais que deveriam ser mais bem planejadas, utilizando-se de técnicas eficazes que proporcionassem bom rendimento na sua execução.

Nesse contexto, foi introduzida no Brasil a motosserra, que, segundo PIRES (1996), foi a máquina que revolucionou a colheita florestal, uma vez que permitiu avanço tecnológico determinante nas operações de corte florestal.

2.4. A mecanização da colheita florestal

No início das atividades de reflorestamento no Brasil, poucas empresas utilizavam a mecanização em algumas etapas da colheita florestal. Vários fatores conduziam à adoção do trabalho manual de colheita: mão-de-obra abundante e barata, topografia desfavorável, falta de equipamento no mercado interno e falta de motivação do parque industrial nacional em fabricar os equipamentos (FERNANDES e TIBÚRCIO, 1987; MENDO, 1991).

Com o aumento da demanda por madeira e a redução da disponibilidade de mão-de-obra, assim como a maior competição por essa mão-de-obra, principalmente nas regiões mais industrializadas, bem como o aumento do seu custo (salários e encargos sociais), diversas empresas passaram a procurar sistemas de colheita alternativos (MOREIRA, 1998).

ROCHA FILHO (1993) afirmou que os sistemas de colheita manual e semimecanizado estão praticamente esgotados no que diz respeito à possibilidade de ganhos na produtividade.

A mecanização das atividades de colheita passou a ser mais estudada, pois apresentava potencial de aumentar a produtividade, reduzindo custos e melhorando as condições de trabalho (MOREIRA, 1998).

Segundo SANTOS (1995), a introdução de equipamentos que substituam a motosserra e o machado possibilitou o aumento da produtividade das operações de colheita, minimizando a participação do homem no processo produtivo.

De acordo com MENDONÇA FILHO (1987), os equipamentos de abate totalmente mecanizados são ferramentas de valor inestimável para os técnicos da área de exploração florestal, sendo a produtividade alcançada por esses tipos de equipamentos, sejam de função simples ou múltipla, como os processadores, muito superior à dos métodos convencionais de abate de árvores (os do tipo manual e os do tipo parcialmente mecanizado).

Entre as máquinas mais utilizadas atualmente encontram-se os Feller-Bunchers e Harvester, utilizados no corte florestal, e os Skidders e Forwarders, usados na extração.

Algumas novas máquinas estão sendo introduzidas para atender necessidades específicas, como por exemplo o Slingshot, utilizado em florestas conduzidas.

A escolha do tipo de colheita mecanizada deve levar em consideração variáveis como a experiência e habilidade da mão-de-obra, a espécie florestal, o produto primário, a distância de arraste e o transporte, o desempenho do equipamento, o capital requerido e a característica do terreno. A falta de consideração de alguma dessas variáveis resultará em problemas operacionais e ineficiência (CONWAY, 1976; SALMERON, 1980; MACHADO, 1984).

Segundo SANTOS (1995), a mecanização florestal intensiva é irreversível, e a velocidade de concretização dessa tendência será determinada por diversos fatores, como: política econômica e industrial, custo e disponibilidade de mão-de-obra e custo dos equipamentos florestais.

2.5. Sistemas de colheita florestal

A palavra sistema sugere planejamento, método e ordem. Um sistema compreende um grupo de componentes que estão interligados e contribuem conjuntamente para alcançar um objetivo comum (CONWAY, 1976).

Existem vários sistemas de colheita de madeira, variando de empresa para empresa, dependendo da topografia, do rendimento volumétrico dos povoamentos, do tipo de povoamento, do uso final da madeira, das máquinas, dos equipamentos e dos recursos disponíveis (FIEDLER, 1995).

Os diversos sistemas de colheita de madeira podem ser classificados em:

a) **Sistema de toras curtas** - a árvore é processada no local da derrubada, sendo extraída para a margem da estrada ou pátio temporário, em forma de pequenas toras (menores que 6 metros) (MACHADO, 1989).

De acordo com MACHADO (1989), algumas das vantagens deste sistema são: a porção não-comercializável é deixada na área, reduzindo-se o custo com transporte dessa parte e também promovendo menor exportação de

nutrientes do interior da floresta; o sistema é muito utilizado quando o volume médio das árvores é inferior a $0,5 \text{ m}^3$, pois o manuseio das toras é facilitado; além do mais, o sistema é eficiente nas operações de desbaste, aumentando a oferta de emprego, pois geralmente requer mais mão-de-obra.

As desvantagens são: no caso de sistemas com elevado grau de mecanização, pode haver prejuízo para a regeneração natural ou brotação, devido ao tráfego intenso de máquinas; se o grau de mecanização for maior, requer também maior investimento inicial e menos mão-de-obra, porém mais especializada; e há excessivo manuseio da mesma parte da árvore, em razão da troca do meio de produção nas diversas fases de acabamento.

b) **Sistema de toras longas** - a árvore é abatida e traçada em toras com mais de 6 metros, sendo arrastada para a beira da estrada, onde será processada e enviada para beneficiamento (SOUZA e MACHADO, 1985).

As maiores vantagens deste sistema, segundo MACHADO (1989), são a permanência de nutrientes na florestas em função da reciclagem, uma vez que a folhagem permanece na superfície do solo; ele permite melhor aproveitamento da árvore; é excelente para condições topográficas desfavoráveis, muito eficiente quando o volume médio das árvores é maior que $0,5 \text{ m}^3$; possui maior rendimento operacional, comparado ao sistema de toras curtas; e geralmente requer menor esforço manual do operador, pois as operações são mecanizadas.

A maior desvantagem deste sistema é a necessidade de criterioso planejamento e controle das operações, a fim de que se evitem os pontos de estrangulamento e haja boas condições de trabalho.

c) **Sistema de árvores inteiras** - a árvore é derrubada e, em seguida, transportada para uma estrada ou pátio de processamento, onde a madeira é preparada para o transporte (MACHADO e CASTRO, 1985).

De acordo com MACHADO (1989), algumas vantagens deste sistema são: deixar a área limpa de resíduos, diminuindo o risco de incêndios; se a indústria pode utilizar biomassa como fonte energética, existe o material disponível como subproduto; concentração de várias operações em um único ponto, permitindo as operações a granel, sendo uma vantagem especial para árvores

de pequenas dimensões; excelente para condições topográficas desfavoráveis; e maior rendimento operacional, se comparado ao sistema de toras curtas.

Como maiores desvantagens, estão: a extração da folhagem + galhada + fuste garante extrair as sementes e aumentar a exportação de nutrientes; como a galhada e a folhagem correspondem a cerca de 30 a 40% do peso da árvore (coníferas), a carga real dos tratores diminui, aumentando-se o espaçamento ótimo entre estradas e, conseqüentemente, o custo de construção destas; e a acumulação de ramos na estrada pode causar transtorno na zona de operação, requerendo bom planejamento para evitar pontos de estrangulamento no processo.

d) **Sistema de árvores completas** - a árvore é arrancada e arrastada para a beira da estrada, onde será processada e enviada para o beneficiamento (MACHADO e CASTRO, 1985).

Segundo MACHADO (1989), como vantagens deste sistema está o fato de se poder aumentar o “rendimento da floresta”, dependendo da finalidade da madeira, uma vez que se aproveita parte do sistema radicular da árvore, e diminuir os gastos com o preparo do solo para novos plantios. Como desvantagens principais o autor cita o fato de o sistema ser eficiente somente em plantações de coníferas, requerer condições topográficas, edáficas e climáticas favoráveis para uma operação eficiente e geralmente ser eficiente para árvores de pequenas dimensões.

e) **Sistema de cavaqueamento** - a árvore é derrubada e processada no mesmo local, sendo extraída em forma de cavacos para a margem da estrada, para o pátio de estocagem ou diretamente para a indústria.

Segundo MACHADO (1989), como vantagens, este sistema pode apresentar melhor aproveitamento da árvore e eliminação de várias sub-operações de corte florestal; como desvantagens, têm-se: o sistema pode ser limitado pelo percentual de folhagem e, ou, casca processados; seu emprego é limitado às condições topográficas, edáficas e climáticas; e requer grandes investimentos, pois utiliza-se de grandes e sofisticados maquinários.

De acordo com SILVA (1995), os sistemas de exploração efetivamente empregados no Brasil são os de toras curtas, toras compridas e árvores inteiras.

2.6. Análise dos sistemas de colheita florestal

Segundo MACHADO (1984), os princípios básicos da análise de sistemas são comparar máquinas e métodos convencionais e desenvolver novos métodos, novas máquinas e novos equipamentos para colheita florestal, sendo esta análise dependente de certas condições, como por exemplo: dados do terreno, distância de extração, custos operacionais e de produção, espécie florestal, dimensões das árvores, época do ano, mão-de-obra, condições climáticas, recursos físicos e financeiros, etc.

Um bom planejamento é fundamental para o sucesso de qualquer empreendimento. A implantação, a condução e a colheita de povoamentos florestais, entre outras atividades, devem ser bem dimensionadas, para otimizar os recursos existentes e atender aos objetivos propostos (SOARES, 1999).

Uma das técnicas utilizadas no planejamento e na otimização das atividades de colheita é o estudo de tempo (ANDRADE, 1998).

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

A análise das operações florestais geralmente está vinculada a dados coletados. Frequentemente, estes dados estão contidos em relatórios de estudos de tempo; antes da coleta dos dados, as operações devem ser explicitamente definidas e separadas em nível de elemento (VALVERDE, 1995).

SEIXAS (1985) considerou o estudo de tempo o mais importante método de pesquisa, pois o tempo consumido para cada um dos elementos do ciclo de trabalho permite:

- a organização do trabalho, com o objetivo de otimizar o sistema operacional com o mínimo de tempos improdutivos;
- deduzir a produtividade e o custo por unidade produzida em relação a certos fatores relevantes; e

- em combinações com medidas ergonômicas, estabelecer o esforço humano requerido para cada uma das atividades.

O estudo de tempos e movimentos é uma técnica muito importante no desenvolvimento de sistemas de colheita de madeira. Por meio deste estudo, é possível conhecer as produtividades e a eficiência de um conjunto de operações, bem como os fatores que estão contribuindo para as interrupções do trabalho (ANDRADE, 1998).

2.7. Colheita em florestas de baixo volume por árvore

No Brasil, o eucalipto foi introduzido com o objetivo de produção de dormentes, no início deste século. O estabelecimento de plantios comerciais de eucalipto em grande escala somente se iniciou a partir da década de 50 e, em especial, a partir da promulgação da lei dos incentivos fiscais (Lei 5106 de 1967), para atender a demanda de madeira para a produção principalmente de carvão, papel e celulose (REIS e REIS, 1994).

Segundo REIS e REIS (1993), esses reflorestamentos estabelecidos inicialmente no Brasil não apresentaram os resultados esperados quanto à produtividade, sendo esse insucesso devido principalmente aos seguintes fatores:

- insuficiência de trabalhos científicos que permitissem nortear o estabelecimento destas florestas;
- planejamento inadequado do uso da terra;
- escolha inadequada da espécie/procedência;
- uso de técnicas inadequadas de implantação, destacando-se o uso insuficiente e inadequado do fertilizante e a falta de uso de técnicas conservacionistas; e
- falhas na política, legislação e fiscalização das florestas implantadas por ocasião dos incentivos fiscais.

As falhas ocorridas na implantação e no manejo dos primeiros povoaamentos estabelecidos com eucalipto contribuíram para a formação de florestas desuniformes e com baixa produtividade (REIS e REIS, 1994).

De acordo com DURATEX (1999), com a abertura das importações, por volta de 1994, boa parte das empresas brasileiras iniciou a mecanização da colheita. De modo geral, essas empresas registram ganhos expressivos na

utilização de mão-de-obra e redução da frequência e gravidade dos acidentes do trabalho, obtendo, por consequência, bons resultados econômicos.

Desde então, verifica-se aumento contínuo do nível de mecanização do País e, em maior escala, na colheita de florestas em 1ª rotação, onde o alto volume por árvore e a homogeneidade da floresta colaboram para sua viabilização.

Pode-se afirmar ainda que o nível atual de mecanização no País só não é maior devido à dificuldade de viabilização em florestas com mais de um fuste por cepa e baixo volume por árvore, normalmente verificada em florestas manejadas com duas ou até três rotações. Esta afirmativa baseia-se no fato de que o manejo citado anteriormente é uma realidade existente no País por diversas razões e que a mecanização da atividade de colheita já é uma necessidade (DURATEX, 1999).

A colheita da madeira com baixo volume por árvore é um dos grandes desafios para os técnicos da área e um dos principais objetos de pesquisa no segmento na atualidade (DURATEX, 1999).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi conduzida em povoamentos florestais de uma empresa do setor, situados na região de Lençóis Paulista, noroeste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°55' de latitude sul, 48°50' de longitude oeste e a 750 metros de altitude. O tipo de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Escuro (LE), álico, Horizonte A moderado, com textura de média a arenosa e relevo plano a suave ondulado.

Conforme a classificação de Koeppen, o clima característico da região é o Cwa, clima quente úmido, de inverno seco, com menos de 30 mm como total de chuva no mês mais seco. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.200 mm, sendo o período chuvoso de novembro a janeiro e o período seco de julho a setembro; a temperatura média anual situa-se em torno de 21 °C, e a mínima absoluta, em torno de -5 °C, sendo a umidade relativa média de 60%.

O reflorestamento da empresa na região onde se realizou o trabalho era constituído da espécie *E. grandis*, em regime de segunda talhadia.

A finalidade básica da madeira gerada naquela unidade é a produção de chapas de fibras; são colhidos anualmente cerca de 450.000 m³cc, dos quais aproximadamente 30% são provenientes de florestas conduzidas, como as enfocadas neste trabalho.

3.2. Metodologia do estudo

Neste estudo foram avaliados quatro subsistemas de colheita de madeira, em florestas com baixo volume por árvore e regime de talhadia (Figura 1).



Figura 1 - Exemplo do povoamento estudado neste trabalho.

O trabalho foi compreendido de duas etapas básicas: a primeira foi o acompanhamento, no campo, das atividades operacionais de colheita (corte e extração), em cada subsistema, realizando um estudo de tempos e movimentos e um acompanhamento das interrupções do trabalho das máquinas, visando obter informações importantes sobre o ciclo operacional destas, assim como fornecer subsídios para uma avaliação técnica de cada subsistema estudado. A segunda etapa consistiu na determinação dos custos operacionais e de produção de cada máquina, assim como dos subsistemas de colheita como um todo, obtendo-se assim subsídios para uma avaliação econômica dos subsistemas estudados.

3.2.1. Seleção da área

Segundo a metodologia proposta por BARNES (1968), primeiramente foi feito um estudo piloto dos subsistemas de colheita analisados, buscando definir o número de observações do ciclo operacional de cada máquina, a fim

de atingir o número de observações necessário para proporcionar um erro de amostragem máximo de 5%, por meio da seguinte expressão:

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

em que

n = número mínimo de ciclos necessários;

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

CV = coeficiente de variação, em percentagem; e

E = erro admissível, em percentagem.

Sabendo-se o número de observações necessárias e levando em consideração as faixas de corte de cada máquina, normalmente utilizadas pela empresa definiu-se o tamanho mínimo da área a ser explorada por cada subsistema, que proporcionasse o número mínimo de observações a serem coletadas.

A partir desse ponto, foi preliminarmente selecionado um talhão com as características desejadas (floresta com baixo volume por árvore e mais de um fuste por cepa), que seria explorado na seqüência, pela área de colheita florestal.

Dentro do talhão selecionado preliminarmente, foram alocados três blocos, de 42 linhas de plantio cada um, com cada bloco contendo os quatro tratamentos (subsistemas de colheita) testados. Procurou-se alocar os blocos de forma que, dentro de cada um, as condições de sub-bosque, terreno, declividade, padrão da floresta, entre outros, fossem as mais homogêneas possíveis, tentando eliminar as possíveis diferenças que não as atribuídas aos tratamentos.

Depois de alocados os blocos no campo, contatou-se a equipe de inventário da empresa e, com o auxílio desta, fez-se o inventário de cada bloco alocado preliminarmente, a fim de obter informações dendrométricas mais precisas sobre as parcelas experimentais; paralelamente ao inventário dos blocos, realizou-se o censo de cada parcela, obtendo-se o número exato de árvores existentes nestas.

Com os resultados apresentados no Quadro 1, estratificou-se cada bloco, segundo o volume médio por árvore.

A área total de cada bloco foi de 6,3 ha, sendo distribuídos os quatro tratamentos de forma igual dentro de cada bloco, exceto o tratamento 3, no qual, pelo fato de a faixa de corte utilizada ser de quatro linhas de plantio, enquanto nos outros tratamentos esta faixa foi constituída de cinco linhas de plantio, houve a necessidade, para se obter um número de linhas adequado ao módulo de trabalho (múltiplos de quatro linhas), de se adotar o tratamento com 12 linhas, aumentando assim a sua área em relação aos outros tratamentos, que foram compostos por 10 linhas de plantio cada um (Quadro 2).

Quadro 1 - Características dendrométricas dos blocos experimentais, localizados em Lençóis Paulista, São Paulo

Bloco	DAP Médio (cm)	Altura Média (m)	Volume/ha (m ³ cc)	Arvores/ha	Fustes/cepa	Volume médio/arvore (m ³ cc)
A	9,0	13,9	133,7	1375	1,80	0,054
B	9,7	15,2	171,3	1431	1,76	0,068
C	10,4	15,5	189,9	1469	1,63	0,079

Quadro 2 - Subsistemas de colheita e suas respectivas áreas

Subsistemas	Área/Subsistema (ha)	Área/parcela (ha)
Feller Buncher + Skidder + Slingshot (1)	1,5	6,3
Feller Buncher + Slingshot + Forwarder (2)	1,5	
Slingshot + Forwarder (3)	1,8	
Corte Semimecanizado + Forwarder (4)	1,5	

3.3. Descrição dos subsistemas de colheita analisados

Os quatro subsistemas de colheita analisados no trabalho integram dois sistemas de colheita; para melhor identificação dos subsistemas, eles foram numerados de 1 a 4.

O subsistema de colheita 1 integra o sistema de árvores inteiras, em que as árvores são abatidas dentro do talhão e extraídas (fuste + galhada + folhagem), até a margem da estrada ou o pátio temporário.

Os subsistemas 2, 3 e 4 integram o sistema de toras curtas, em que as operações relacionadas ao corte florestal (abate, desgalhamento, destopamento, traçamento e empilhamento) são realizadas na área de corte, sendo a madeira extraída para as margens da estrada ou para o pátio temporário na forma de toretes com comprimento inferior a 6 metros.

No subsistema 1, a etapa de derrubada das árvores foi realizada pelo Feller-Buncher. A etapa de extração foi realizada pelo Skidder, e a etapa final consistiu no processamento das árvores, o qual era realizado com o Slingshot.

O Feller-Buncher iniciava a derrubada do primeiro eito de trabalho, direcionando a base dos feixes de árvores para a extremidade do talhão onde se iniciou o trabalho; após realizar a derrubada de aproximadamente metade do comprimento do primeiro eito, formando os feixes a aproximadamente 45° em relação ao alinhamento de plantio, o Feller-Buncher retornava em direção ao início do segundo eito.

Depois da derrubada da primeira metade dos dois eitos, o Feller-Buncher deslocava-se para a outra extremidade do talhão, iniciando assim a derrubada da segunda metade do primeiro eito de trabalho e, posteriormente, a derrubada da outra metade do segundo eito, posicionando a base dos feixes para serem arrastados para essa extremidade do talhão.

A etapa seguinte foi a extração, feita com o Skidder, o qual se deslocava da margem da estrada até próximo ao local onde se encontravam os feixes. Ao aproximar-se, o operador iniciava a manobra para a fixação do feixe, posicionando a máquina com a traseira próxima deste; em seguida, acionava a abertura das garras da pinça, abaixando-a, prendendo e suspendendo o feixe parcialmente em relação ao solo, iniciando o arraste em direção à margem do talhão, onde então ele era posicionado ao lado dos outros.

Aproximadamente metade dos feixes era arrastada para uma extremidade do talhão e a outra metade para a extremidade oposta; os feixes na margem do talhão eram dispostos num ângulo de aproximadamente 30° em relação ao sentido do alinhamento do plantio.

Entre os feixes arrastados e a estrada florestal era deixado um espaço de aproximadamente 10 metros, sendo reservados aproximadamente 4 metros entre os feixes arrastados e a madeira processada, para movimentação da máquina que realizaria o processamento, mais 6 metros, que era o comprimento da madeira processada na margem do talhão.

As Figuras 2 e 3 ilustram a disposição dos feixes derrubados pelo Feller-Buncher e arrastados pelo Skidder no subsistema 1.

A etapa final deste subsistema consistiu no processamento da madeira, realizado pelo Slingshot, que se deslocava em uma faixa de ± 4 metros entre os feixes arrastados pelo Skidder e as pilhas formadas pela madeira já processada, sendo a galhada depositada entre os feixes arrastados pelo Skidder e a pilha formada na margem do talhão.

O processamento consistia na fixação de algumas árvores dos feixes arrastados pelo Skidder, sendo então suspensas e movimentadas até o ponto em que seriam formadas as pilhas, onde eram desgalhadas e seccionadas em toras de 6 metros de comprimento.

No subsistema 2, a derrubada foi realizada com o Feller-Buncher. Neste caso, ele derrubava cada um dos dois eitos de trabalho, todos num único sentido, com a base dos feixes direcionada para a extremidade do talhão onde se iniciava a derrubada; os feixes eram direcionados a aproximadamente 30° em relação ao alinhamento do plantio (Figura 5).

Em seguida à derrubada foi realizado o processamento da madeira dentro do talhão, pelo Slingshot. A movimentação da máquina foi feita de acordo com o sentido de deslocamento do Feller-Buncher; a máquina inicia o processamento pela extremidade do talhão onde o Feller-Buncher finalizou a derrubada do eito.

O processamento em si é semelhante ao descrito no subsistema 1, sendo, neste caso, a galhada resultante do processamento deixada na linha de tráfego da máquina, procurando, com isso, reduzir uma possível compactação, resultante do tráfego do próprio Slingshot na etapa de processamento e, posteriormente, do Forwarder na realização da extração (Figura 6).

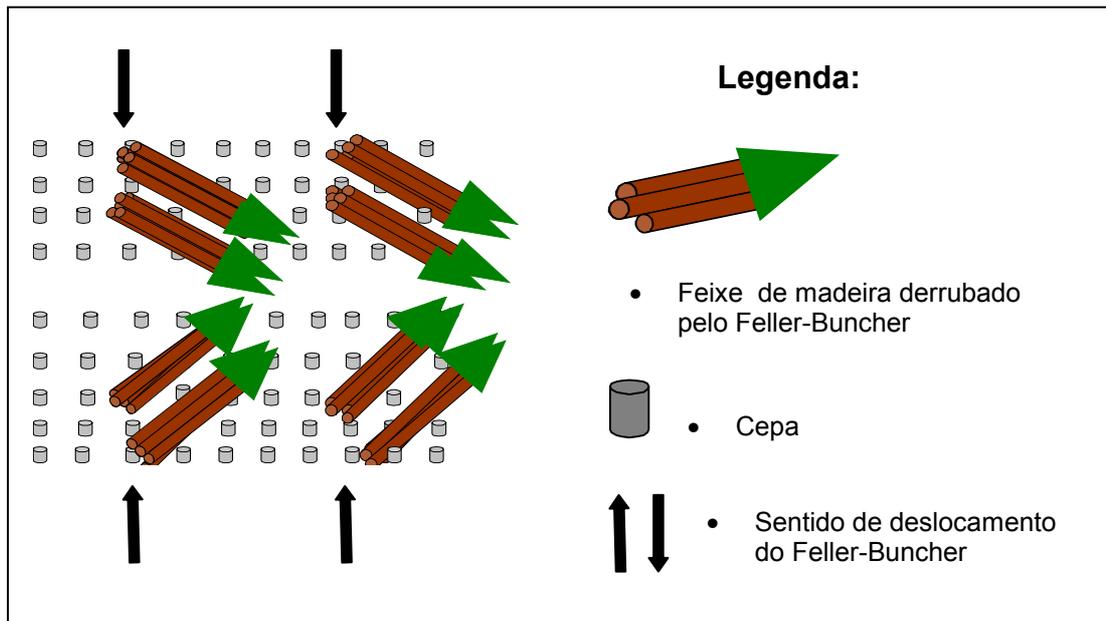


Figura 2 - Disposição dos feixes derrubados pelo Feller-Buncher no subsistema 1.

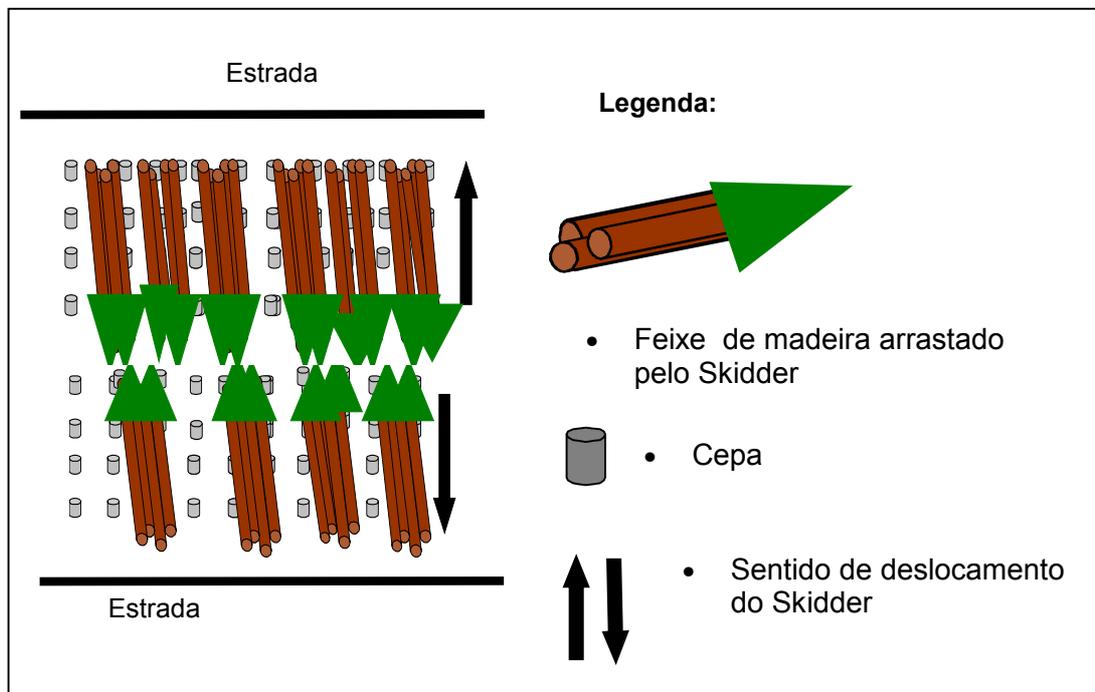


Figura 3 - Disposição dos feixes arrastados do Skidder na margem da estrada.

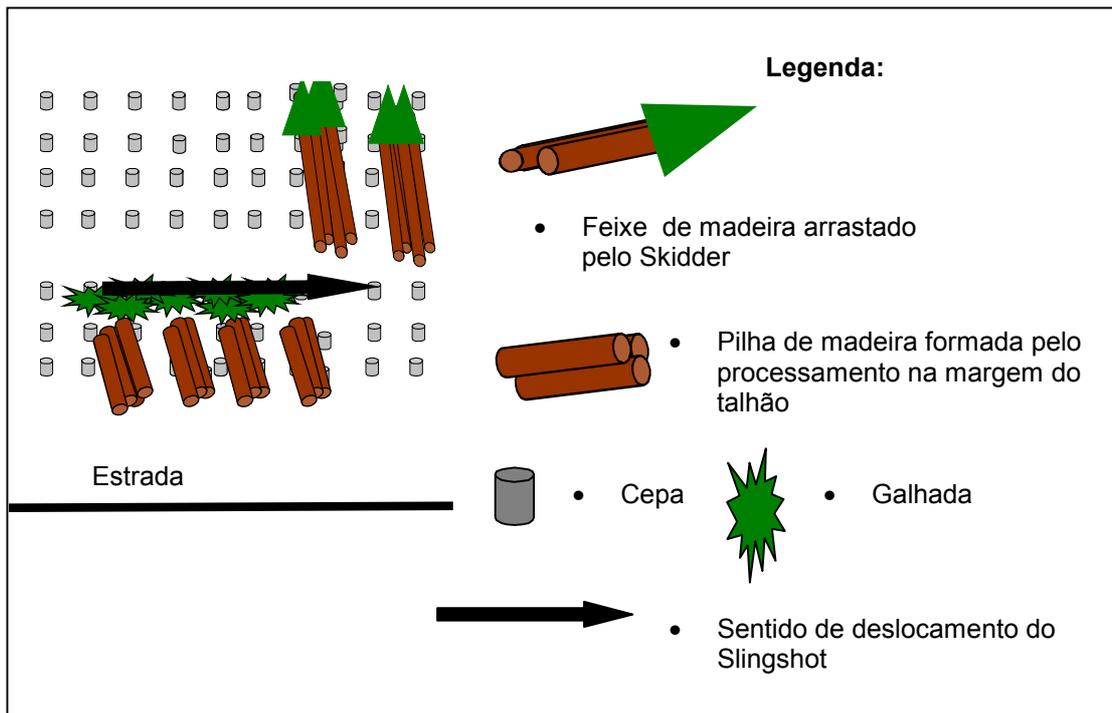


Figura 4 - Disposição da madeira após a etapa de processamento com o Slingshot no subsistema 1.

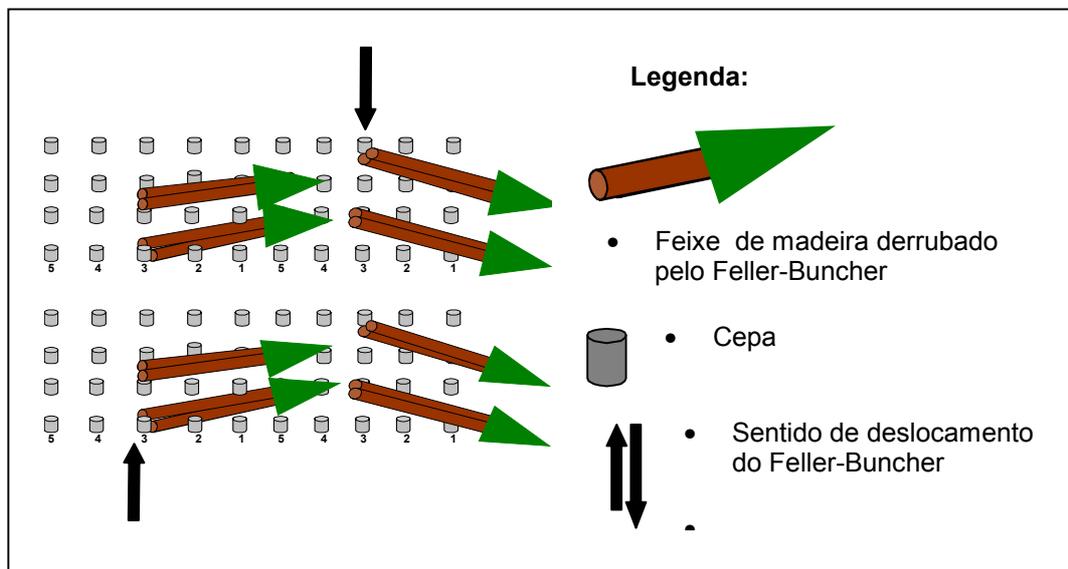


Figura 5 - Disposição dos feixes derrubados pelo Feller-Buncher no subsistema 2.

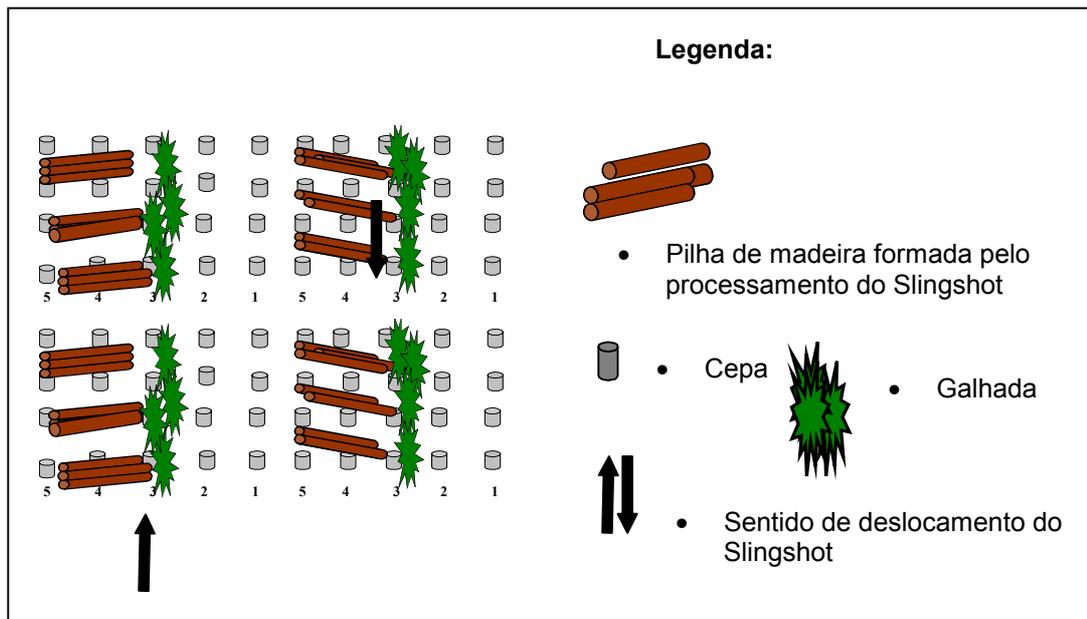


Figura 6 - Disposição das pilhas de madeira após o processamento com Slingshot no subsistema 2.

A etapa final deste subsistema consistiu na extração realizada com o Forwarder, que se deslocava sobre a mesma linha de tráfego do Slingshot, extraíndo cada eito de trabalho isoladamente, ou seja, realizando o carregamento apenas por um lado, pelo fato de a distância entre as pilhas de cada eito ser maior que o alcance máximo da grua do Forwarder.

Metade do comprimento de cada eito de trabalho foi extraída para cada extremidade do talhão, visando otimizar a distância média de extração (Figura 7).

No subsistema 3, a etapa completa de corte (derrubada e processamento) foi realizada pelo Slingshot, sendo a faixa de corte adotada pela empresa de quatro linhas. O Slingshot desloca-se sobre a 2ª linha, realizando a derrubada da 1ª linha por um lado e da 3ª e 4ª por outro, sendo as pilhas formadas após o processamento posicionadas entre a 3ª e a 4ª linha de corte (Figura 8).

A etapa final deste subsistema é a extração da madeira com o Forwarder, sendo o procedimento operacional similar ao descrito para o subsistema 2; no entanto, neste caso, devido à distância entre as pilhas formadas nos eitos de trabalho ser menor, proporcionavam-se condições para que o carregamento fosse realizado por ambos os lados (direito e esquerdo).

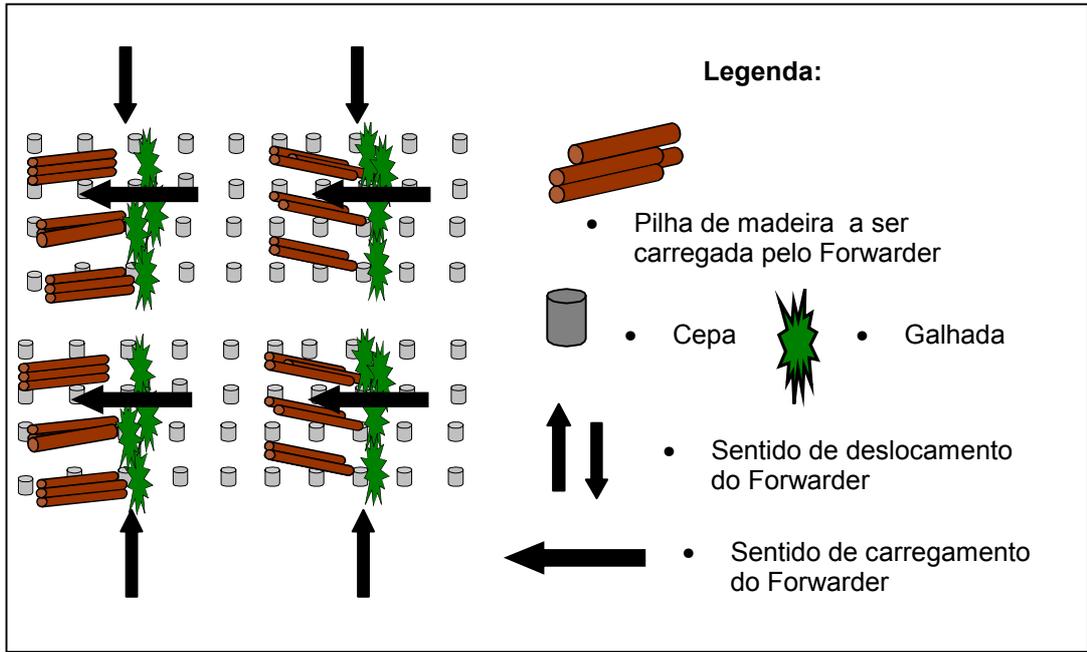


Figura 7 – Disposição das pilhas de madeira a serem extraídas pelo Forwarder no subsistema 2.

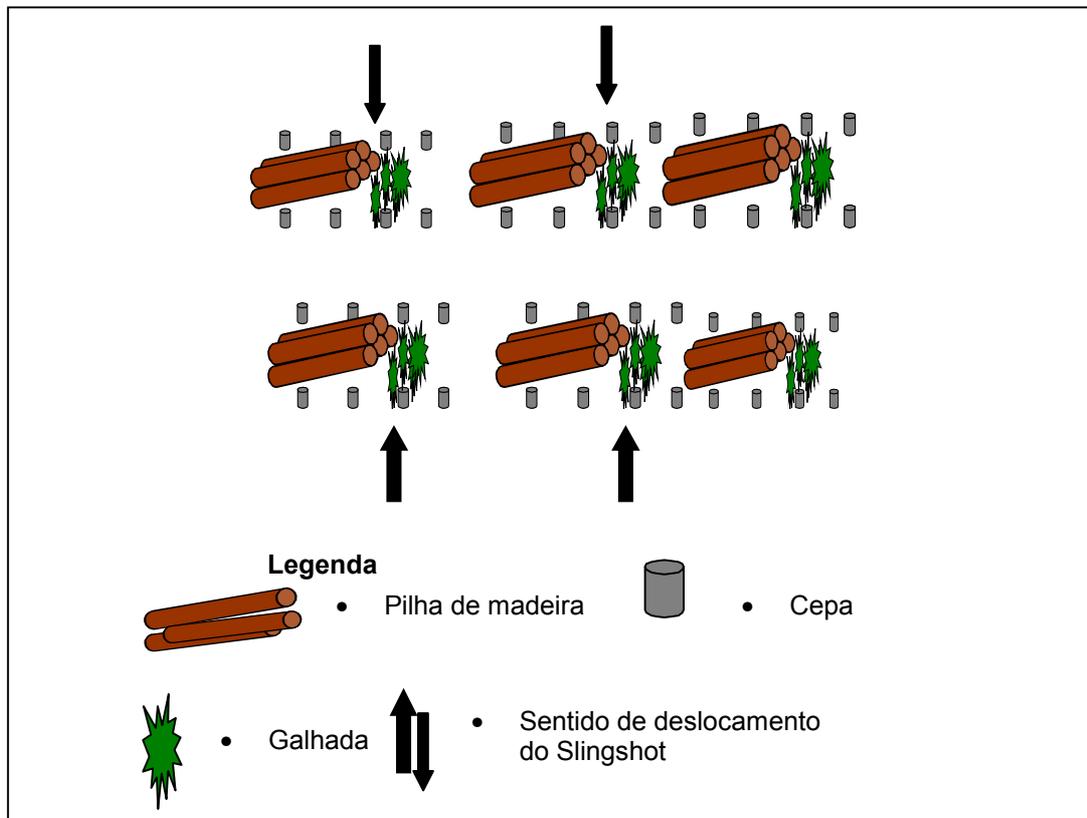


Figura 8 - Disposição da madeira após o processamento com o Slingshot no subsistema 3.

Em cada uma das três repetições do subsistema 3, foram extraídos três eitos de corte; em dois deles, o carregamento foi feito simultaneamente (o Forwarder carregava um pelo seu lado esquerdo e outro pelo seu lado direito), enquanto o terceiro eito era extraído de forma isolada (apenas por um lado) (Figura 9).

No subsistema 4, a etapa completa de corte (derrubada + processamento) foi realizada de forma semimecanizada, com o uso da motosserra e do machado.

A equipe era formada por duas pessoas, sendo um operador de motosserra e um ajudante, trabalhando em sistema de revezamento, ou seja, ora o operador de motosserra assumia a função de ajudante e vice-versa.

A faixa de corte utilizada foi a de cinco linhas, sendo o procedimento operacional descrito a seguir:

Primeiramente, eram derrubadas a 3^a e a 2^a linha; enquanto o operador de motosserra realizava a derrubada, o ajudante auxiliava no direcionamento da queda das árvores; em seguida, passava-se à etapa de desgalhamento, que era realizada com o auxílio do machado, em conjunto, pelos dois integrantes da equipe; a galhada resultante desta etapa era depositada sobre a 3^a linha.

Após o desgalhamento completo das duas linhas iniciais, passava-se à etapa de traçamento e enleiramento. Enquanto o operador de motosserra realizava o traçamento das árvores, simultaneamente, o ajudante fazia o enleiramento da madeira, que era enleirada entre a 2^a e a 3^a linha; em seguida, as árvores eram derrubadas, sendo processadas a 1^a e a 4^a linha, seguindo a mesma seqüência operacional descrita anteriormente: a madeira da 1^a linha era enleirada entre a 1^a e a 2^a linha, e a madeira proveniente da 4^a linha era enleirada entre a 3^a e a 4^a linha.

Por fim, realizavam-se a derrubada e o processamento da 5^a linha, sendo a madeira proveniente desta linha enleirada entre a 4^a e a 5^a linha (Figura 10).

A etapa seguinte foi a extração realizada com o Forwarder, o qual tinha três faixas de extração, nos dois eitos de corte utilizados em cada repetição.

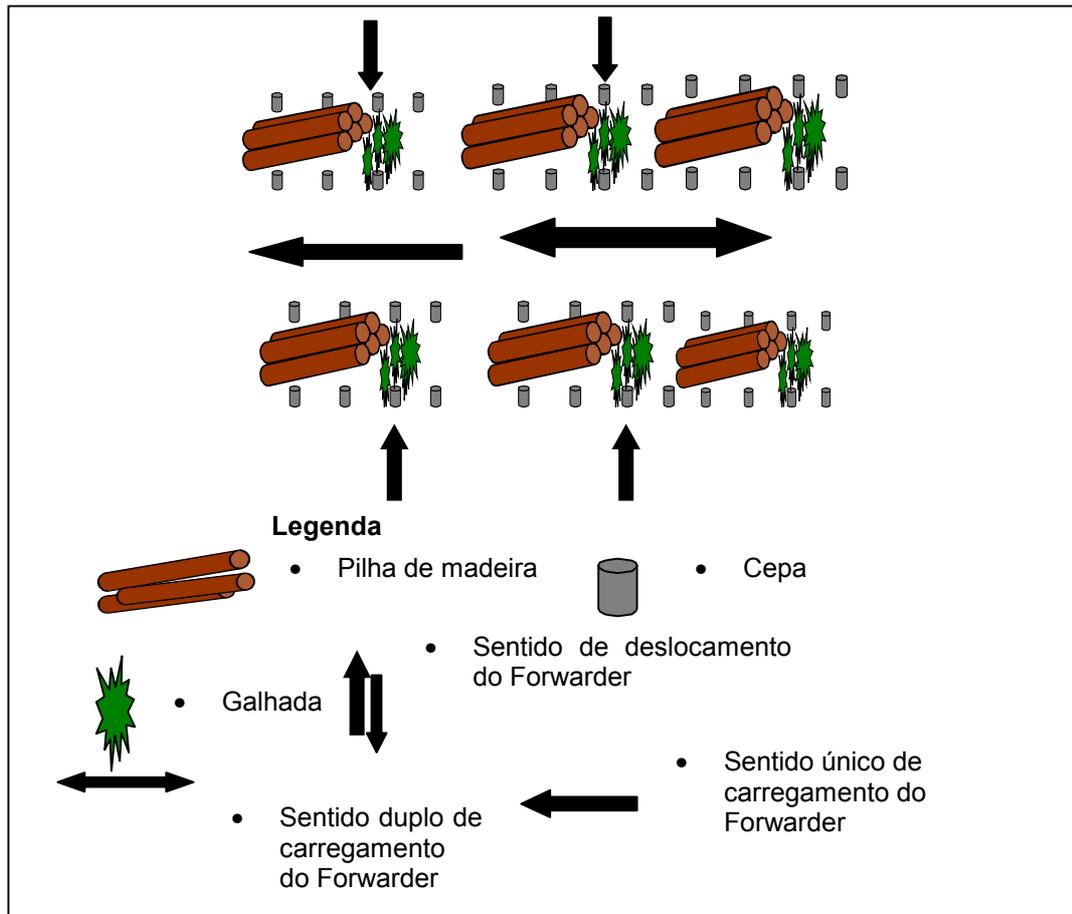


Figura 9 - Disposição da madeira na etapa de extração com Forwarder no subsistema 3.

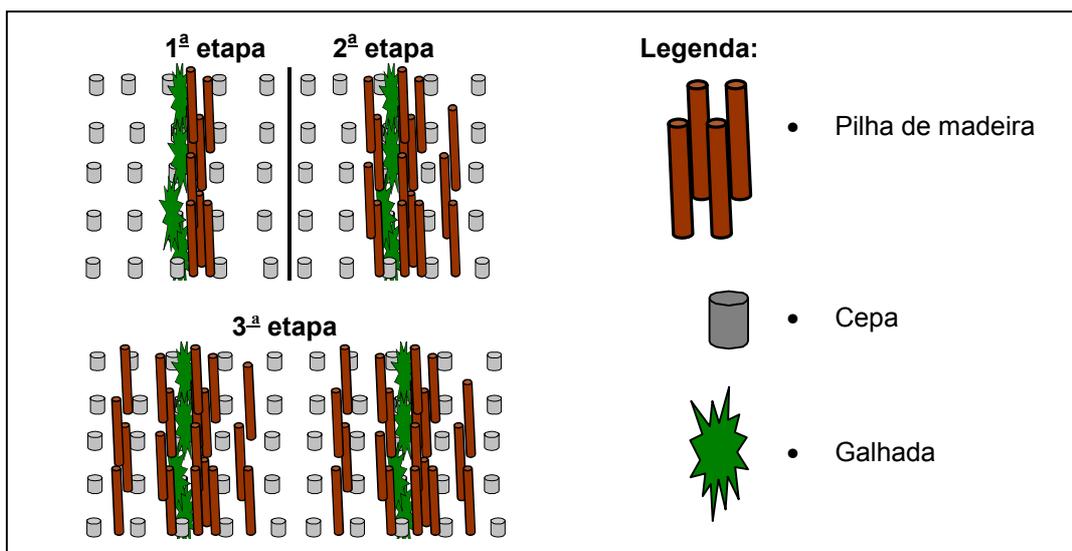


Figura 10 - Disposição da madeira após a etapa de derrubada e processamento no subsistema 4.

Na primeira faixa, o Forwarder deslocava-se sobre a 1ª linha de corte de eito, carregando por um lado a madeira proveniente da 1ª, 2ª, 3ª e 4ª linhas de um eito de corte e, por outro, a madeira proveniente da 4ª e 5ª linhas do outro eito; na segunda faixa de extração, o Forwarder deslocava-se sobre a 5ª linha de um eito de corte, baldeando apenas a madeira proveniente desta linha; por fim, na terceira faixa de extração, o Forwarder deslocava-se sobre a 1ª linha do outro eito de corte, baldeando por um único lado a madeira proveniente da 1ª, 2ª e 3ª linhas daquele eito (Figura 11).

3.4. Descrição das máquinas analisadas

A seguir é feita uma descrição de algumas características técnicas e operacionais das máquinas utilizadas. Outras informações técnicas mais específicas serão apresentadas no Apêndice B.

3.4.1. Descrição do Feller-Buncher

O Feller-Buncher utilizado nos subsistemas 1 e 2 foi o mesmo. A máquina é composta por uma escavadeira hidráulica com esteiras, marca Caterpillar, modelo 320 BL, um cabeçote de corte acumulador da marca Risley, com disco de corte e capacidade de corte de até 45 centímetros de diâmetro (Figura 12).

A principal característica da máquina é cortar, acumular e se deslocar com as árvores em pé no seu cabeçote, depositando-as em um local dentro da área de corte.

O procedimento de corte do Feller-Buncher consiste na fixação da árvore por duas garras à altura do DAP e, em seguida, no corte um pouco acima do nível do solo, com o disco de corte.

Após o corte da primeira árvore, é acionado o braço acumulador, firmando essa árvore na cabeça de corte e reabrindo as garras para uma nova operação; completada a capacidade de carga do Feller-Buncher, as árvores são, então, descarregadas, formando feixes.

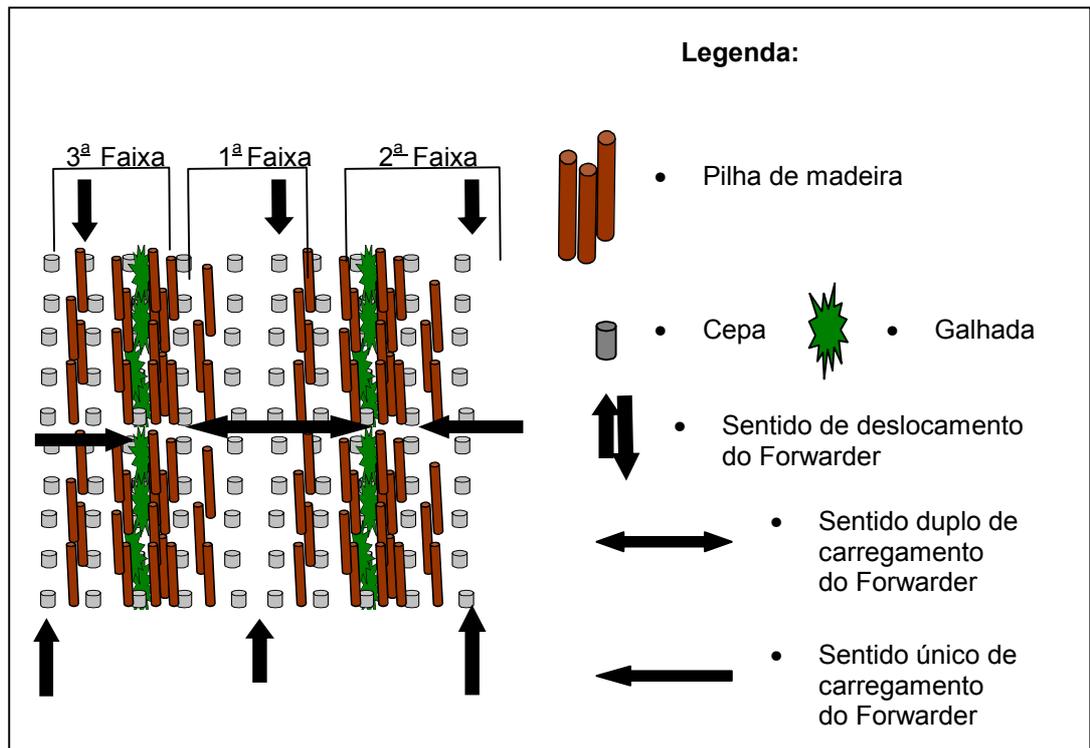


Figura 11 - Disposição da madeira a ser extraída com o Forwarder no subsistema 4.



Figura 12 - Vista lateral do Feller-Buncher e vista frontal do cabeçote de corte.

A faixa de corte do Feller-Buncher adotada pela empresa é de cinco linhas, em que a máquina trafega sobre a 3ª linha de plantio, realizando o corte da 1ª e 2ª linhas por um lado e o da 4ª e 5ª linhas por outro.

3.4.2. Descrição do Slingshot

O Slingshot utilizado nos subsistemas 1, 2 e 3 é o mesmo (Figura 14). Ele consiste de uma máquina-base, da marca Timberjack, modelo 608, na qual foi adaptado o cabeçote de corte, denominado Slingshot, que tem como aspecto operacional próprio a sua capacidade de operação com várias árvores ao mesmo tempo (Figura 13).

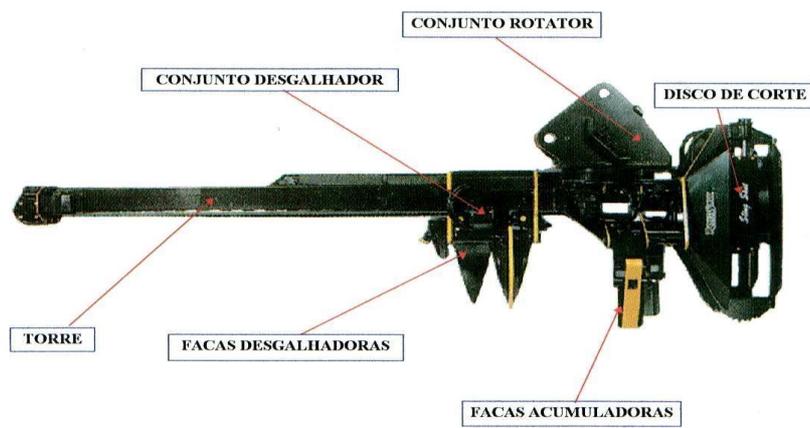


Figura 13 - Esquema ilustrativo do cabeçote Slingshot estudado neste trabalho.



Figura 14 - Vistas lateral e frontal do conjunto máquina-base + cabeçote Slingshot.

Ele fixa a árvore com as garras do cabeçote; após o correto posicionamento deste ao pé da árvore, é acionado o disco de corte e realizado o abate da árvore, que é então acumulada. Assim que é completada a carga, o operador desloca o cabeçote, posicionando-o horizontalmente em relação ao solo, e aproxima-o do ponto onde serão formadas as pilhas, iniciando-se assim a etapa de processamento (desgalhamento e traçamento).

3.4.3. Descrição do Skidder

O Skidder é um trator florestal desenvolvido para o trabalho de arraste florestal, geralmente articulado com tração 4x4, com um sistema rodante traseiro e dianteiro nas mesmas dimensões; o sistema rodante do Skidder estudado no trabalho foi o de pneus (Figura 15).

O Skidder era equipado com uma pinça na traseira e uma lâmina na parte frontal, que auxilia no empilhamento e na limpeza de vias de acesso, sendo da marca Caterpillar, modelo 525.

3.4.4. Descrição do Forwarder

O Forwarder é um trator florestal projetado para o transporte primário de madeira. O trator utilizado foi o marca da marca Timberjack, modelo 1210B, com tração 6x6 (Figura 16).

O procedimento consiste no deslocamento do Forwarder da margem do talhão até o local onde foram formadas as pilhas de madeira. Ao chegar ao lado das pilhas, inicia-se o seu autocarregamento; após completada a carga, o trator se desloca em direção à margem do talhão, onde será feito o descarregamento.

3.4.5. Descrição da motosserra

Segundo MACHADO (1989), a motosserra é a principal responsável pela semimecanização do corte florestal no Brasil, onde existem vários tipos de motosserras disponíveis, de acordo com cada uso específico; a motosserra utilizada neste trabalho foi da marca Husqvarna, modelo 268 (Figura 17).



Figura 15 - Vistas lateral e traseira do Skidder estudado neste trabalho.



Figura 16 - Vista lateral do Forwarder estudado neste trabalho.



Figura 17 - Motosserra Husqvarna, modelo 268.

3.5. Descrição do ciclo operacional das máquinas

Para condução do estudo de tempo, foi feita uma subdivisão dos movimentos executados pelas máquinas na realização das operações, ora denominados elementos do ciclo operacional.

Na seqüência, são feitas as descrições dos elementos do ciclo operacional de cada máquina, nos diversos subsistemas de colheita estudados.

3.5.1. Ciclo operacional do Feller-Buncher

Para o Feller-Buncher, consideraram-se os mesmos elementos parciais para os subsistemas 1 e 2, sendo o mesmo responsável pela etapa de derrubada e formação dos feixes de árvores.

Os elementos parciais que compuseram o ciclo operacional de corte mecanizado com o Feller-Buncher foram:

- **Deslocamento vazio:** iniciou-se exatamente quando, após completar a derrubada de um feixe, o Feller-Buncher dirigia-se ao encontro da próxima árvore (touça) que seria abatida e terminou quando apoiava o cabeçote de corte no chão, pronto para acionar o disco de corte.
- **Busca e corte:** iniciou-se quando a torre de corte estava totalmente apoiada no chão, próxima à árvore que seria abatida, e terminou quando, após abatida a última árvore, os braços de corte estavam totalmente fechados e o cabeçote iniciava o movimento para o descarregamento.
- **Deslocamento para o descarregamento:** iniciou-se quando os braços de corte estavam totalmente fechados e a última árvore estava cortada e terminou no instante em que todo o feixe estava no chão.
- **Interrupções:** foram registrados todos os tempos em que a máquina não estava realizando as atividades anteriormente mencionadas, assim como uma descrição da causa de cada interrupção, visando com isso classificar posteriormente essas interrupções em:
 - interrupções inerentes ao próprio ciclo operacional, também chamadas de dificuldades operacionais, vindo a fazer parte do tempo total do ciclo.

- interrupções técnicas e, ou, mecânicas, como: abastecimentos, quebras e manutenções periódicas; e
- interrupções operacionais, como: refeições, orientação sobre as atividades a serem desenvolvidas, etc.

3.5.2. Ciclo operacional do Slingshot

Devido à similaridade do ciclo operacional do Slingshot nos subsistemas 1 e 2, adotaram-se os mesmos elementos parciais para ambas as situações; para o subsistema 3 foram adotados outros elementos.

Para melhor entendimento, as diferentes situações serão apresentadas separadamente, de acordo com o subsistema em que elas ocorreram.

3.5.2.1. Ciclo operacional do Slingshot nos subsistemas 1 e 2

Os elementos parciais que compuseram o ciclo operacional do Slingshot, realizando-se apenas o processamento na margem ou no interior do talhão, foram:

- **Deslocamento da máquina-base:** iniciou-se quando, após processar a última árvore, a máquina começou o deslocamento em direção ao próximo feixe e terminou quando a garra de corte aberta toca este.
- **Deslocamento do cabeçote vazio:** iniciou-se quando, após realizar o processamento das árvores, apenas o cabeçote de corte foi deslocado em direção ao próximo feixe a ser processado e terminou quando a garra de corte toca este.
- **Pega do feixe:** iniciou-se quando a garra de corte aberta tocou o feixe e terminou quando este já se encontrava totalmente suspenso, com um grupo de árvores a serem processadas.
- **Deslocamento do cabeçote carregado:** iniciou-se quando o grupo de árvores fixas pelo cabeçote de corte na etapa anterior foi totalmente suspenso e começou então o movimento do mesmo em direção à pilha, terminando quando próximo à pilha o movimento cessou e o “carrinho desgalhador” foi acionado.

- **Processamento (desgalhamento e traçamento):** iniciou-se quando o operador, após posicionar o cabeçote no local onde seriam formadas as pilhas, retraiu o disco de corte e acionou o carrinho desgalhador, terminando após o seccionamento completo da árvore em toras de 6 metros de comprimento, até um diâmetro mínimo de aproximadamente 4 centímetros.
- **Interrupções:** foi considerado o mesmo critério adotado e descrito para o Feller-Buncher.

3.5.2.2. Ciclo operacional do Slingshot no subsistema 3

Os elementos que compuseram o ciclo operacional do Slingshot, quando este realizou a derrubada e o processamento completo das árvores, foram:

- **Deslocamento sem carga:** iniciou-se exatamente quando a máquina completava o processamento de um feixe e deslocava-se ao encontro das próximas árvores que seriam abatidas e terminou quando a máquina apoiava o cabeçote de corte no chão, pronto para acionar o disco de corte. Considerando que, enquanto se desloca, a máquina desloca simultaneamente o cabeçote em direção às árvores que serão processadas na seqüência, optou-se por considerar o tempo de deslocamento da máquina-base implícito no tempo de deslocamento sem carga.
- **Busca e corte:** iniciou-se quando o cabeçote de corte estava totalmente apoiado no chão próximo à árvore que seria abatida e terminou quando, após abatida a última árvore, estando os braços de corte totalmente fechados, o cabeçote iniciava o movimento para o descarregamento.
- **Deslocamento para o descarregamento:** iniciou-se quando os braços de corte estavam totalmente fechados e a última árvore cortada e terminou quando o operador posicionou o cabeçote no local onde se formariam as pilhas.
- **Processamento (desgalhamento e traçamento):** iniciou-se quando o operador, após posicionar o cabeçote no local onde se formariam as pilhas, retraiu o disco de corte e acionou o carrinho desgalhador, terminando após o seccionamento completo da árvore em toras de 6 metros de comprimento, até um diâmetro mínimo de aproximadamente 4 centímetros.

- **Interrupções:** foi considerado o mesmo critério adotado e descrito anteriormente.

3.5.3. Ciclo operacional do Skidder

Os elementos que compuseram o ciclo operacional de arraste com o Skidder foram:

- **Viagem sem carga:** iniciou-se no exato momento em que o Skidder começava a se deslocar da margem da estrada em direção aos feixes no interior do talhão e terminou quando, estando próximo ao feixe que seria arrastado, começava a manobra para o carregamento.
- **Manobra para carregamento:** iniciou-se quando, próximo ao feixe a ser arrastado, começava a manobrar e terminou quando o Skidder estava posicionado para o carregamento.
- **Carregamento:** iniciou-se quando o Skidder, após manobrar, estava posicionado para o carregamento e acionava a abertura das garras da pinça e terminou quando esta se encontrava carregada e com a base do feixe suspenso.
- **Arraste:** iniciou-se exatamente quando o Skidder começava a se deslocar com a carga parcialmente suspensa e terminou quando chegava próximo às pilhas, na margem da estrada.
- **Descarregamento:** iniciou-se quando, ao se aproximar da pilha na margem da estrada, o operador manobrava e posicionava adequadamente o feixe na pilha e terminou quando o feixe foi liberado da pinça.
- **Manobra na estrada:** iniciou-se quando, após o descarregamento do feixe, manobrava-se o Skidder, posicionando-o para iniciar um novo ciclo.
- **Interrupções:** adotou-se o mesmo critério anterior.

3.5.4. Ciclo operacional do Forwarder

Os elementos que compuseram o ciclo operacional de transporte primário com Forwarder foram:

- **Viagem vazio:** iniciou-se no exato momento em que o Forwarder começou a se deslocar da margem da estrada até o feixe e terminou quando ele se posicionou próximo ao feixe a ser carregado.

- **Carregamento:** iniciou-se quando o operador, após posicionar o Forwarder próximo ao feixe, acionou a grua e terminou quando, após completar a carga do último feixe, ele posicionou a grua sobre a carga.
- **Viagem carregado:** iniciou-se exatamente quando o operador, após completar o carregamento do último feixe, posicionou a garra da grua sobre a carga e colocou o Forwarder em movimento em direção à pilha na margem do talhão, terminando quando o Forwarder foi posicionado ao lado da pilha, para descarregamento.
- **Descarregamento:** iniciou-se no exato instante em que o operador, para o Forwarder próximo à pilha na margem da estrada, acionou a grua e terminou quando toda a carga foi descarregada na pilha e a garra da grua novamente posicionada, com o Forwarder começando a se deslocar em direção ao interior do talhão, iniciando assim um novo ciclo.
- **Interrupções:** adotou-se o mesmo critério anterior.

3.5.5. Ciclo operacional de corte semimecanizado

Os elementos que compuseram o ciclo operacional de corte semimecanizado foram:

- **Derrubada:** iniciou-se no exato instante em que o operador tocou a árvore a ser derrubada, com o sabre da motosserra, e terminou quando ela tocou o solo. Devido ao curto espaçamento entre as árvores (1,5 metro) e pelo fato de, antes mesmo que a árvore tenha sido derrubada inicialmente, completando-se a queda, o operador e o ajudante já terem iniciado o deslocamento para a próxima árvore a ser derrubada, optou-se por considerar o tempo de deslocamento como parte do elemento derrubada.
- **Desgalhamento:** iniciou-se no exato instante em que o operador tocou com o machado o primeiro galho a ser desgalhado e terminou quando o último galho foi retirado e a árvore, destopada.
- **Taçamento:** iniciou-se no exato instante em que o operador tocou o sabre da motosserra, na primeira parte a ser traçada, e terminou no exato instante em que toda a árvore foi seccionada.

- **Enleiramento:** iniciou-se no exato instante em que a equipe iniciava a movimentação da primeira tora a ser enleirada e terminou quando a última tora foi enleirada.
- **Interrupções:** adotou-se o mesmo critério anterior.

3.6. Determinação dos fatores que influenciaram o rendimento das máquinas analisadas

3.6.1. Espécie florestal

Em toda a área estudada, a espécie florestal colhida foi o *Eucalyptus grandis*, considerado constante para todos os tratamentos.

3.6.2. Espaçamento

O espaçamento foi de 3 x 1,5 metros, sendo 3 metros entre linhas e 1,5 metro entre árvores na mesma linha; esse fator foi constante para todos os tratamentos.

3.6.3. Condições do sub-bosque e topografia do terreno

Com a estratificação da área em blocos, procurou-se eliminar as possíveis diferenças entre as condições do sub-bosque e as do terreno do talhão selecionado *a priori*.

3.6.4. Volume por árvore

Foi obtido por meio de um inventário, realizado preliminarmente em cada parcela experimental, sendo expresso em metros cúbicos com casca por árvore ($m^3_{cc}/arv.$).

3.6.5. Solos

O tipo de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Escuro (LE), álico, com horizonte A moderado de textura de média a arenosa. Dada a sua abrangência, esse fator também foi considerado constante para todos os tratamentos.

3.6.6. Faixa de corte

Esta variável corresponde ao número de linhas por eito de corte das máquinas que realizaram esta etapa da colheita. Foram adotados neste trabalho os módulos de corte normalmente utilizados pela empresa para cada máquina: cinco linhas para o Feller-Buncher e para o corte semimecanizado e quatro linhas para o Slingshot.

3.6.7. Comprimento das toras

Em todos os tratamentos, utilizou-se o mesmo comprimento das toras, igual a 6 metros, que é o utilizado pela empresa.

3.6.8. Distância de extração

A distância de extração (DE) para o Skidder foi estratificada em cinco níveis, sendo eles:

I – $DE \leq 50$ metros;

II – $50 \leq DE \leq 100$ metros;

III – $100 \leq DE \leq 150$ metros;

IV – $150 \leq DE \leq 200$ metros;

V – $200 \leq DE \leq 250$ metros.

Estas faixas de distância foram delimitadas no campo, por meio de estacas, com o auxílio de uma trena de 20 metros.

No caso do Forwarder, a distância de extração foi obtida pelo computador de bordo da máquina, que registrou as distâncias reais de cada viagem vazio e carregado da máquina.

3.6.9. Fatores humanos e sociais

Foram utilizados sempre os mesmos operadores para cada máquina, todos com no mínimo seis meses na função e o mesmo nível de treinamento recebido e considerados de bom desempenho técnico pela empresa.

3.7. Delineamento estatístico

Empregou-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições e quatro tratamentos, perfazendo um total de 12 parcelas experimentais, em que foram avaliados os quatro tratamentos referentes aos subsistemas de colheita.

Foram efetuadas análises de variância e testes de média para cada elemento parcial do ciclo, assim como para comparar as produtividades, os custos de produção e o rendimento energético das máquinas dentro de cada subsistema, e para comparar os resultados totais de cada subsistema.

Também foi efetuada uma análise de regressão para os elementos viagem sem carga e arraste do ciclo operacional do Skidder, bem como para os elementos viagem vazio e viagem carregado do ciclo operacional do Forwarder, com o objetivo de verificar a associação entre a variável dependente (tempo) e a variável independente (distância). Ainda para o Skidder, foi efetuada uma análise de regressão, a fim de verificar a associação entre a variável dependente (produtividade) e as variáveis independentes (distância e volume por árvore).

Foram consideradas como melhores equações aquelas que apresentaram maior coeficiente de determinação (R^2), menor coeficiente de variação (CV), melhor comportamento dos resíduos, maior significância e coerência em relação ao sinal dos coeficientes e maior facilidade de aplicação.

3.7.1. Coleta dos dados do ciclo operacional

No estudo do ciclo operacional do Feller-Buncher, Slingshot e Skidder, devido ao curto espaço de tempo entre os elementos parciais do ciclo operacional destas máquinas, utilizou-se o método de tempo contínuo. Segundo MACHADO (1984), este método é útil especialmente naquelas pesquisas destinadas a identificar, a princípio, as atividades parciais e a seqüência operacional. Os tempos de cada elemento do ciclo operacional são obtidos por subtração, já que durante a operação de cronometragem não se detém o cronômetro.

Já para o estudo do ciclo operacional do Forwarder e da motosserra, devido ao maior espaço de tempo entre os elementos parciais, utilizou-se o método de tempo parcial, no qual, conforme MACHADO (1984), o tempo de cada elemento do ciclo é obtido diretamente, já que o cronômetro é zerado a cada leitura.

Foram utilizados no estudo um cronômetro sexagesimal, uma prancheta e formulários específicos (Apêndice A), onde foram registrados os dados.

Os tempos dos elementos do ciclo foram registrados na forma sexagesimal e posteriormente convertidos para a forma centesimal, mais comumente empregada neste tipo de estudo.

3.7.2. Número de observações

Foram coletados 684 e 817 ciclos operacionais do Feller-Buncher nos subsistemas 1 e 2, respectivamente; os tratamentos com os menores números de observações foram de 190 e 247, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.

No caso do Slingshot, foram coletados 372, 599 e 581 ciclos operacionais nos subsistemas 1, 2 e 3, respectivamente; os tratamentos com o menor número de observações foram de 83, 187 e 168, nos subsistemas 1, 2 e 3, respectivamente.

Foram coletados 54, 68 e 50 ciclos operacionais do Forwarder nos subsistemas 2, 3 e 4, respectivamente; os tratamentos com o menor número de observações foram de 16, 21 e 15, nos subsistemas 1, 2 e 3, respectivamente.

Foram coletados 182 ciclos operacionais do Skidder, e o tratamento com o menor número de observações foi de 40.

Foram coletados 125 ciclos operacionais do corte semimecanizado, e o tratamento com o menor número de observações foi de 243.

Em todos os casos, os números mínimos de observações para cada tratamento foram alcançados, garantindo a confiabilidade estatística dos resultados.

3.8. Grau de disponibilidade mecânica

É a percentagem do tempo de trabalho programado em que a máquina está mecanicamente apta a realizar trabalho produtivo, desconsiderando-se,

portanto, o tempo em que a máquina está em conserto ou manutenção. Pode ser expressa pela seguinte expressão:

$$DM = \frac{HE}{(HE + TPM)} \times 100$$

em que

DM = grau de disponibilidade mecânica (%);

HE = tempo de trabalho efetivo (horas); e

TPM = tempo de permanência em manutenção (horas).

3.9. Eficiência operacional

É a porcentagem do tempo efetivamente trabalhado, em relação ao tempo total programado para o trabalho. Pode ser expressa pela seguinte expressão:

$$EO = \frac{HE}{(HE + HP)} \times 100$$

em que

EO = eficiência operacional (%);

HE = tempo de trabalho efetivo (horas); e

HP = horas paradas (horas).

3.10. Determinação da produtividade operacional

Foi adotado o seguinte procedimento para determinação da produtividade das máquinas analisadas neste trabalho.

- Primeiramente, realizou-se o censo completo de cada parcela experimental, obtendo-se dessa forma o número exato de árvores em cada parcela experimental.
- Por meio dos dados do inventário realizado preliminarmente, obteve-se o valor de volume médio por árvore em cada bloco, sendo esse valor multiplicado pelo número de árvores em cada parcela, gerando o volume médio existente em cada parcela.

- Com o acompanhamento das atividades de cada máquina, obteve-se o número de horas efetivamente trabalhadas em cada parcela. Esse tempo foi considerado como o número total de horas trabalhadas menos as interrupções mecânicas e operacionais.
- Por fim, chegou-se ao dado de produtividade da máquina em cada parcela, por meio da seguinte expressão:

$$Pr od(m^3 cc/he) = \frac{número\ de\ árvores \times volume\ por\ árvore}{horas\ efetivamente\ trabalhadas}$$

em que

número de árvores = este número foi obtido através de um censo completo realizado *a priori* em cada parcela experimental;

volume por árvore = é o volume médio por árvore dentro de cada bloco, sendo este dado obtido através do inventário da área; e

horas efetivamente trabalhadas = são as horas efetivas de trabalho gastas por cada máquina em cada parcela experimental, obtidas por meio do estudo de tempos e movimentos e da coleta das horas efetivas trabalhadas em cada tratamento.

3.11. Análise econômica dos subsistemas de colheita analisados

Na determinação do custo de produção considerou-se apenas a porção do tempo total durante o qual a máquina foi programada para executar um trabalho produtivo, ou seja, o tempo no trabalho.

Apesar de se registrarem os tempos de todas as interrupções ocorridas, quando as máquinas estavam trabalhando nas parcelas experimentais, para posterior referência sobre a disponibilidade mecânica e eficiência operacional destas durante a execução do trabalho, optou-se por utilizar no cálculo dos custos operacionais dados sobre eficiência operacional cedidos pela empresa, provenientes de séries históricas mais completas e, portanto, mais confiáveis.

3.11.1. Determinação dos custos operacionais das máquinas analisadas

Neste trabalho, o método de custo operacional dos maquinários é o descrito por MIYATA (1980), acrescido do custo de administração, utilizado por VALVERDE (1995) e PEREIRA (1997). O custo operacional foi analisado separadamente para cada máquina avaliada, sendo dividido em custos fixos e variáveis, expressos em dólares por hora efetiva de trabalho (US\$/he).

Os itens que compõem as planilhas de custos são semelhantes para todas as máquinas. Alguns dos itens que compõem as planilhas de custos foram obtidos em reais, sendo convertidos em dólar a uma taxa de câmbio de 1,80 (US\$ 1,00 = R\$ 1,80).

Os pormenores do esquema e do cálculo são apresentados no Apêndice C.

3.11.1.1 Custos fixos (CF)

São aqueles que não variam com as horas de operação. Eles não são afetados nem pelo total de atividades da máquina nem pela produção e ocorrem quer a máquina trabalhe ou não.

Os custos fixos são compostos de custo de depreciação, juros e seguros.

a) Depreciação (Dp): o custo de depreciação é um modo de se recuperar o investimento original de uma máquina, à medida que ela vai se tornando mais velha. A inclusão do seu valor no custo operacional representa a constituição de um capital de reserva para aquisição de uma nova máquina. Para cálculo da depreciação, foi utilizado o método da depreciação linear:

$$Dp: \frac{Va - Vpn - Vr}{N * he}$$

em que

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

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

Vr = valor residual da máquina (%);

V_{pn} = valor de um jogo de pneus (US\$);

N = vida útil estimada (anos); e

he = horas efetivas de uso anual.

b) Juros e Seguros (JS): os juros foram calculados aplicando-se ao investimento médio anual (IMA) a uma taxa de juros correspondente ao custo de oportunidade em que seria aplicado o capital. Neste trabalho utilizou-se uma taxa real de juros de 12% a.a. Os seguros são os custos que os proprietários incorrem devido ao uso ou à posse de suas máquinas e também em razão dos constantes perigos a que estão expostas essas máquinas florestais durante os trabalhos. A taxa de seguros utilizada foi de 4% a.a. O cálculo pode ser expresso da seguinte forma:

$$JS = \frac{IMA * i}{he}$$

em que

JS = custos com juros + seguros (US\$/he);

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

he = horas efetivas de uso anual; e

IMA = investimento médio anual (US\$).

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

em que

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

Vr = valor residual da máquina (%); e

N = vida útil estimada (anos).

3.11.1.2. Custos variáveis (CV)

São os custos que variam, proporcionalmente, com a quantidade produzida ou com o uso da máquina. Fazem parte deles os custos de combustíveis, lubrificantes, óleo hidráulico, pneus, remuneração de pessoal, manutenção/reparos, transporte de pessoal e maquinário e pessoal operacional.

a) Custo de combustível (CC): é o custo referente ao consumo de óleo diesel, sendo calculado pela fórmula:

$$CC = Pu \times c$$

em que

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

Pu = preço de um litro de óleo diesel (US\$/l); e

C = consumo de óleo diesel por hora efetiva (l/he).

b) Custo de lubrificantes e graxas (CLG): é o custo referente ao consumo de óleos lubrificantes e graxas. Este custo foi considerado como um percentual dos custos com combustíveis, podendo ser calculado pela seguinte expressão:

$$CLG = ILG \times CC$$

em que

CLG = custo com lubrificantes e graxas (US\$/he);

ILG = índice de custos com lubrificantes e graxas, o qual variou de acordo com a máquina analisada; e

CC = custos com combustíveis (US\$/he).

c) Custo do óleo hidráulico (COH): é o custo referente ao consumo de óleo hidráulico. Este custo foi considerado como um percentual dos custos com combustíveis, podendo ser calculado pela seguinte expressão:

$$COH = 0,5 \times CC$$

em que

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

CC = custos com combustíveis (US\$/he).

d) Custo de pneus/esteiras (CPE): é o custo referente aos gastos com pneus ou esteiras, de acordo com o sistema rodante da máquina. Este custo pode ser afetado por condições do terreno, ambiente, alinhamento e manutenção

dos pneus e habilidade do operador, podendo ser calculado da seguinte forma:

$$CPE = \frac{N_{pe} \times V_{pe}}{H}$$

em que

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

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

N_{pe} = número de pneus/esteiras por máquina; e

H = vida útil do pneu/esteira, em horas efetivas.

e) Custo com manutenção e reparos (CMR): é o custo relacionado com a manutenção e os reparos mecânicos a que as máquinas estão sujeitas durante a sua vida útil. A fórmula de cálculo deste custo variou de acordo com cada máquina específica, sendo apresentada em anexo.

f) Custo de transporte de pessoal (CTP): é o custo inerente ao transporte de pessoal até a frente de operações. Este custo foi obtido na empresa onde se realizou o trabalho, em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

g) Custo de transporte de maquinário (CTM): é o custo relacionado ao transporte das máquinas até a frente de operações. Este custo foi obtido na empresa onde se realizou o trabalho, em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

h) Custo de pessoal operacional (COM): refere-se aos custos com salários diretos mais os custos de benefícios e encargos sociais, como 13^o salário, férias, seguros, cuidados médicos, alimentação, vestuário, etc., os quais foram obtidos na empresa onde se realizou o trabalho, em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

3.11.1.3. Custo de administração (CAD)

São os custos relacionados com os trabalhos de escritório e supervisão das atividades de campo, os quais também foram obtidos na empresa onde se realizou o trabalho, em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

3.11.1.4. Custo operacional total (CT)

Este custo foi obtido pela soma dos custos fixos, variáveis e os custos de administração de cada uma das máquinas analisadas neste trabalho, ou seja:

$$CT = CF + CV + CA$$

em que

CT = custo operacional total de cada máquina (US\$/he);

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

CV = custos variáveis (US\$/he); e

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

3.11.2. Determinação do custo de produção

O custo de produção das máquinas foi obtido pela divisão dos custos operacionais (US\$/he) pela produtividade (m^3cc/he) de cada máquina, conforme as suas respectivas funções dentro de cada subsistema estudado, tendo sido dado em US\$/ m^3cc .

$$CPr = \frac{CT}{Prod}$$

em que

CPr = custo de produção da máquina analisada (US\$/ m^3cc);

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

$Prod$ = produtividade da máquina analisada (m^3cc/he).

3.11.3. Determinação do rendimento energético

O rendimento energético das máquinas foi obtido pela razão entre o consumo específico de combustível (g/kW*h) e a produtividade (m³cc/h) de cada máquina, conforme as suas respectivas funções dentro de cada subsistema estudado, tendo sido dado em g/kW*m³cc.

$$RE = \frac{Ce}{Pr od}$$

em que

RE = rendimento energético da máquina analisada (g/kW*m³cc);

Ce = consumo específico de combustível da máquina analisada (g/kW*h); e

Pr od = produtividade da máquina analisada (m³cc/he).

3.11.4. Determinação do custo de produção e rendimento energético totais dos subsistemas de colheita estudados

Estes custos referem-se aos custos de produção da madeira já cortada, processada e extraída, posta na margem da estrada. Foram obtidos pela somas dos custos de produção de cada etapa operacional, em cada subsistema de colheita específico.

Exemplificando, no subsistema 1, o custo total de produção foi dado pelos custos de produção da etapa de derrubada com o Feller-Buncher + o custo de produção da extração realizada com o Skidder + o custo de produção do processamento realizado pelo Slingshot.

$$CPS1 = CPF B + CPSK + CPSL$$

em que

CPS1 = custo total de produção do subsistema 1 (US\$/m³);

CPF B = custo de produção do Feller-Buncher (US\$/m³);

CPSK = custo de produção do Skidder (US\$/m³); e

CPSL = custo de produção do Slingshot (US\$/m³).

O mesmo raciocínio foi empregado para obtenção do rendimento energético total de cada um dos subsistemas analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados do Feller-Buncher

4.1.1. Composição dos elementos parciais do Feller-Buncher

A constituição média dos elementos do ciclo operacional do Feller-Buncher, nos subsistema 1 e 2, é mostrada na Figura 18.

Esses valores correspondem a um ciclo operacional de corte, composto de aproximadamente 5,67 árvores, em média. O tempo de busca e corte corresponde ao tempo para realizar o corte, acumular as árvores no cabeçote de corte e o deslocamento deste em busca de outras árvores.

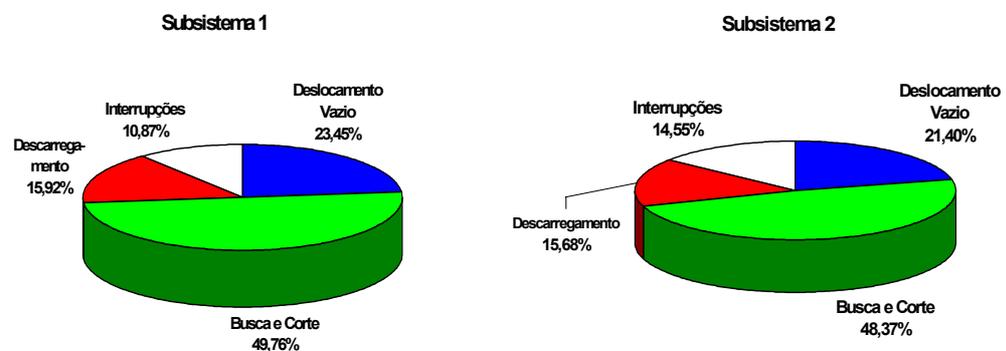


Figura 18 - Composição percentual do tempo total do ciclo operacional do Feller-Buncher nos subsistemas 1 e 2.

Dessa forma, o elemento parcial que consumiu a maior parte do tempo do ciclo operacional foi o busca e corte, com 48,37 e 49,76%, o que equivale a um ciclo unitário de 3,97 e 3,70 segundos, ou 22,53 ou 20,99 segundos por ciclo total, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.

O elemento deslocamento vazio veio em seguida, com 21,40 e 23,45% do tempo do ciclo total, correspondendo a 9,97 e 9,89 segundos, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente .

O elemento descarregamento consumiu 15,68 e 15,92% do tempo do ciclo total, correspondendo a 7,30 e 6,71 segundos, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.

O elemento interrupções foi o que obteve a menor participação no ciclo, com 14,55 e 10,87% do tempo do ciclo total, correspondendo a um tempo médio de 6,78 e 4,59 segundos, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente. O Feller-Buncher gastou, em média, 46,60 e 42,20 segundos nos subsistemas 1 e 2, respectivamente (Quadros 3 e 4).

4.1.2. Análise dos elementos do ciclo operacional do Feller-Buncher

4.1.2.1. Deslocamento vazio

Notou-se que, no subsistema 1, o operador procurava formar feixes mais volumosos, ou seja, com maior número de árvores, procurando com isso otimizar a etapa de extração que seria feita com o Skidder.

Com isso, era necessário número maior de ciclos, em relação ao subsistema 2, para formar o feixe ideal; assim, quando o trator acumulava todas as árvores dentro do seu raio de alcance, ele era obrigado a deslocar-se e muitas vezes acabava-se distanciando do ponto onde estava sendo formado o feixe.

Assim, muitas vezes, após o descarregamento, o percurso vazio até as próximas árvores a serem abatidas era maior, gerando maior tempo de deslocamento sem carga.

Já no subsistema 2 o operador era orientado para formar feixes com menor número de árvores, facilitando a etapa posterior, que era o processamento dentro do talhão, realizado com o Slingshot; esses feixes menores facilitavam a etapa de "pega do feixe".

Quadro 3 - Tempos médios, mínimos e máximos e coeficiente de variação para os elementos componentes do ciclo operacional do Feller-Buncher

Elemento do Ciclo Operacional	Tempo (s)						Coeficiente de Variação (%)	
	Máximo		Médio		Mínimo		S1	S2
	S1	S2	S1	S2	S1	S2		
DV	44,00	41,00	9,97	9,89	3,00	2,00	48,44	48,84
BC	72,00	74,00	22,53	20,99	2,00	3,00	63,43	62,12
DC	52,00	35,00	7,30	6,71	2,00	2,00	51,92	55,29
Efetivo total	317,00	170,00	46,60	42,20	9,00	8,00	61,50	47,27

S1 - subsistema 1, S2 - subsistema 2, DV - deslocamento vazio, BC - busca e corte e DC - deslocamento para descarregamento.

Quadro 4 - Tempo médio dos elementos do ciclo operacional do Feller-Buncher nos diferentes subsistemas de colheita

Subsistema	Bloco	DV	BC	DC	INT	TOT
1	A	10,09	23,75	7,51	6,22	47,71
	B	9,39	24,79	6,96	7,06	48,1
	C	10,43	19,05	7,44	7,05	43,98
2	A	9,41	18,62	6,29	4,39	38,72
	B	9,25	22,92	6,16	3,66	42
	C	11,02	21,44	7,7	5,71	45,87

DV - deslocamento vazio, INT – interrupções, BC - busca e corte, TOT - tempo total e DC - deslocamento para descarregamento.

Com isso, o número de ciclos para formar os feixes ideais era menor; dessa forma, após a etapa de descarregamento, o trator tinha menor distância entre o ponto onde tinha sido feito a descarga e as próximas árvores a serem abatidas, gerando com isso menor deslocamento vazio, em relação ao subsistema 1.

4.1.2.2. Busca e corte

Não houve diferença estatisticamente significativa entre os subsistemas 1 e 2 em relação a este elemento, porém observou-se que no subsistema

1 o operador procurava formar feixes com maior número de árvores, tendo que muitas vezes deslocar a máquina durante a etapa de busca e corte, pois ele abatia todas as árvores que estavam no seu raio de alcance, sendo necessário deslocar-se, à procura de outras árvores.

Já no subsistema 2, como o número de ciclos para formar o feixe ideal era menor, esses deslocamentos durante a etapa de busca e corte se deram em menor número, reduzindo assim o tempo médio deste elemento em relação ao subsistema 1.

Observou-se que a relação entre o tempo de busca e corte e o volume médio por árvore estava mais ligada ao número de árvores abatidas por ciclo.

4.1.2.3. Deslocamento para o descarregamento

Não houve diferença estatística no tempo de deslocamento para o descarregamento entre os subsistemas 1 e 2, sendo de 6,71 e 7,30 segundos seus tempos gastos, respectivamente.

No entanto, notou-se que, no subsistema 1, formavam-se feixes com maior número de árvores, sendo para isso necessário maior número de ciclos operacionais em relação ao subsistema 2; com isso, muitas vezes, abatendo todas as árvores do seu raio de alcance inicial, o trator tinha que se deslocar à procura de novas árvores, distanciando-se do ponto onde estava sendo formado o feixe, o que originava maior distância de retorno a este ponto para realizar o descarregamento, aumentando com isso o tempo deste elemento.

Um outro detalhe operacional importante foi o ângulo de formação do feixe. No subsistema 1, os feixes eram formados em um ângulo de aproximadamente 45° em relação ao alinhamento de plantio, enquanto no subsistema 2 essa inclinação era de aproximadamente 30° em relação ao alinhamento de plantio. Essa menor inclinação implicava menor movimentação lateral do cabeçote de corte durante o descarregamento, tendendo a gerar com isso redução no tempo do elemento.

Em função das análises estatísticas e das observações de campo, não se visualizou nenhuma influência do volume médio por árvore no tempo de descarregamento, nos níveis estudados.

4.1.2.4. Interrupções

As interrupções foram divididas em técnicas e, ou, mecânicas, operacionais e inerentes ao próprio ciclo de trabalho do Feller-Buncher.

Nesta seção serão abordadas apenas as interrupções inerentes ao ciclo de trabalho do Feller-Buncher, vindo, portanto, a fazer parte do tempo total do ciclo. As outras modalidades de interrupção serão discutidas mais adiante.

Dentre as interrupções inerentes ao ciclo que foram observadas com mais frequência em ambos os subsistemas analisados, podem-se destacar:

- **Apanhar árvore:** se dava quando, ao abater a árvore e tentar acumular no cabeçote de corte, ela escapava, caindo no solo, o que obrigava o operador a apanhá-la, interrompendo o ciclo normal.
- **Rebaixar cepa:** se dava quando, ao realizar o abate da árvore, o operador deixava a cepa resultante acima da altura especificada pela empresa (± 10 cm), devendo realizar o seu rebaixamento posteriormente, interrompendo o ciclo normal.
- **Eliminar sub-bosque:** pelo fato de a floresta estudada ser de 2ª talhadia e não ter sido realizada a roçada pré-corte pela empresa, em alguns pontos, existia um sub-bosque mais desenvolvido, o que obrigava o operador a ir eliminando esse sub-bosque à medida que avançava para o interior do talhão.
- **Arranjar feixe:** essa interrupção acontecia quando, ao descarregar as árvores do cabeçote de corte para formar os feixes, algumas delas ficavam mal posicionadas no feixe, tendo que ser gasto um tempo para reposicioná-las.
- **Deslocamento:** neste tipo de interrupção foi considerado apenas o deslocamento para iniciar novo eito de trabalho. Diferencia-se deste o deslocamento para abastecimento na margem da estrada ou qualquer outro deslocamento ocorrido com o intuito de manutenção ou outra atividade fora do ciclo operacional.

Não houve diferença estatística significativa entre os subsistemas 1 e 2 em relação às interrupções.

Entre os tipos de interrupção especificados anteriormente, observou-se que a maioria aconteceu com aproximadamente a mesma frequência,

independentemente do subsistema adotado, exceto por dois tipos de interrupção que foram observados com maior frequência no subsistema 1. Uma delas foi o arrançamento do feixe; acredita-se, pelas observações de campo, que a maior ocorrência dessa interrupção no subsistema 1 deveu-se ao fato de se procurar acumular maior número de árvores no feixe, assim como procurar formar o feixe o mais compacto possível, visando favorecer o carregamento do feixe pelo Skidder na etapa subsequente.

Assim, muitas vezes algumas árvores ficavam mal posicionadas em relação à inclinação do feixe ou muito espalhadas neste, o que obrigava um arrançamento destas árvores, acarretando maior tempo de retomada do ciclo normal de trabalho.

A outra foi o deslocamento, e o maior tempo gasto com este tipo de interrupção observado no subsistema 1 deveu-se ao método operacional empregado. O Feller-Buncher, em função do direcionamento dos feixes para posterior extração, trabalhava metade de cada eito de corte separadamente, deslocando-se mais vezes para iniciar um novo eito de trabalho no subsistema 1, em relação ao 2.

O que pode explicar o maior tempo apresentado na parcela de 0,079 m³cc/arv é o fato de que nessas parcelas foram encontradas muitas árvores de grande diâmetro, formando touças muito resistentes, que obrigavam o operador a buscar o corte acima da junção destas árvores, fazendo com que ele realizasse o posterior rebaixamento destas cepas, aumentando a frequência deste tipo de interrupção nesta parcela.

4.1.2.5. Tempo efetivo total do ciclo operacional

Não houve diferença estatística significativa entre os subsistemas 1 e 2, porém notou-se que o subsistema 1 apresentou um tempo total cerca de 10% menor em relação ao subsistema 2 (Quadro 5).

Os fatores que levaram a esse resultado foram discutidos separadamente para cada elemento, sendo na sua maioria originários do método operacional empregado em cada subsistema.

Os tempos totais das parcelas de 0,068 m³cc/arv e 0,079 m³cc/arv foram muito próximos e superiores em 4,2 e 3,9% ao da parcela de

0,054 m³cc/arv, o que pode traduzir uma possível tendência de aumento do tempo total do ciclo do Feller-Buncher em função do aumento no volume médio por árvore.

Quadro 5 - Análise estatística dos elementos parciais que compõem o ciclo operacional do Feller-Buncher

Subsistema	Tempo (s)				
	DV	BC	DC	INT	TOT
1	9,97a	22,53a	7,30a	6,78a	46,60a
2	9,89a	20,99a	6,71a	4,59a	42,20a

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

DV - deslocamento vazio, INT – interrupções, BC - busca e corte, TOT - tempo total e DC - deslocamento para descarregamento.

4.1.3. Análise da produtividade do Feller-Buncher

Não houve diferença estatística no rendimento do Feller-Buncher em relação ao número de árvores abatidas por hora de efetivo trabalho, nos subsistemas analisados. Apesar disso, observou-se que, em todos os níveis de volume médio por árvore, o Feller-Buncher, no subsistema 2, apresentou maior número de árvores abatidas por unidade de tempo (Quadros 6 e 7).

Quadro 6 - Rendimento do Feller-Buncher em função do subsistema de colheita

Rendimento	Subsistema 1			Subsistema 2		
	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco A	Bloco B	Bloco C
Arv/he	514,60	481,20	505,20	579,20	518,60	528,50
m ³ cc/he	27,79	32,72	39,91	31,28	35,26	41,75

Arv/he - árvores por hora efetiva de trabalho.

m³cc/he - metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho.

Quadro 7 - Análise estatística do rendimento do Feller-Buncher em função do subsistema de colheita e do volume médio por árvore

Subsistema	Arv/he	m ³ cc/he
1	500,34a	33,47b
2	542,13a	36,10a

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

Arv/he - árvores por hora efetiva de trabalho.

m³cc/he - metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho.

Essa diferença se deveu principalmente ao diferente método operacional empregado em cada subsistema, nos elementos parciais do ciclo de trabalho. O Feller-Buncher no subsistema 2 apresentou tempo total por ciclo 10,42% menor que no subsistema 1, gerando rendimento superior em 8,35%, em relação ao número de árvores abatidas por hora de efetivo trabalho, e ganho de 7,86% em relação ao volume por hora de efetivo trabalho.

Em se tratando do número de árvores por unidade de tempo, observou-se que nas parcelas com menor volume por árvore o rendimento foi maior, devido ao menor tempo gasto por ciclo operacional.

Tanto no subsistema 1 como no subsistema 2, o número de árvores abatidas por hora efetiva decresce quando se passa do nível de 0,054 m³cc/arv para os níveis superiores, devido à diferença no tempo médio por ciclo. O tempo médio por ciclo gasto no nível de 0,054 m³cc/arv foi 4,2 e 3,9% menor que nos níveis de 0,068 m³cc/arv e 0,079 m³cc/arv, respectivamente (Figura 19).

O rendimento do Feller-Buncher em termos de volume por unidade de tempo cresceu à medida que se aumentou o volume médio por árvore, em ambos os subsistemas analisados (Figura 19).

Outros autores, como VALVERDE (1995), DURATEX (1999) e SANTOS (2000), obtiveram resultados semelhantes, indicando que, de modo geral, as máquinas empregadas na etapa de corte são sensíveis aos diferentes níveis de volume médio por árvore, e seu rendimento em termos de volume por unidade de tempo tende a crescer com o aumento do volume médio por árvore.

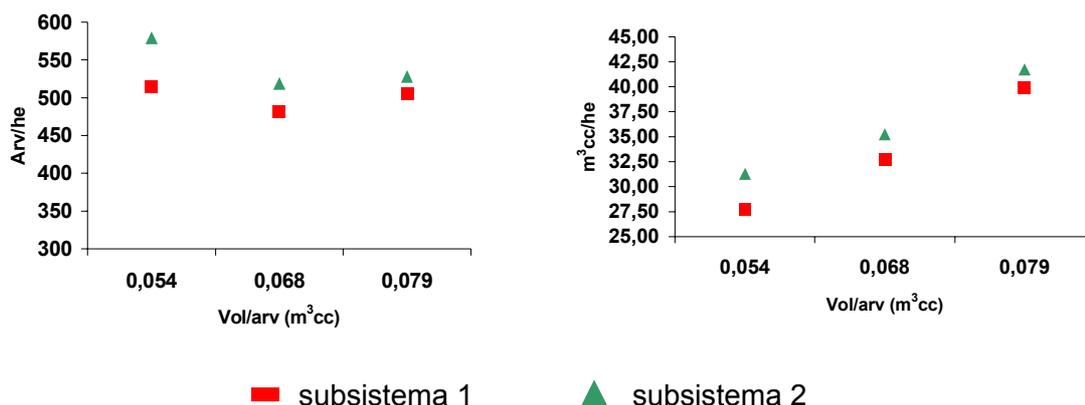


Figura 19 - Comportamento do rendimento do Feller-Buncher em termos de árvores abatidas e volume por hora efetiva.

4.1.4. Determinação das interrupções mecânicas e operacionais nos subsistemas de colheita com Feller-Buncher

No Quadro 8 tem-se uma descrição das interrupções mecânicas e operacionais ocorridas no subsistema 1.

Pode-se notar que as interrupções mecânicas corresponderam a aproximadamente 41,63% do tempo total, enquanto as operacionais, aos 58,37% restantes do tempo total das interrupções.

Entre as interrupções mecânicas, observa-se que aproximadamente 96% do tempo gasto foi relacionado aos cortadores do disco de corte.

Quadro 8 - Tempo gasto e descrição das principais interrupções mecânicas e operacionais do Feller-Buncher no subsistema 1

INTERRUPÇÕES MECÂNICAS E OPERACIONAIS					
Bloco	Mecânicas		Operacionais		Total (h)
	Tempo (h)	Motivo	Tempo (h)	Motivo	
A	0,84	Virar cortadores	1,17	refeição	2,01
B	0,083	Engraxando garra	1,083	refeição	1,17
C	1,17	Trocar cortadores	0,67	refeição	1,84
Total (h)	2,09		2,92		5,02

O Feller-Buncher estudado utiliza no seu cabeçote um disco de corte com 16 cortadores em forma de copo; pelo posicionamento dos cortadores no disco de corte, apenas uma parte da área do cortador entra em contato com a árvore durante a etapa de corte.

Com isso, a empresa adota o seguinte critério de uso dos cortadores: depois de certo número de horas de uso, os cortadores são virados em 90°, posicionando a parte ainda não utilizada para o contato com a árvore.

Após utilizar ambas as partes, os cortadores são afiados na própria oficina da empresa, sendo utilizados mais uma vez, e, então, substituídos por novos cortadores.

As interrupções mecânicas constatadas no subsistema 1 foram principalmente referentes ao reposicionamento e à troca dos cortadores do disco de corte.

As interrupções operacionais foram constituídas na sua totalidade pelo tempo parado para refeição, durante o período de coleta de dados.

O Feller-Buncher no subsistema 1 gastou um total de 26,06 horas de trabalho total e 21,04 horas de trabalho efetivo para realizar a colheita de 701,5 m³cc, atingindo disponibilidade mecânica de 92% e eficiência operacional de 81%.

No Quadro 9 tem-se uma descrição das interrupções mecânicas e operacionais ocorridas no subsistema 2.

Quadro 9 - Tempo gasto e descrição das principais interrupções mecânicas e operacionais do Feller-Buncher no subsistema 2

INTERRUPÇÕES MECÂNICAS E OPERACIONAIS					
Bloco	Mecânicas		Operacionais		Total (h)
	Tempo (h)	Motivo	Tempo (h)	Motivo	
A	0,34	Apertar parafuso da esteira	0,42	Abastecer	0,76
B	0,67	Soldar trincas	0,34	Abastecer	2,29
			1,28	Refeição	
C	2,00	Trocar cortadores	1,00	Refeição	3,00
Total (h)	3,01		3,04		6,05

Observa-se que, do tempo total de interrupções, as interrupções mecânicas corresponderam a aproximadamente 49,7%, enquanto as operacionais, a 50,3%.

Dentre as interrupções mecânicas, destaca-se aquela relativa à troca dos cortadores do disco de corte, que foi responsável por aproximadamente 66% do tempo total.

As interrupções operacionais ficaram divididas entre as pausas para refeição com 75% e abastecimento com 25% do tempo total gasto com este tipo de interrupção.

O Feller-Buncher, no subsistema 2, gastou um total de 25,42 horas de trabalho total e 19,37 horas efetivas de trabalho para realizar a colheita de 692,6 m³cc, atingindo disponibilidade mecânica de 88% e eficiência operacional de 76%.

Não se observou no campo qualquer fator que indicasse tendência a uma maior ou menor ocorrência das interrupções mecânicas ou operacionais devido ao subsistema de colheita adotado.

A maioria dos problemas mecânicos foi resolvida pelos próprios operadores, sem a necessidade de deslocar a máquina do campo, o que colaborou para reduzir o tempo parado do Feller-Buncher.

Considerando o conjunto global dos dados, independentemente do subsistema no qual estava atuando, o Feller-Buncher gastou cerca de 51,48 horas de trabalho total, das quais 40,41 foram de efetivo trabalho, atingindo eficiência operacional da ordem de 78,5%.

4.1.5. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético do Feller-Buncher

O custo operacional do Feller-Buncher foi considerado igual nos dois subsistemas de colheita em que o ele atuou; os detalhes do cálculo do custo operacional são mostrados no Apêndice C.

Considerando-se uma taxa de juros de 12% a.a. e uma eficiência operacional de 80%, chegou-se ao custo/hora efetivamente trabalhada de US\$ 55,27.

Os custos fixos corresponderam a aproximadamente 30,97%, e os custos variáveis, a aproximadamente 67,60% dos custos totais, respectivamente. O custo de administração foi da ordem de 1,43% dos custos totais (Figura 20).

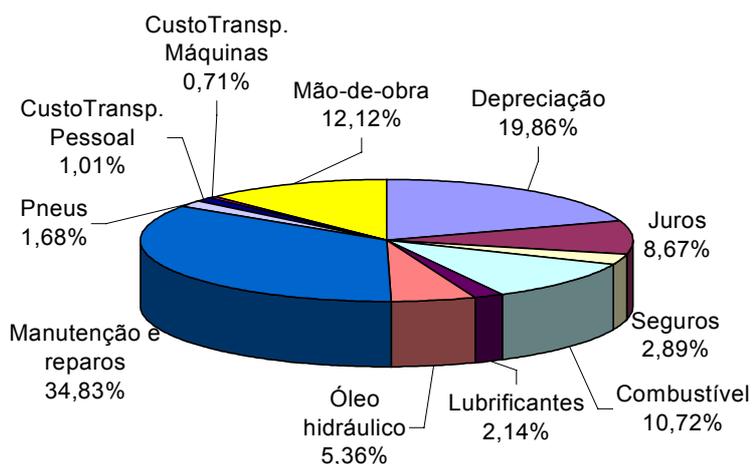


Figura 20 - Distribuição percentual dos itens que compuseram o custo operacional do Feller-Buncher.

No Quadro 10 são dados os custos de produção e o rendimento energético do Feller-Buncher nos subsistemas de colheita em que ele atuou.

Quadro 10 - Custo de produção e rendimento energético do Feller-Buncher, em função do subsistema de colheita e do volume médio por árvore

Bloco	Subsistema 1		Subsistema 2	
	CP	RE	CP	RE
A	1,99	5,24	1,77	4,65
B	1,69	4,45	1,57	4,13
C	1,38	3,65	1,32	3,49

CP = custo de produção (US\$/m³cc) e RE = rendimento energético (g/kW*m³cc).

Considerando que os custos operacionais e o consumo de combustível do Feller-Buncher foram os mesmos para ambos, o que diferenciou os valores de custo de produção e rendimento energético foi a produtividade alcançada pelo Feller-Buncher nos diferentes subsistemas (Quadro 11).

Em ambos os subsistemas, a relação entre a produtividade e o custo de produção foi a mesma, ou seja, à medida que se aumentou a produtividade, o custo de produção decresceu e o rendimento energético se comportou de forma análoga ao custo de produção.

Em relação ao volume médio por árvore, à medida que este aumentou, a produtividade do Feller-Buncher aumentou e os valores do custo de produção e do rendimento energético diminuíram (Figura 21).

Quadro 11 - Análise estatística das variáveis custo de produção e rendimento energético do Feller-Buncher

Subsistema	CP	RE
1	1,69a	4,45a
2	1,55a	4,09a

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

CP = custo de produção (US\$/m³cc) e RE = rendimento energético (g/kW*m³cc).

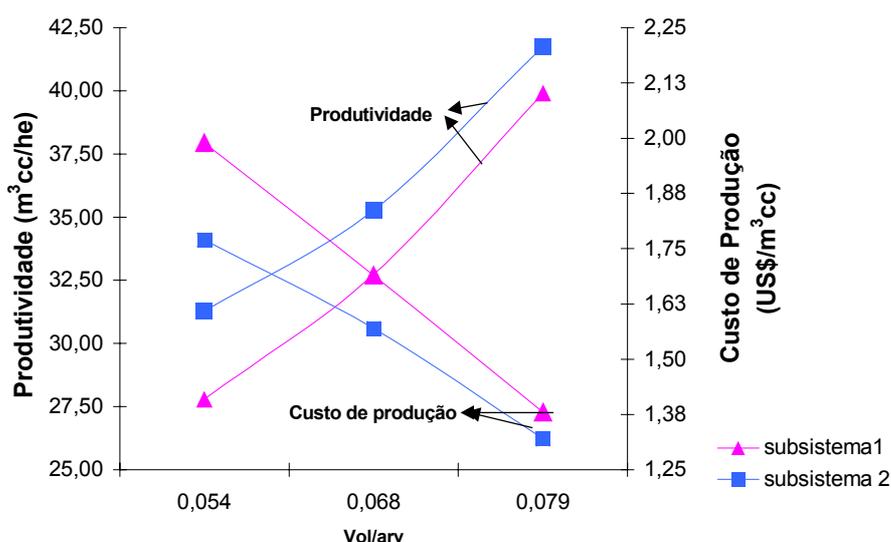


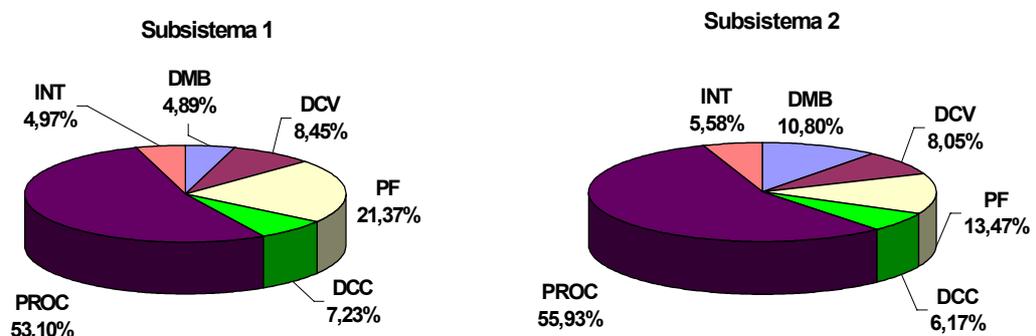
Figura 21 - Comparação entre a produtividade e o custo de produção do Feller-Buncher nos subsistemas analisados.

Resultados semelhantes foram encontrados por VALVERDE (1995) em florestas de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo.

4.2. Resultados gerais do Slingshot

4.2.1. Composição dos elementos parciais do Slingshot nos subsistemas 1 e 2

A constituição média dos elementos do ciclo operacional do Slingshot, nos subsistemas 1 e 2, é mostrada na Figura 22.



DMB - deslocamento da máquina-base, DCC - deslocamento do cabeçote carregado, DCV - deslocamento do cabeçote vazio, PROC - processamento, PF - pega do feixe e INT - interrupções.

Figura 22 - Composição percentual do ftempo total do ciclo operacional do Slingshot nos subsistemas 1 e 2.

Esses valores correspondem a um ciclo operacional de corte composto de aproximadamente 8,0 e 6,67 árvores em média, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.

O elemento parcial que consumiu a maior parte do tempo do ciclo operacional foi o processamento, com 53,10 e 55,93%, o que equivale a um ciclo unitário de 4,22 e 5,61 segundos, ou 33,73 e 37,42 segundos por ciclo total, para os subsistemas 1 e 2, respectivamente.

O elemento pega do feixe veio em seguida, com 21,37 e 13,47% do tempo do ciclo total, correspondendo a 13,58 e 9,02 segundos, para os subsistemas 1 e 2, respectivamente.

O elemento deslocamento da máquina-base representou 4,89 e 10,80% do tempo total do ciclo, com tempos de 3,11 e 7,23 segundos, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.

O elemento deslocamento do cabeçote vazio representou 8,45 e 8,05% do tempo total do ciclo, com tempos de 5,37 e 5,38 segundos, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.

O elemento deslocamento do cabeçote carregado representou 7,23 e 6,17% do tempo total do ciclo, com tempos de 4,59 e 4,13 segundos, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.

O elemento Interrupção foi o que obteve a menor participação no ciclo, com 4,97 e 5,58% do tempo do ciclo total, correspondendo a um tempo médio de 3,16 e 3,73 segundos, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.

O ciclo operacional do Slingshot, dado o conjunto global dos dados, gastou, em média, 63,53 e 66,91 segundos, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente (Quadros 12 e 13).

Quadro 12 - Tempos médios, mínimos e máximos e coeficiente de variação para os elementos componentes do ciclo operacional do Slingshot nos subsistemas 1 e 2

Elemento do Ciclo Operacional	Tempo (s)						Coeficiente de Variação (%)	
	Máximo		Médio		Mínimo		S1	S2
	S1	S2	S1	S2	S1	S2		
DMB	33,00	63,00	3,11	7,23	0,00	0,00	201,19	139,97
DCV	17,00	25,00	5,37	5,38	0,00	0,00	69,27	95,72
PF	54,00	42,00	13,58	9,02	3,00	2,00	61,04	61,20
DCC	17,00	31,00	4,59	4,13	2,00	2,00	55,34	65,37
PROC	76,00	93,00	33,73	37,42	16,00	13,00	28,88	27,36
Efetivo total	174,00	139,00	63,53	66,91	27,00	25,00	27,75	25,03

DMB - deslocamento da máquina-base, DCC - deslocamento do cabeçote carregado, DCV - deslocamento do cabeçote vazio, PROC - processamento e PF - pega do feixe.

Quadro 13 - Tempo médio dos elementos do ciclo operacional do Slingshot, em função dos subsistemas de colheita, e volume médio por árvore

Subsistema	Bloco	DMB	DCV	PF	DCC	PROC	INT	TOT
1	A	2,71	5,78	13,35	4,46	28,60	2,49	57,40
	B	3,72	5,07	15,72	4,75	36,10	4,24	69,60
	C	2,88	5,24	11,66	4,58	36,50	2,74	63,59
2	A	6,82	6,13	8,06	4,43	38,60	4,94	68,98
	B	7,63	3,94	11,04	3,68	34,12	2,88	63,29
	C	7,23	6,08	7,94	4,28	39,55	3,38	68,46

DMB - deslocamento da máquina-base, DCC - deslocamento do cabeçote carregado, DCV - deslocamento do cabeçote vazio, PROC - processamento, PF - pega do feixe e INT - interrupções.

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

Assim, nesses casos, o tempo de deslocamento do cabeçote vazio foi considerado como igual a zero.

Quando a máquina estacionada próximo ao feixe só movimentava o cabeçote de corte para realizar o processamento, era considerado apenas o tempo de deslocamento do cabeçote vazio, sendo então o tempo de deslocamento da máquina-base considerado como igual a zero.

4.2.2. Composição dos elementos parciais do Slingshot no subsistema 3

A constituição média dos elementos do ciclo operacional do Slingshot, considerando os dados globais do subsistema 3, é mostrada na Figura 23.

Esses valores correspondem a um ciclo operacional de corte composto de aproximadamente 7,00 árvores, em média.

Os elementos parciais que consumiram a maior parte do tempo do ciclo operacional foram busca e corte, com 46,93%, seguido de processamento, com

27,99% do tempo total do ciclo, o que equivale a um ciclo unitário de 9,31 e 5,55 segundos, ou 65,15 e 38,85 segundos, por ciclo total, respectivamente.

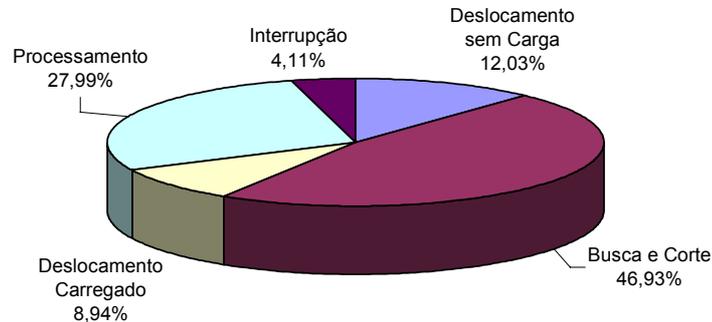


Figura 23 - Composição percentual do tempo total do ciclo operacional do Slingshot no subsistema 3.

Os elementos deslocamento sem carga e deslocamento carregado vieram em seguida, com 12,03 e 8,94% do tempo do ciclo total, correspondendo a 16,70 e 12,41 segundos, respectivamente.

O elemento Interrupção foi o que obteve a menor participação no ciclo, com 4,11% do tempo do ciclo total, correspondendo a um tempo médio de 3,73 segundos.

O ciclo operacional do Slingshot no subsistema 3, dado o conjunto global dos dados, gastou, em média, 138,82 segundos ou 2,31 minutos (Quadro 14).

4.2.3. Análise dos elementos do ciclo operacional do Slingshot

Devido à diferença na função desempenhada pelo Slingshot nos diferentes subsistemas de colheita analisados e, por conseguinte, na particularidade dos elementos parciais correspondentes a cada subsistema, será feita uma avaliação separada do Slingshot em função dos subsistemas de colheita.

No caso dos subsistemas 1 e 2, em que o Slingshot desempenha a mesma função, ou seja, ele realiza apenas o processamento, e como os elementos parciais foram considerados os mesmos, será feita uma análise comparativa do desempenho de cada elemento parcial, em função do subsistema utilizado e dos níveis de volume médio por árvore.

Quadro 14 - Tempos médios, mínimos e máximos e coeficiente de variação para os elementos componentes do ciclo operacional do Slingshot no subsistema 3

Elemento do Ciclo Operacional	Tempo (s)			Coeficiente de Variação (%)
	Máximo	Médio	Mínimo	
DSC	55,00	16,70	5,00	37,30
CB	189,00	65,15	4,00	45,91
DCC	53,00	12,41	3,00	53,10
PROC	90,00	38,85	13,00	26,43
Efetivo total	467,00	138,82	53,00	27,78

DSC - deslocamento sem carga, DCC- deslocamento do cabeçote carregado, CB - busca e corte e PROC - processamento.

Já no caso do subsistema 3, onde o equipamento acumula as funções de derrubada e processamento, assim como a existência de elementos parciais próprios deste subsistema, será feita uma análise separada do desempenho do Slingshot em relação aos elementos parciais do ciclo operacional.

4.2.3.1. Análise dos elementos parciais do Slingshot nos subsistemas 1 e 2

4.2.3.1.1. Deslocamento da máquina-base

O subsistema 1 apresentou menor tempo de deslocamento da máquina-base em relação ao subsistema 2 (Quadro 13).

No subsistema 1, os feixes arrastados pelo Skidder foram posicionados mais próximos uns dos outros do que em relação ao subsistema 2. Por ser menor a distância entre os feixes, era conseqüentemente menor a distância que o Slingshot tinha que se deslocar para processar um novo feixe ao terminar o processamento do feixe anterior, resultando num menor tempo de deslocamento da máquina-base.

Notou-se que esse tempo médio de deslocamento da máquina-base teve relação direta com o número médio de árvores em cada parcela.

Uma possível explicação para esse fato é que, quanto maior o número de árvores na parcela, a tendência é de ser formado maior número de feixes, e, quanto maior o número de feixes, mais próximos eles estarão; com isso, a distância de deslocamento de um feixe para o outro será menor e, conseqüentemente, menor será o tempo gasto neste deslocamento.

4.2.3.1.2. Deslocamento do cabeçote vazio

Os tempos de deslocamento do cabeçote vazio, em relação aos subsistemas de colheita, foram praticamente iguais, o que já era esperado, em razão de este elemento não ser influenciado na sua forma de execução pelo subsistema de colheita utilizado (Quadro 15).

Quadro 15 - Análise estatística dos elementos parciais que compõem o ciclo operacional do Slingshot em função do subsistema de colheita

Subsistema	Tempo (s)						
	DMB	DCV	PF	DCC	PROC	INT	TOT
1	3,10b	5,36a	13,58a	4,59a	33,73a	3,16a	63,53a
2	7,23a	5,38a	9,02b	4,13a	37,42 ^a	3,73a	66,91a

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

DMB - deslocamento da máquina-base, DCC - deslocamento do cabeçote carregado, DCV - deslocamento do cabeçote vazio, PROC - processamento, PF - pega do feixe e INT - interrupções.

Notou-se que esse tempo médio de deslocamento do cabeçote vazio foi inversamente proporcional ao tempo de deslocamento da máquina-base.

Devido ao próprio método de coleta de dados, quando a máquina-base estava se deslocando, era deslocado simultaneamente o cabeçote; então, tendo em vista a impossibilidade de se separar o tempo dos movimentos, optou-se por, nesses casos, computar somente o tempo de deslocamento da máquina-base. Com isso, quanto maior o tempo de máquina se deslocando, menor era o tempo de deslocamento do cabeçote vazio.

4.2.3.1.3. Pega do feixe

Segundo as observações de campo, o tempo gasto do elemento pega do feixe foi influenciado principalmente pelo posicionamento das árvores no feixe.

No subsistema 1, na extração com o Skidder, este, ao pegar o feixe, pela própria ação da pinça traseira, de certa forma o compactava mais em certos casos, sobrepondo algumas árvores em relação às outras; com isso, o Slingshot, ao efetuar o ato de pega das árvores no feixe para iniciar o processamento, tinha em alguns casos que realizar alguns movimentos para desvencilhar uma árvore da outra, o que aumentava o tempo total do elemento.

No subsistema 2, o operador do Feller-Buncher era orientado para formar feixes com menor número de árvores, de modo que estas ficassem mais dispersas no feixe, facilitando a pega pelo Slingshot.

4.2.3.1.4. Deslocamento do cabeçote carregado

Os tempos de deslocamento do cabeçote carregado, em relação aos subsistemas de colheita, foram praticamente iguais, o que já era esperado, tendo em vista as observações de campo, onde este elemento não foi influenciado na sua forma de execução pelo subsistema de colheita utilizado.

Observou-se que os tempos de deslocamento do cabeçote carregado também foram praticamente iguais, independentemente do nível de volume médio por árvore.

4.2.3.1.5. Processamento

Um detalhe observado no campo é que, no subsistema 2, as pilhas formadas pelo processamento com o Slingshot seriam extraídas pelo Forwarder na etapa seguinte, tendo-se a preocupação em formar pilhas mais homogêneas em relação a altura, largura e quantidade de árvores, procurando facilitar a etapa de carregamento pelo Forwarder, que é decisiva para seu rendimento.

Outro ponto é que o subsistema 1 é o atual subsistema em uso pela empresa, sendo o tempo de atuação do operador neste subsistema bem maior em relação ao subsistema 2, que está em teste.

Observou-se que o aumento no tempo do elemento processamento foi proporcional ao aumento no volume médio por árvore, pelo fato de que, quanto maior o volume médio, a tendência é também de aumento no diâmetro e na altura média da árvore, o que implica maior tempo para realizar o seccionamento desta em toras; há também uma tendência em encontrar galhos de maiores diâmetros, aumentando também o tempo de desgalhamento e, com isso, o tempo total de processamento.

4.2.3.1.6. Interrupções

As interrupções foram divididas como no caso do Feller-Buncher.

Dentre as interrupções inerentes ao ciclo de trabalho do Slingshot nos subsistemas 1 e 2, podem-se destacar:

- **Apanhar árvore no carregamento:** se dava quando, após a pega das árvores no feixe, ao se deslocar o cabeçote carregado até o ponto onde seriam formadas as pilhas, alguma árvore escapava, caindo no solo, o que obrigava o operador a apanhá-la, interrompendo o ciclo normal.
- **Apanhar árvore no processamento:** muito similar ao caso anterior; neste caso, quando da movimentação do carrinho desgalhador, ocorria a abertura das garras de fixação e alguma árvore escapava, caindo no solo, o que obrigava o operador a apanhá-la, interrompendo o ciclo normal.
- **Arranjar feixe:** esta interrupção acontecia quando, devido ao mal posicionamento de algumas árvores no feixe antes de iniciar o processamento, o operador procurava ajeitar melhor essas árvores no feixe, gastando-se um tempo para reposicionar estas árvores.
- **Arranjar galhada:** ocorria quando o operador procurava ajeitar melhor a galhada resultante do processamento, procurando evitar que ela ficasse em cima das árvores ainda não processadas.

Em ambos os subsistemas, a ocorrência das interrupções foi equivalente em relação aos seus tipos, e as duas primeiras citadas anteriormente abrangeram praticamente 80% do tempo total das interrupções.

Como nos casos dos tempos dos elementos deslocamento do cabeçote vazio e carregado, os tempos relativos às interrupções foram praticamente iguais.

4.2.3.1.7. Tempo efetivo total do ciclo operacional

Os elementos deslocamento da máquina-base e pega do feixe foram os mais influenciados pelo método operacional de cada subsistema (Quadro 15).

O resultado do elemento processamento no subsistema 1 foi devido diretamente a um melhor desempenho do operador numa parcela isolada, com tempo bem menor que nas restantes, o que propiciou, no conjunto global dos dados, um tempo total menor para o subsistema 1.

É importante acrescentar que o subsistema 1 é o atualmente utilizado pela empresa, o que pode ter influenciado o desempenho do operador, devido ao maior tempo de trabalho neste subsistema.

Observou-se que os maiores tempos médios foram observados nas parcelas de maior volume médio por árvore.

Os tempos totais das parcelas de 0,068 m³cc/arv e 0,079 m³cc/arv foram muito próximos e superiores em 5,14 e 4,48% aos da parcela de 0,054 m³cc/arv, podendo traduzir uma possível tendência ao aumento do tempo total do ciclo do Slingshot em função do aumento no volume médio por árvore.

4.2.3.2. Análise dos elementos parciais do Slingshot no subsistema 3

4.2.3.2.1. Deslocamento sem carga

Este elemento correspondeu a cerca de 12,03% do tempo total do ciclo do Slingshot, com um tempo médio de 16,70 segundos.

Observa-se, pelos dados de campo, que os tempos de deslocamento sem carga não apresentaram tendência que pudesse sugerir que eles foram influenciados pelo volume médio por árvore, tendo uma variação aleatória, de acordo com o desempenho específico do operador em cada parcela.

4.2.3.2.2. Busca e corte

Este elemento foi o mais representativo no ciclo operacional do Slingshot no subsistema 3, correspondendo a cerca de 46,93% do tempo total do ciclo, com um tempo médio de 65,15 segundos.

O tempo deste elemento, segundo os dados de campo, foi influenciado basicamente pelo número de árvores abatidas por ciclo; o maior tempo foi observado na parcela de 0,068 m³cc/arv, justamente onde o número de árvores abatidas por ciclo foi maior em relação às outras parcelas.

4.2.3.2.3. Deslocamento carregado

Este elemento correspondeu a cerca de 8,94% do tempo total do ciclo do Slingshot, com um tempo médio de 12,41 segundos.

Observou-se, pelos dados de campo, que os tempos médios de deslocamento carregado, em relação ao nível de volume médio por árvore, foram praticamente iguais, o que sugere não ter havido qualquer influência do volume médio, nos níveis estudados, no tempo deste elemento.

4.2.3.2.4. Processamento

Este elemento correspondeu a cerca de 27,99% do tempo total do ciclo do Slingshot, com tempo médio de 38,85 segundos.

Observa-se, pelos dados, que o maior tempo de processamento foi observado na parcela de 0,079 m³cc/arv; nas outras parcelas os tempos foram muito próximos, indicando pequena tendência de aumento no tempo de processamento com o aumento no volume médio por árvore.

4.2.3.2.5. Interrupções

Os tipos de interrupção mais encontrados foram os mesmos descritos anteriormente nos subsistemas 1 e 2; pela própria função desempenhada pelo equipamento neste subsistema, também foram observadas interrupções semelhantes àquelas descritas para o Feller-Buncher.

Dentre os tipos de interrupção mais freqüentes, destacam-se: apanhar árvore no carregamento e processamento, ajeitar feixe e rebaixar cepa.

O elemento interrupção foi o menos representativo no tempo total do ciclo, com cerca de 4,11% do tempo total, com tempo médio de 5,71 segundos.

Não se observou qualquer tendência de influência nos tempos de interrupção em função do volume médio por árvore, sendo os tempos muito próximos, independentemente do nível analisado.

4.2.3.2.6. Tempo efetivo total do ciclo operacional

O tempo efetivo total do ciclo de trabalho do Slingshot no subsistema 3 ficou em torno de 138,82 segundos, ou 2,31 minutos, com número médio de 7,00 árvores por ciclo.

Observou-se que os comportamentos dos tempos dos elementos parciais foram muito semelhantes independentemente do nível médio de volume por árvore, exceto no caso do elemento busca e corte, que no nível de 0,068 m³cc/arv apresentou tempo médio superior em 55,93 e 71,61% aos níveis de 0,054 m³cc/arv e 0,079 m³cc/arv, respectivamente. Esse maior tempo gasto neste elemento acabou se refletindo num tempo total no nível de 0,068 m³cc/arv superior em 20,53 e 27,06% aos níveis de 0,054 m³cc/arv e 0,079 m³cc/arv, respectivamente; acredita-se que esse tempo do elemento busca e corte foi influenciado principalmente pelo número de árvores abatidas por ciclo.

4.2.4. Análise da produtividade do Slingshot

Em relação ao número de árvores abatidas por hora efetiva de trabalho, não houve diferença significativa nos rendimentos do Slingshot nos subsistemas 1 e 2 (Quadro 17).

No subsistema 1, o Slingshot apresentou tempo médio por ciclo 5,32% menor que no subsistema 2, gerando rendimento superior em 18,73% em relação ao número de árvores abatidas por hora de efetivo trabalho.

Quadro 16 - Rendimento do Slingshot em número de árvores abatidas e volume por hora efetiva de trabalho

Rendimento	Subsistema 1			Subsistema 2			Subsistema 3		
	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco A	Bloco B	Bloco C
Arv/he	687,1	592,4	593,1	504,8	630,6	441,8	196,1	200,4	197,4
m ³ cc/he	37,10	40,28	46,85	27,26	42,88	34,91	10,59	13,63	15,60

Arv/he - árvores abatidas por hora efetiva de trabalho e m³cc/he - metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho.

Quadro 17 - Análise estatística do rendimento do Slingshot em função do subsistema de colheita

Subsistema	Arv/he	m ³ cc/he
1	624,2a	41,41a
2	525,73a	35,02a
3	197,97b	13,27b

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

Arv/he - árvores abatidas por hora efetiva de trabalho e m³cc/he - metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho.

O desempenho do equipamento no subsistema 3 mostrou-se bem inferior aos subsistemas 1 e 2 em termos de número de árvores abatidas por hora efetiva, o que se deveu às próprias funções diferentes exercidas pelo Slingshot neste subsistema em relação aos outros.

O Slingshot, no subsistema 3, apresentou tempo médio por ciclo 118,51 e 107,47% maior que nos subsistemas 1 e 2, respectivamente, gerando rendimento inferior em 215,30 e 165,56% em relação ao número de árvores abatidas por hora de efetivo trabalho, para os subsistemas 1 e 2, respectivamente.

Observa-se que, apesar de o tempo total ser maior no nível de 0,068 m³cc/arv, o tempo por árvore é o menor, gerando com isso maior número de árvores abatidas por hora efetiva (Figura 24).

Observa-se também que, apesar de o tempo total permanecer praticamente constante entre os níveis de 0,068 m³cc/arv e 0,079 m³cc/arv, o tempo médio por árvore aumentou, gerando com isso menor número de árvores abatidas por hora efetiva de trabalho.

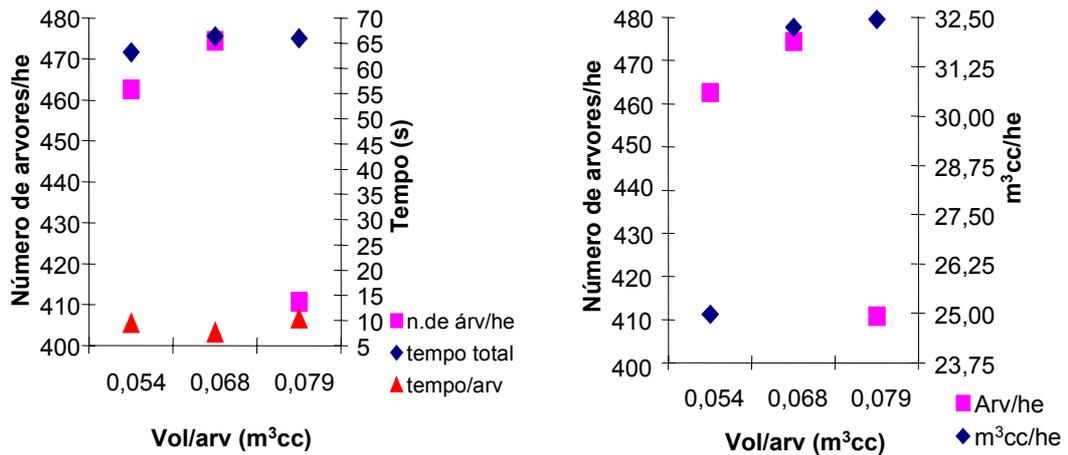


Figura 24 - Tempo total, tempo médio e número de árvores abatidas por hora efetiva de trabalho pelo Slingshot e rendimento em número de árvores abatidas e volume.

Analisando-se o rendimento em termos de volume por unidade de tempo, não houve diferença significativa entre os subsistemas 1 e 2. Apesar disso, notou-se que o subsistema 1 teve rendimento superior em 18,25% em relação ao subsistema 2; essa diferença deveu-se ao menor tempo total, assim como ao maior número de árvores abatidas por ciclo, gerando menor tempo médio por árvore neste subsistema.

O subsistema 3 apresentou queda de 212,05 e 163,90% em relação aos subsistemas 1 e 2, respectivamente. Essa queda no rendimento deveu-se às próprias funções diferentes que o Slingshot desempenhou neste subsistema em relação aos outros.

Com o aumento no volume médio por árvore, houve também aumento no rendimento do Slingshot em termos de volume por unidade de tempo, independentemente do subsistema de colheita.

4.2.5. Determinação das interrupções mecânicas e operacionais nos subsistemas de colheita com Slingshot

No Quadro 18 tem-se uma descrição das interrupções mecânicas e operacionais ocorridas no subsistema 1.

Quadro 18 - Tempo gasto e descrição das principais interrupções mecânicas e operacionais do Slingshot no subsistema 1

INTERRUPÇÕES MECÂNICAS E OPERACIONAIS					
Bloco	Mecânicas		Operacionais		Total (h)
	Tempo (h)	Motivo	Tempo (h)	Motivo	
A	0,00	-----	0,11	Receber instruções	0,11
B	0,83	Conexão do acumulador	0,00	-----	2,08
	1,25	Vazamento da Conexão			
C	5,17	Arrumar disco de corte	1,00	Refeição	9,84
	2,92	Trocar cilindro do Acumulador	0,75	Refeição	
Total (h)	10,17		1,86		12,03

As interrupções mecânicas corresponderam a aproximadamente 84,5% do tempo total, enquanto as operacionais, aos 15,5% restantes do tempo total das interrupções.

Dentre as interrupções mecânicas, observou-se que 100% do tempo gasto foi relacionado a problemas ocorridos no cabeçote de corte.

As interrupções operacionais foram constituídas quase na sua totalidade pelo tempo parado para refeição, durante o período de coleta de dados, sendo apenas aproximadamente 6% do tempo gasto com orientação ao operador.

O Slingshot, no subsistema 1, gastou 29,10 horas de trabalho total e 17,07 horas de trabalho efetivo para realizar a colheita de 701,5 m³cc, atingindo disponibilidade mecânica de 65% e eficiência operacional de 59%.

No Quadro 19 tem-se uma descrição das interrupções mecânicas e operacionais ocorridas no subsistema 2.

Observou-se que, do tempo total de interrupções, as mecânicas corresponderam a aproximadamente 21,3%, enquanto as operacionais, a 78,7% do tempo total das interrupções.

Dentre as interrupções mecânicas, destaca-se que novamente 100% das ocorrências foram relativas ao cabeçote de corte.

Quadro 19 - Tempo gasto e descrição das principais interrupções mecânicas e operacionais do Slingshot no subsistema 2

INTERRUPÇÕES MECÂNICAS E OPERACIONAIS					
Bloco	Mecânicas		Operacionais		Total (h)
	Tempo (h)	Motivo	Tempo (h)	Motivo	
A	0,75	Trocar mangueira do Carrinho desgalhador	1,00	Refeição	1,92
			0,17	Receber instruções	
B	0,00	-----	0,67	Refeição	0,67
C	0,22	Arrumar proteção do Carrinho desgalhador	1,00	Refeição	3,00
			0,67	Abastecer	
			0,083	Receber instruções	
Total (h)	0,97		3,59		4,56

As interrupções operacionais ficaram divididas entre as pausas para refeição, com 74,4%; abastecimento, com 18,6%; e instruções ao operador, com 7,0%, do tempo total gasto.

O Slingshot, no subsistema 2, gastou 24,82 horas de trabalho total e 20,26 horas efetivas de trabalho para realizar a colheita de 692,6 m³cc, atingindo disponibilidade mecânica de 96% e eficiência operacional de 81,6%.

No Quadro 20 tem-se uma descrição das interrupções mecânicas e operacionais ocorridas no subsistema 3.

Observou-se que, do tempo total de interrupções, as mecânicas corresponderam a aproximadamente 59,4%, enquanto as operacionais, a 40,6% do tempo total das interrupções.

Dentre as interrupções mecânicas, destaca-se que 84,5% das ocorrências foram relativas ao cabeçote de corte.

As interrupções operacionais ficaram divididas entre as pausas para refeição, com 91,2%; abastecimento, com 5,0%; e instruções ao operador, com 3,8% do tempo total gasto.

O Slingshot, no subsistema 3, gastou 89,50 horas de trabalho total e 62,71 horas efetivas de trabalho para realizar a colheita de 820,7m³cc, atingindo disponibilidade mecânica de 82% e uma eficiência operacional de 70%.

Quadro 20 - Tempo gasto e descrição das principais interrupções mecânicas e operacionais do Slingshot no subsistema 3

INTERRUPÇÕES MECÂNICAS E OPERACIONAIS					
Bloco	Mecânicas		Operacionais		Total (h)
	Tempo (h)	Motivo	Tempo (h)	Motivo	
A	2,75	Trocar faca desgalhadora	4,00	Refeição	11,84
	0,50	Apertar parafuso da torre			
	2,00	Lavagem e manutenção geral			
	0,13	Vistoriando a máquina	0,42	Abastecer	
	0,12	Colocando batoque na mangueira	0,42	Receber instruções	
	1,5	Trocar mangueira			
B	0,34	Arrumando pedal	2,83	Refeição	9,45
	4,5	Quebra do motor do disco de corte			
	0,083	Apertando parafuso do cabeçote	0,12	Abastecer	
	1,58	Trocar mangueira			
C	1,17	Consertar vazamento	3,08	Refeição	5,50
		Consertar faca desgalhadora			
Total (h)	15,92		10,87		26,79

Independentemente do subsistema de colheita analisado, percebeu-se que a grande maioria das ocorrências de ordem mecânica foi relativa a problemas no cabeçote de corte.

Algumas modificações no cabeçote de corte, como proteções para as mangueiras, foram feitas pela empresa, e outras estão sendo estudadas para diminuir esses problemas.

Os próprios operadores foram os primeiros a iniciar o reparo dos problemas da máquina, ainda no campo, devido ao programa específico de treinamento mecânico desenvolvido pela empresa, o que contribuiu para agilizar o processo de conserto e diminuir o tempo parado da máquina em razão de problemas mecânicos.

Observou-se que, no subsistema 3, houve maior tendência a problemas mecânicos, devido ao fato de neste subsistema, além de a máquina realizar o processamento, ela fazia a derrubada, sendo maior o desgaste do cabeçote de corte.

Considerando o conjunto global dos dados, independentemente do subsistema no qual o equipamento estava atuando, o Slingshot gastou cerca de 143,42 horas de trabalho total, das quais 100,04 em efetivo trabalho, atingindo eficiência operacional da ordem de 69,75%.

4.2.6. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético do Slingshot

Apesar de se utilizar a mesma planilha de custos para o Slingshot nos três subsistemas em que ele atuou, consideraram-se diferentes valores de eficiência operacional para quando o Slingshot realizava apenas o processamento e quando, além disso, fazia também a derrubada.

Com isso, foram obtidos dois custos operacionais diferentes: um que foi o mesmo para os subsistemas 1 e 2 e o outro correspondente ao custo do equipamento no subsistema 3. Os detalhes do cálculo do custo operacional do Slingshot são mostrados no Apêndice C.

Para os subsistemas 1 e 2, considerando-se uma taxa de juros de 12% a.a. e uma eficiência operacional de 77%, chegou-se ao custo/hora efetivamente trabalhada de US\$68,45. Os custos fixos, neste caso, corresponderam a aproximadamente 43,83%, e os custos variáveis, a aproximadamente 54,98% dos custos totais, respectivamente; o custo de administração foi da ordem de 1,20% dos custos totais (Figura 26).

No caso do subsistema 3, considerando-se a mesma taxa de juros e uma eficiência operacional de 74%, chegou-se ao custo/hora efetivamente trabalhada de US\$70,78. Os custos fixos, neste caso, corresponderam a aproximadamente 44,05%, e os custos variáveis, a aproximadamente 54,63%, dos custos totais, respectivamente; o custo de administração foi da ordem de 1,33% dos custos totais (Figura 26).

Nota-se que a estrutura dos custos continuou a mesma, apenas com algumas alterações nos valores percentuais de cada item.

No Quadro 21 são dados os custos de produção e o rendimento energético do Slingshot nos três subsistemas de colheita. Nota-se, pelos dados, que o custo de produção e o rendimento energético no subsistema 1, em geral, foram menores que no subsistema 2, exceto no nível de 0,068 m³cc/arv, em que o subsistema 2 obteve pequena vantagem, porém essa diferença não foi estatisticamente significativa.

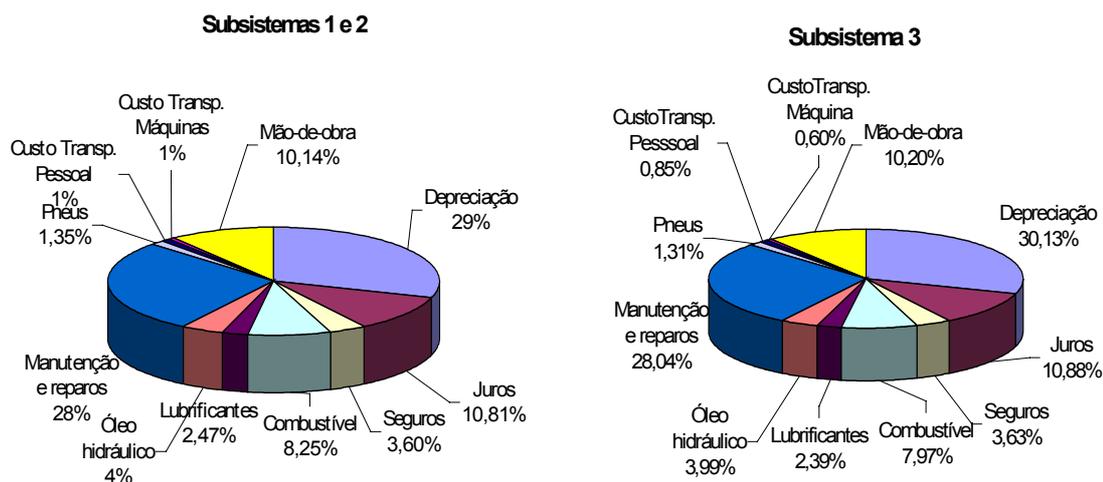


Figura 26 - Distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional do Slingshot nos subsistemas em que ele atuou.

Quadro 21 - Custo de produção e rendimento energético do Slingshot, em função do subsistema de colheita

Bloco	Subsistema 1		Subsistema 2		Subsistema 3	
	CP	RE	CP	RE	CP	RE
A	1,84	3,98	2,51	5,42	6,68	13,96
B	1,70	3,67	1,60	3,45	5,19	10,84
C	1,46	3,15	1,96	4,23	4,54	9,47

CP = Custo de Produção (US\$/m³cc) e RE = Rendimento Energético (g/kW*m³cc).

Como o custo operacional e o consumo de combustível do Slingshot foram considerados os mesmos para os dois subsistemas, o que determinou a variação no custo de produção e no rendimento energético foi a produtividade alcançada pelo Slingshot em cada subsistema.

O maior custo de produção e o pior rendimento energético no subsistema 3 deve-se ao maior custo operacional neste subsistema e, principalmente, à baixa produtividade do Slingshot obtida em relação aos outros subsistemas analisados.

O custo de produção e o rendimento energético decresceram à medida que se aumentou o volume médio por árvore, devido ao aumento na produtividade do Slingshot quando se aumentou o volume médio por árvore. A exceção a esse fato ocorreu no subsistema 2, onde o Slingshot na parcela de 0,068 m³cc/ arv obteve o seu maior rendimento, gerando com isso menor custo de produção e melhor rendimento energético (Quadro 21).

Quadro 22 - Análise estatística das variáveis custo de produção e rendimento energético do Slingshot, em função do subsistema de colheita

Subsistema	CP	RE
1	1,67b	3,60b
2	2,02b	4,37b
3	5,47a	11,42a

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

CP = custo de produção (US\$/m³cc) e RE = rendimento energético (g/kW*m³cc)

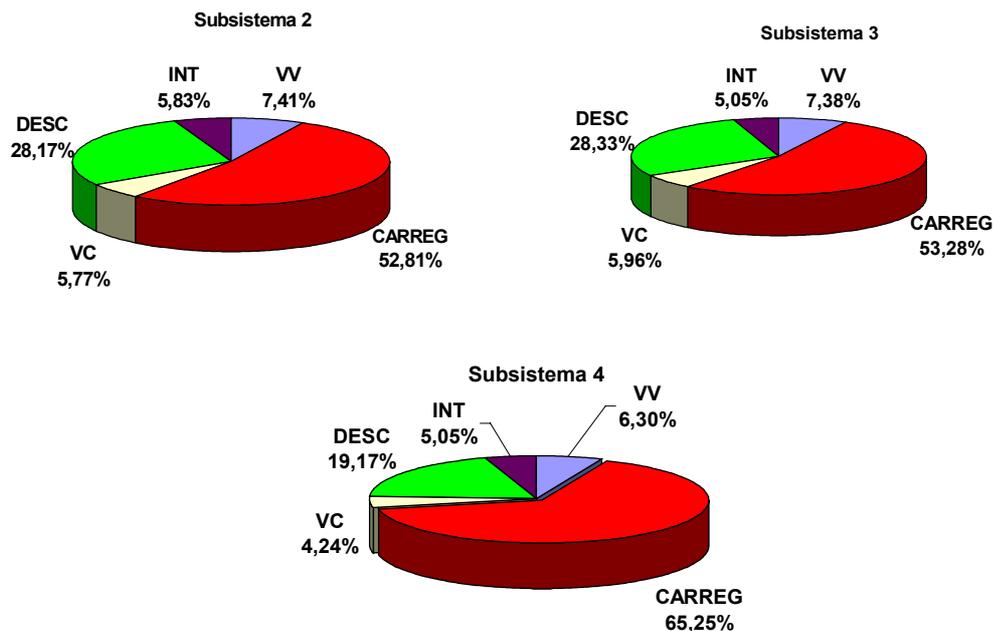
4.3. Resultados gerais do Forwarder

4.3.1. Composição dos elementos parciais do Forwarder nos subsistemas 2, 3 e 4

A constituição média dos elementos do ciclo operacional do Forwarder nos subsistemas 2, 3 e 4 é mostrada na Figura 27. Estes valores correspondem a um ciclo operacional de extração com uma distância média de 122, 129 e 132 metros, para os subsistemas 2, 3 e 4, respectivamente

O elemento parcial que consumiu a maior parte do tempo do ciclo operacional em todos os subsistemas foi o carregamento, com 52,81; 53,28; e 65,25%, do tempo do ciclo total, correspondendo a um tempo médio de 9,13; 8,53; e 16,07 minutos, nos subsistemas 2, 3 e 4, respectivamente.

O elemento descarga veio em seguida, com 28,17; 28,33; e 19,17% do tempo do ciclo total, correspondendo a 4,87; 4,53; e 4,72 minutos, nos subsistemas 2, 3 e 4, respectivamente.



VV - viagem vazio, VC - viagem carregado, CARREG – carregamento, DESC – descarga e INT – interrupções.

Figura 27 - Composição percentual do tempo total do ciclo operacional do Forwarder nos subsistemas 2, 3 e 4.

O elemento viagem vazio representou 7,41; 7,38; e 6,30% do tempo total do ciclo, correspondendo a 1,28; 1,18; e 1,55 minutos, nos subsistemas 2, 3 e 4, respectivamente, com uma distância média de 145,34; 150,76; e 171,1 metros, respectivamente.

O elemento viagem carregado representou 5,77%; 5,96; e 4,24% do tempo total do ciclo, correspondendo a 1,00; 0,95; e 1,04 minutos, nos subsistemas 2, 3 e 4, respectivamente, com uma distância média de 98,38; 106,89; e 93,13 metros, respectivamente.

O elemento interrupção representou 5,83; 5,05; e 5,05% do tempo total do ciclo, correspondendo a um tempo médio de 1,01; 0,81; e 1,24 minutos, nos subsistemas 2, 3 e 4, respectivamente.

O ciclo operacional total do Forwarder foi, em média, de 17,28; 16,00; e 24,62 minutos, nos subsistemas 2, 3 e 4, respectivamente (Quadros 23 e 25).

Quadro 23 - Tempos médios, mínimos e máximos para os elementos componentes do ciclo operacional do Forwarder nos subsistemas 2, 3 e 4

Elementos do Ciclo	Tempo (min)								
	Máximo			Médio			Mínimo		
	S2	S3	S4	S2	S3	S4	S2	S3	S4
VV	2,37	2,25	3,43	1,28	1,18	1,55	0,22	0,20	0,30
CARREG	11,52	11,40	19,80	9,13	8,53	16,07	6,97	6,08	11,70
VC	2,10	2,08	2,53	1,00	0,95	1,04	0,05	0,02	0,03
DESC	7,00	5,73	6,75	4,87	4,53	4,72	3,23	3,00	2,83
Efetivo total	23,33	18,85	31,35	17,28	16,00	24,62	10,88	12,68	17,13

VV - viagem vazio, CARREG - carregamento, VC - viagem carregado e DESC - descarga.

4.3.2. Análise dos elementos do ciclo operacional do Forwarder

4.3.2.1. Viagem vazio

O tempo de Viagem Vazio é influenciado principalmente pela distância média a ser percorrida, bem como pelas condições da trilha, pela declividade do terreno e pela presença de obstáculos, como tocos e sub-bosque.

No Quadro 24 é mostrado o tempo de viagem vazio em função da distância percorrida, nos três subsistemas analisados.

Os sinais positivos do coeficiente da variável distância em todos os modelos indicam que o aumento na distância média ocasiona também aumento no tempo de viagem vazio.

Quadro 24 - Equações para estimar o tempo de viagem vazio do Forwarder nos subsistemas 2, 3 e 4

Subsistema	Equação	R ²	CV (%)
2	$TVV = 0,0980^* + 0,0081^{**} \times Dist$	0,93	12,77
3	$TVV = -0,0572^{***} + 0,0082^{**} \times Dist$	0,95	11,64
4	$LnTVV = -0,7692^{**} + 0,0063^{**} \times Dist$	0,80	78,28

TVV - tempo de viagem vazio (min), R² - coeficiente de determinação, Dist - distância (m) e CV - coeficiente de variação.

** : significativo a 1% de probabilidade, * : significativo a 5% de probabilidade e *** : significativo a 15% de probabilidade.

Observa-se que nos subsistemas 2 e 3 o coeficiente de determinação indica que aproximadamente 93 e 94%, respectivamente, da variação no tempo de viagem vazio em torno de sua média é explicada pela distância, enquanto no subsistema 4 apenas aproximadamente 80% desta variação é explicada pela distância. Isso indica que neste subsistema outros fatores, como a disposição da madeira e as condições de tráfego do Forwarder, representaram maior influência no tempo médio de viagem vazio do que nos outros subsistemas.

A Figura 28 mostra o comportamento do tempo médio gasto na viagem vazio em função da distância.

O maior tempo observado no subsistema 4, segundo as observações de campo, deveu-se à maior distância média de viagem vazio observada neste subsistema.

Além disso, a disposição da madeira na área muitas vezes, pela proximidade das toras da linha de tráfego do Forwarder, fazia com que este tivesse que se deslocar mais lentamente para evitar o contato dos pneus com as toras ou com os tocos, que poderia danificar os pneus.

Nos subsistemas 2 e 3 não houve esse problema, pois as pilhas ficavam mais afastadas da linha de tráfego do Forwarder, facilitando o seu deslocamento.

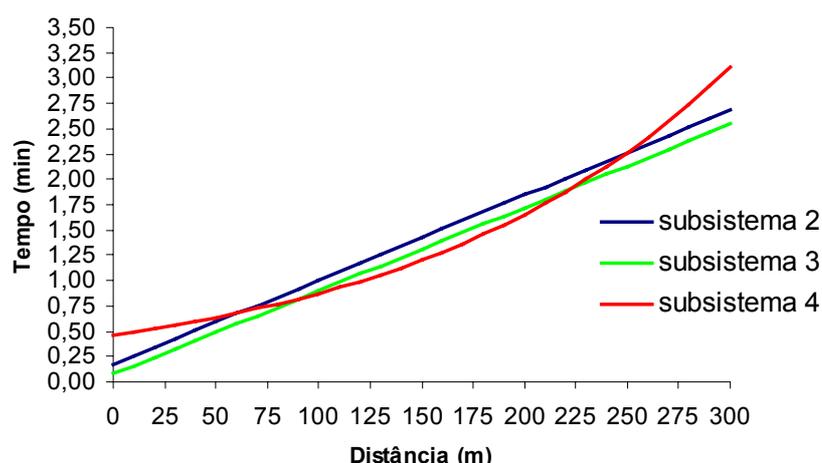


Figura 28 - Tempo de viagem vazio em função da distância percorrida, para o Forwarder, nos subsistemas de colheita analisados.

Quadro 25 - Tempo médio dos elementos do ciclo operacional do Forwarder, em função dos subsistemas de colheita e do volume médio por árvore

Subsistema	Bloco	VV	CARREG	VC	DESC	INT	TOT
2	A	1,25	9,94	0,94	4,92	1,29	18,33
	B	1,10	8,41	0,87	4,70	1,23	16,31
	C	1,49	9,02	1,18	4,99	0,51	17,20
3	A	1,21	8,49	0,90	4,39	0,89	15,88
	B	1,15	7,96	0,91	4,57	0,72	15,32
	C	1,19	9,12	1,05	4,64	0,81	16,81
4	A	1,52	15,97	0,94	4,43	0,99	23,85
	B	1,48	17,35	1,04	5,00	1,56	26,43
	C	1,65	14,87	1,15	4,73	1,18	23,58

VV - viagem vazio, DESC - descarga, CARREG - carregamento, INT - interrupções, VC - viagem carregado e TOT - tempo total.

4.3.2.2. Carregamento

Nota-se que o tempo de carregamento no subsistema 4 mostrou-se bem superior aos dos outros subsistemas. O tempo de carregamento é basicamente influenciado pelo número de deslocamentos durante a carga, ou seja, pelo número de movimentações do trator dentro do talhão até este completar a carga, e pelo número de ciclos da garra, isto é, pelo número de garradas necessário para completar a carga.

No subsistema 4 não eram formadas pilhas como nos outros subsistemas: a madeira era apenas aproximada, formando feixes dispersos pela área; isso ocorreu devido ao método de corte utilizado neste subsistema, que era semimecanizado, sendo o empilhamento realizado manualmente; e, em razão do comprimento das toras, a movimentação destas era difícil.

Com isso, o Forwarder tinha que se deslocar mais vezes durante o carregamento para completar a carga. Esta máquina deslocou-se em média 7,82 vezes durante o carregamento no subsistema 4, enquanto nos subsistemas 2 e 3 esse número foi de 4,92 e 3,78 deslocamentos, respectivamente.

Também o número de ciclos da garra para completar a carga foi maior neste subsistema, sendo em média de 29,01 garradas, enquanto nos subsistemas 2 e 3 esse número foi de 15,7 e 15,56 garradas, em média.

Por causa da dispersão das toras, não se otimizava o ciclo da garra, ou seja, pegava-se menor número de toras do que a capacidade máxima da garra.

Nos subsistemas 2 e 3, o ciclo da garra era mais otimizado, pois a madeira encontrava-se em pilhas bem formadas, sendo possível pegar maior número de toras por ciclo, de acordo com a capacidade máxima da garra.

Em média, observou-se que o aumento no volume médio por árvore ocasionou pequena diminuição no tempo de carregamento. Acredita-se que esse fato deve-se ao aumento no volume médio das pilhas, o que faz com que sejam necessárias menos pilhas para completar a carga do Forwarder e, com isso, menor número de deslocamentos durante o carregamento, o que reduz o tempo total de carregamento.

Quadro 26 - Análise estatística dos elementos parciais que compõem o ciclo operacional do Forwarder

Subsistema	VV	CARREG	VC	DESC	INT	TOT
2	1,28ab	9,12b	0,99a	4,87a	1,01a	17,28b
3	1,18b	8,52b	0,95a	4,53a	0,81a	16,00b
4	1,55a	16,06a	1,04a	4,72a	1,24a	24,62a

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

VV - viagem vazio, DESC - descarga, CARREG - carregamento, INT - interrupções, VC - viagem carregado e TOT - tempo total.

4.3.2.3. Viagem carregado

Os tempos de viagem carregado foram muito próximos em todos os subsistemas, não sendo verificada diferença significativa entre eles.

O tempo de viagem carregado é influenciado pelos mesmos fatores que afetam a viagem vazio. O tempo de viagem carregado em função da distância percorrida, nos três subsistemas analisados, é mostrado no Quadro 27.

Quadro 27 - Equações para estimar o tempo de viagem carregado do Forwarder nos subsistemas 2, 3 e 4

Subsistema	Equação	R ²	CV (%)
2	$TVV = 0,1705^* + 0,0084^{**} \times Dist$	0,93	15,53
3	$TVV = 0,0779^* + 0,0082^{**} \times Dist$	0,93	16,93
4	$TVV = 0,1997^{**} + 0,0087^{**} \times Dist$	0,84	25,29

TVV - tempo de viagem vazia (min), R² - coeficiente de determinação, Dist - distância (m) e CV - coeficiente de variação.

** : significativo a 1% de probabilidade e * : significativo a 5% de probabilidade.

Observa-se que, nos subsistemas 2 e 3, o coeficiente de determinação indica que aproximadamente 92 e 93% da variação no tempo de viagem vazio em torno de sua média é explicada pela distância, enquanto no subsistema 4 apenas aproximadamente 84% desta variação é explicada pela distância. Isso indica que neste subsistema outros fatores, como a disposição da madeira e as condições de tráfego do Forwarder, representaram maior influência no tempo médio de viagem carregado do que nos outros subsistemas.

Em relação ao efeito do volume médio por árvore no tempo de viagem carregado, notou-se que o tempo médio nos níveis de 0,054 m³cc/arv e 0,068 m³cc/arv foram praticamente iguais, porém houve aumento no tempo no nível de 0,079 m³cc/arv.

Tendo em vista o aumento no volume médio das pilhas, torna-se necessário número menor de pilhas para completar a carga da carreta. Com isso, o Forwarder acabava se deslocando menos durante o carregamento, e, quanto menor essa distância média de carregamento, maior será a distância a percorrer carregado até a margem do talhão, a fim de efetuar o posterior descarregamento.

A Figura 29 mostra o comportamento do tempo médio gasto na viagem carregado em função da distância.

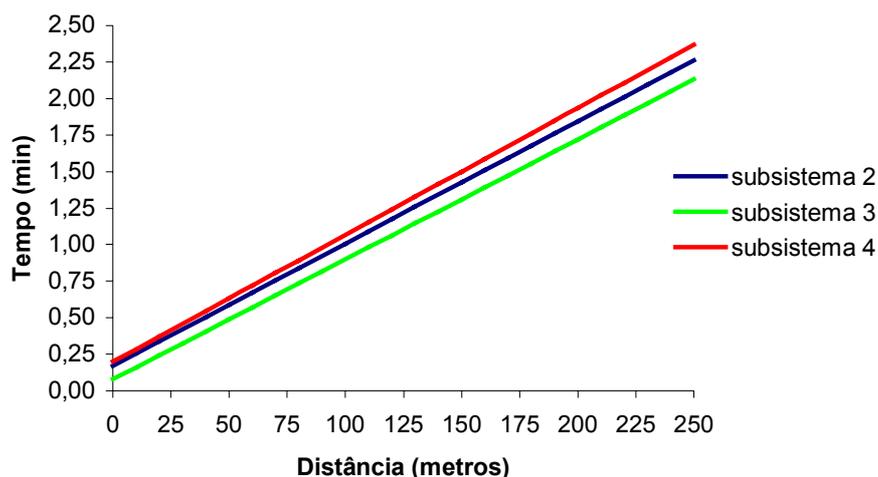


Figura 29 - Tempo de viagem carregado em função da distância percorrida, para o Forwarder, nos subsistemas de colheita analisados.

4.3.2.4. Descarga

Não se observou diferença significativa entre os tempos de descarga nos diferentes subsistemas analisados.

O tempo de descarga é influenciado basicamente pela capacidade da garra, capacidade de carga da carreta e habilidade do operador.

Como neste estudo a máquina e o operador foram os mesmos em todos os subsistemas, essa proximidade nos tempos de descarga, nos diferentes subsistemas, é justificada.

4.3.2.5. Interrupções

As interrupções foram divididas como nos casos anteriores.

Dentre as interrupções inerentes ao ciclo de trabalho do Forwarder nos subsistemas analisados, pode-se destacar:

- **Manobras na estrada:** ocorria tanto no início da viagem vazio quanto no final da viagem carregado; devido à falta de espaço na margem do talhão para formar as pilhas, elas tinham que ser formadas um pouco mais afastadas e, com isso, era necessário que o operador manobrasse a máquina na

estrada, posicionando-a corretamente no local onde seriam formadas as pilhas.

- **Ajeitar carga:** ocorria quando ao efetuar a carga e ao posicionar o feixe de toras na carreta, alguma(s) tora(s) ficava(m) mal posicionada(s), dificultando a correta formação da carga, sendo com isso necessário perda de tempo para ajeitar aquela(s) tora(s).
- **Ajeitar pilha:** muito similar ao tipo de interrupção descrito anteriormente, porém, neste caso, o problema ocorria na descarga, quando da formação das pilhas.
- **Limpar estrada:** ocorria quando, após formar as pilhas, o operador procurava retirar a galhada e algumas toras que caíram na estrada durante o descarregamento.

A interrupção que ocorreu com mais frequência em todos os subsistemas foi a manobra na estrada.

Não se observou diferença significativa entre os tempos médios das interrupções nos subsistemas analisados.

4.3.2.6. Tempo efetivo total do ciclo operacional

Observa-se que os tempos totais do Forwarder nos subsistemas 2 e 3 não foram significativamente diferentes (Quadro 26), porém no subsistema 3 o tempo total mostrou-se 8% menor que no subsistema 2, principalmente devido ao elemento carregamento. Essa diferença, segundo as observações de campo, deveu-se ao menor número de deslocamentos durante o carregamento ocorrido neste subsistema, que foi em média de 3,78, enquanto no subsistema 2 esse número foi de 4,92.

Esse fato ocorreu porque, no subsistema 2, devido à distância entre as pilhas, o Forwarder realizava o carregamento apenas por um lado, enquanto no subsistema 3 ele realizava o carregamento por ambos os lados, sendo necessário, com isso, menor número de deslocamentos para completar a carga.

O subsistema 4 mostrou tempo superior aos outros subsistemas analisados, principalmente em razão da desorganização das pilhas, o que fez com que o Forwarder tivesse que se deslocar mais vezes para completar a carga, assim como realizar maior número de ciclos da garra.

4.3.3. Análise da produtividade do Forwarder

O Forwarder, no subsistema 3, acabou tendo redução média no tempo total do ciclo de 8,00% em relação ao subsistema 2, o que acabou proporcionando rendimento, em termos de volume baldeado, 13,19% superior neste em relação ao subsistema 2, porém essa diferença não foi estatisticamente significativa (Quadro 29).

Quadro 28 - Rendimento do Forwarder nos subsistemas de colheita analisados

Rendimento	Subsistema 2			Subsistema 3			Subsistema 4		
	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco A	Bloco B	Bloco C
m ³ cc/he	29,47	36,22	40,74	34,74	40,44	45,28	22,54	22,79	27,80

m³cc/he - metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho.

O subsistema 4 mostrou rendimento bem inferior aos outros subsistemas - cerca de 64,68 e 45,49% menor que os subsistemas 3 e 2, respectivamente. Acredita-se que, com melhor planejamento da etapa de corte, assim como redução no comprimento das toras, o que facilitaria a movimentação e o arrançamento destas, o rendimento do Forwarder neste subsistema poderia ter ganho expressivo.

Quadro 29 - Análise estatística do rendimento do Forwarder

Subsistema	m ³ cc/he
2	35,47a
3	40,15a
4	24,38b

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

m³cc/he - metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho.

4.3.4. Determinação das interrupções mecânicas e operacionais nos subsistemas de colheita com Forwarder

No Quadro 30 tem-se uma descrição das interrupções mecânicas e operacionais ocorridas no subsistema 2.

As interrupções mecânicas corresponderam a aproximadamente 30,06% do tempo total, enquanto as operacionais, aos 69,94% restantes do tempo total das interrupções.

Quadro 30 - Tempo gasto e descrição das principais interrupções mecânicas e operacionais do Forwarder no subsistema 2

INTERRUPÇÕES MECÂNICAS E OPERACIONAIS					
Bloco	Mecânicas		Operacionais		Total (h)
	Tempo (h)	Motivo	Tempo (h)	Motivo	
A	0,16	Problemas com a temperatura do óleo hidráulico	1,00	Refeição	1,44
			0,28	Abastecer	
B	1,25	Trocar biela da garra	1,00	Refeição	2,25
C	0,00	-----	1,00	Refeição	1,00
Total (h)	1,41		3,28		4,69

As interrupções operacionais foram constituídas quase que na sua totalidade pelo tempo parado para refeição, durante o período de coleta de dados, sendo apenas aproximadamente 8,5% do tempo gasto em abastecimento da máquina.

O Forwarder, no subsistema 2, gastou 24,17 horas de trabalho total e 19,48 horas de trabalho efetivo para realizar a colheita de 692,6 m³cc, atingindo disponibilidade mecânica de 94,2% e eficiência operacional de 80,6%.

No Quadro 31 tem-se uma descrição das interrupções mecânicas e operacionais ocorridas no subsistema 3.

Observou-se que, do tempo total de interrupções, as mecânicas corresponderam a aproximadamente 27,6%, enquanto as operacionais, a 72,4% do tempo total das interrupções.

Quadro 31 - Tempo gasto e descrição das principais interrupções mecânicas e operacionais do Forwarder no subsistema 3

INTERRUPÇÕES MECÂNICAS E OPERACIONAIS					
Bloco	Mecânicas		Operacionais		Total (h)
	Tempo (h)	Motivo	Tempo (h)	Motivo	
A	0,57	Consertando pistão da garra	1,25	Refeição	1,82
B	0,17	Colocando água no radiador	0,00	-----	0,17
C	0,15	Vistoriando a máquina	1,08	Refeição	1,23
Total (h)	0,89		2,33		3,22

As interrupções operacionais foram na sua totalidade devido às pausas para refeição durante o período de coleta dos dados.

O Forwarder, no subsistema 3, gastou 23,50 horas de trabalho total e 20,28 horas efetivas de trabalho para realizar a colheita de 820,7 m³cc, atingindo disponibilidade mecânica de 96,2% e eficiência operacional de 86,3%.

No Quadro 32 tem-se uma descrição das interrupções mecânicas e operacionais ocorridas no subsistema 4.

Observa-se que, do tempo total de interrupções, as mecânicas corresponderam a aproximadamente 40,9%, enquanto as operacionais, a 59,1%.

As interrupções operacionais ficaram divididas entre as pausas para refeição, com 64,9%; abastecimento, com 13,5%; e instruções ao operador, com 21,6% do tempo total gasto com este tipo de interrupção.

O Forwarder, no subsistema 4, gastou 36,58 horas de trabalho total e 26,15 horas efetivas de trabalho para realizar a colheita de 639,3 m³cc, atingindo disponibilidade mecânica de 88,3% e eficiência operacional de 71,5%.

Observou-se que os próprios operadores solucionaram a maioria dos problemas, sendo o conserto realizado no próprio campo, não sendo necessário deslocar a máquina até a oficina central, o que contribuiu para diminuir o seu tempo parado.

Quadro 32 - Tempo gasto e descrição das principais interrupções mecânicas e operacionais do Forwarder no subsistema 4

INTERRUPÇÕES MECÂNICAS E OPERACIONAIS					
Bloco	Mecânicas		Operacionais		Total (h)
	Tempo (h)	Motivo	Tempo (h)	Motivo	
A	0,08	Apertar conexão da grua			5,80
	3,17	Trocar o óleo	1,00	Refeição	
	0,30	Prender mangueira	0,83	Abastecer	
	0,42	Vistoriando a máquina			
B		-----	2,00	Refeição	3,33
	0,00		1,33	Receber instruções	
C	0,30	Trocar porca do rotator	1,00	Refeição	1,30
Total (h)	4,27		6,16		10,43

Em vista das observações de campo, notou-se que, no subsistema 4, o Forwarder atingiu maior número de cepas durante o percurso vazio e carregado, o que ao longo do tempo poderia gerar desgaste precoce dos pneus.

Considerando o conjunto global dos dados, independentemente do subsistema no qual o Forwarder estava atuando, ele gastou cerca de 84,25 horas de trabalho total, das quais 65,91 em efetivo trabalho, atingindo eficiência operacional da ordem de 78,2%.

4.3.5. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético do Forwarder

Foi utilizada a mesma planilha de custos para o Forwarder nos três subsistemas em que ele atuou, sendo, portanto, o custo operacional do Forwarder igual em todos os subsistemas; também o consumo de combustível foi considerado o mesmo, independentemente do subsistema em que o Forwarder estava atuando.

Os detalhes do cálculo do custo operacional do Forwarder são mostrados no Apêndice C. Considerando-se uma taxa de juros de 12% a.a. e uma

eficiência operacional de 80%, chegou-se ao custo/hora efetivamente trabalhada de US\$60,70.

Os custos fixos, neste caso, corresponderam a aproximadamente 47,69%, e os variáveis, a aproximadamente 51,01% dos custos totais, respectivamente; o custo de administração foi da ordem de 1,30% dos custos totais (Figura 30).

No Quadro 33 são mostrados os custos de produção e o rendimento energético do Forwarder nos três subsistemas de colheita. Nota-se, pelos dados, que o custo de produção e o rendimento energético no subsistema 3, em geral, foram menores que no subsistema 2, porém essa diferença não foi estatisticamente significativa.

A Figura 30 ilustra a distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional do Forwarder.

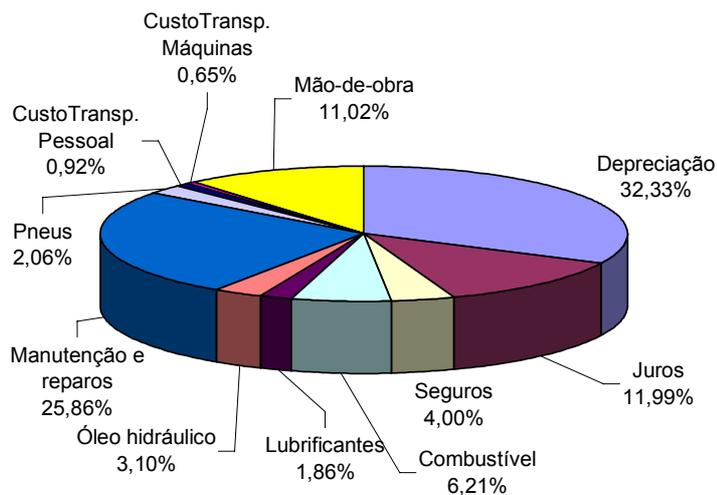


Figura 30 - Distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional do Forwarder.

No subsistema 3, era possível para o Forwarder realizar o carregamento por ambos os lados, o que se traduziu em aumento no valor do seu rendimento e conseqüente redução no custo de produção e no valor do rendimento energético, em relação ao subsistema 2.

Quadro 33 - Custo de produção e rendimento energético do Forwarder

Bloco	Subsistema 2		Subsistema 3		Subsistema 4	
	CP	RE	CP	RE	CP	RE
A	2,06	3,27	1,75	2,77	2,69	4,27
B	1,68	2,66	1,50	2,38	2,66	4,22
C	1,49	2,36	1,34	2,12	2,18	3,46

CP = custo de produção (US\$/m³cc) e RE = rendimento energético (g/kW*m³cc).

O custo de produção e o rendimento energético do Forwarder no subsistema 4 mostraram-se superiores aos dos subsistemas 2 e 3; esse maior custo de produção e pior rendimento energético no subsistema 4 deveram-se à baixa produtividade do Forwarder neste subsistema em relação aos outros subsistemas em que ele atuou (Quadros 33 e 34).

Observa-se, pela Figura 31, que o custo de produção decresceu à medida que se aumentou o volume médio por árvore, em todos os subsistemas analisados; essa tendência deveu-se ao aumento na produtividade do Forwarder quando se aumentou o volume médio por árvore. O comportamento do custo de produção do Forwarder em função do volume médio foi muito semelhante entre os subsistemas 2 e 3; no subsistema 4 houve decréscimo muito pequeno no custo de produção entre os níveis de 0,054 m³cc/arv e 0,068 m³cc/arv e decréscimo mais intenso quando se passou para o nível de 0,079 m³cc/arv.

Quadro 34 - Análise estatística das variáveis custo de produção e rendimento energético do Forwarder

Subsistema	CP	RE
2	1,74b	2,76b
3	1,53b	2,42b
4	2,51a	3,98a

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

CP = custo de produção (US\$/m³cc) e RE = rendimento energético (g/kW*m³cc).

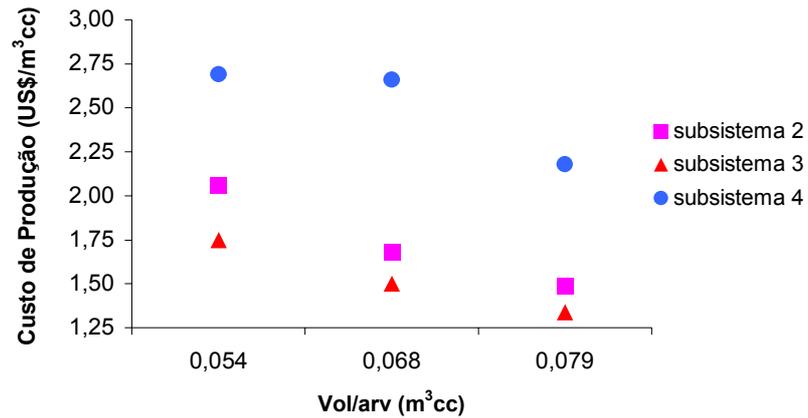


Figura 31 - Comportamento do custo de produção do Forwarder em função do volume médio por árvore nos diferentes subsistemas de colheita analisados.

4.4. Resultados do Skidder

4.4.1. Composição dos elementos parciais do Skidder

A constituição média dos elementos do ciclo operacional do Skidder, considerando os dados globais, é mostrada na Figura 32. Esses valores correspondem a um ciclo operacional de arraste com distância média de aproximadamente 154 metros.

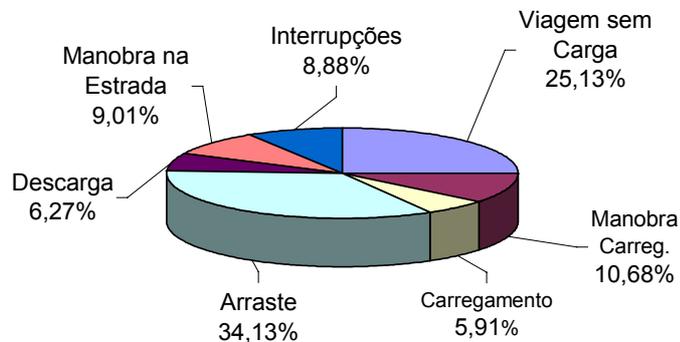


Figura 32 - Composição percentual do tempo total do ciclo operacional do Skidder.

O elemento parcial que consumiu a maior parte do tempo do ciclo operacional foi o arraste, com 34,13%, correspondendo a um tempo médio de 43,78 segundos, com distância média de 154 metros.

O elemento viagem sem carga veio em seguida, com 25,13% do tempo do ciclo total, correspondendo a 32,23 segundos, com uma distância média de 154 metros.

Os elementos manobra para carregamento e manobra na estrada representaram 10,68 e 9,01% do tempo total do ciclo, com tempos de 13,69 e 11,56 segundos, respectivamente.

Os elementos interrupções e descarga participaram com 8,88 e 6,27% do tempo total do ciclo, correspondendo a um tempo médio de 11,39 e 8,05 segundos, respectivamente.

O elemento carregamento foi o que obteve a menor participação no ciclo, com 5,91% do tempo total, correspondendo a um tempo médio de 7,58 segundos.

O ciclo operacional Skidder, dado o conjunto global dos dados, gastou em média 2,14 minutos (Quadro 35).

Quadro 35 - Tempos médios, mínimos e máximos e coeficiente de variação para os elementos componentes do ciclo operacional do Skidder

Elemento do Ciclo Operacional	Tempo (s)			Coeficiente de Variação (%)
	Máximo	Médio	Mínimo	
Viagem sem Carga	76,00	32,23	5,00	42,60
Manobra para Carregamento	42,00	13,69	2,00	51,20
Carregamento	24,00	7,58	3,00	50,92
Arraste	101,00	43,78	5,00	43,33
Descarregamento	21,00	8,05	3,00	44,72
Manobra na Estrada	34,00	11,56	2,00	52,10
Efetivo total	490,00	128,40	26,00	63,60

4.4.2 Análise dos elementos do ciclo operacional do Skidder

4.4.2.1. Viagem sem carga

O tempo de viagem sem carga é influenciado pela distância média a ser percorrida da margem do talhão até o feixe a ser arrastado, pelas condições da trilha, pela declividade do terreno e pela presença de obstáculos, como tocos e sub-bosque.

O modelo linear foi o que melhor explicou o comportamento da variável dependente viagem sem carga em função da variável independente distância; o coeficiente de correlação alto (0,82) indica que a variável distância é altamente correlacionada com o tempo de viagem sem carga.

O tempo de viagem vazio em função da distância percorrida é mostrado a seguir:

Equação	R ²	CV (%)
TVSC = 0,0844 ^{**} + 0,0029 ^{**} xDist	0,68	25,52

TVSC - tempo de viagem sem carga (min), R² - coeficiente de determinação, Dist - distância (m), CV - coeficiente de variação.

** : significativo a 1% de probabilidade.

Observa-se, pelo coeficiente de determinação, que aproximadamente 68% da variação no tempo de viagem sem carga em torno de sua média é explicada pela distância, sendo a variação restante explicada por outros fatores, como as condições de tráfego na trilha, a presença de obstáculos naturais, a declividade do terreno, etc.

O sinal positivo da variável distância indica que, aumentando-se a distância, há aumento no tempo da viagem sem carga; pelo modelo, um aumento de 50 metros na distância provocaria acréscimo de aproximadamente 0,145 minuto no tempo de viagem sem carga.

A Figura 34 mostra o comportamento do tempo médio gasto na viagem vazio em função da distância.

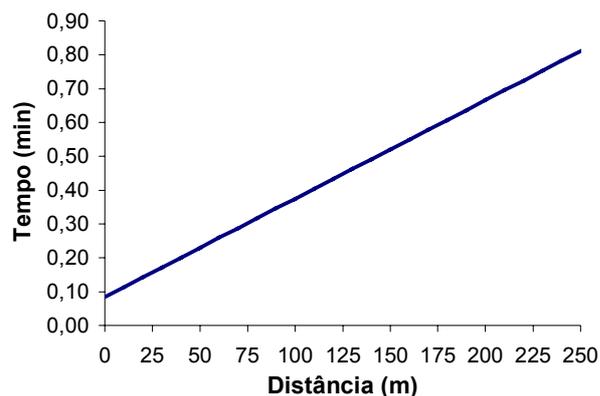


Figura 34 - Tempo de viagem sem carga em função da distância percorrida, para o Skidder.

4.4.2.2. Manobra para carregamento

O tempo deste elemento depende basicamente da habilidade do operador em posicionar o Skidder de maneira adequada para realizar o carregamento; para os feixes mais próximos da estrada, pode-se eliminar este elemento, pois o Skidder deslocava-se de ré na trilha e realizava a etapa de carregamento após a viagem sem carga. Observou-se que os tempos de manobra para carregamento em função dos níveis de volume médio por árvore foram próximos.

4.4.2.3. Carregamento

O tempo deste elemento é influenciado basicamente pela disposição do feixe a ser carregado, ou seja, quanto mais compacto o feixe, menor será a dificuldade de realizar o carregamento e, conseqüentemente, menor o tempo deste elemento.

Os tempos de carregamento nos diferentes níveis de volume médio por árvore foram muito próximos, indicando não haver influência direta do volume médio no tempo de carregamento.

4.4.2.4. Arraste

O tempo de arraste é influenciado basicamente pelos mesmos fatores que afetam a viagem sem carga. O modelo linear foi o que melhor explicou o comportamento da variável dependente arraste em função da variável independente distância; o coeficiente de correlação alto (0,89) indica que a variável distância é altamente correlacionada com o tempo de arraste.

O tempo de arraste em função da distância percorrida é mostrado a seguir:

Equação	R ²	C.V (%)
ARR = 0,07061 ^{**} +0,0043 ^{**} xDist	0,79	20,53

em que

TVSC - tempo de arraste (min), R² - coeficiente de determinação, Dist - distância (m) e CV - coeficiente de variação.

** : significativo a 1% de probabilidade.

Observa-se, pelo coeficiente de determinação, que aproximadamente 79% da variação no tempo de arraste em torno de sua média é explicada pela distância, sendo a variação restante explicada por outros fatores, como as condições de tráfego na trilha, a presença de obstáculos naturais, a declividade do terreno, etc.

O sinal positivo da variável distância indica que, aumentando-a, existe um aumento no tempo de arraste; pelo modelo, um aumento de 50 metros na distância provocaria acréscimo de aproximadamente 0,215 minuto no tempo de arraste.

Nota-se que o tempo de arraste seguiu tendência de aumento de acordo com o aumento no volume médio por árvore, pois, aumentando-se o volume médio por árvore, aumenta-se o volume médio do feixe e, conseqüentemente, o volume médio por ciclo, sendo, com isso, menor a velocidade de deslocamento do Skidder, devido ao maior volume de carga, e maior o tempo de arraste.

A Figura 35 mostra o comportamento do tempo médio de arraste em função da distância.

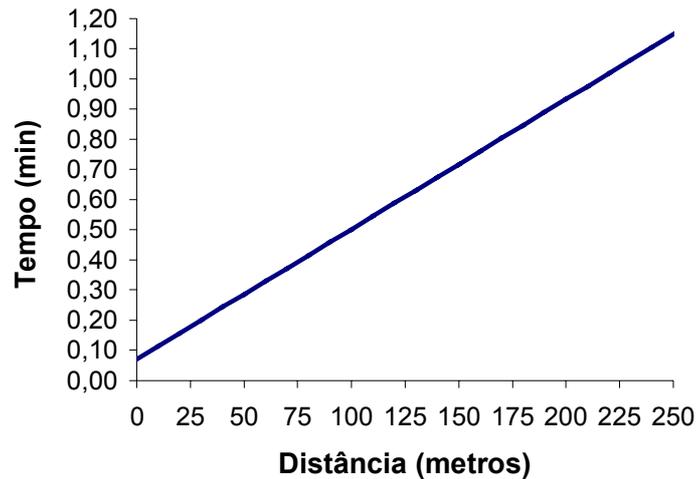


Figura 35 - Tempo de arraste em função da distância percorrida, para o Skidder.

4.4.2.5. Descarregamento

O tempo de descarregamento é afetado, basicamente, pelo espaço na margem do talhão onde serão descarregados os feixes e pela habilidade do operador.

Em relação ao volume médio por árvore, observou-se que os tempos de descarregamento foram muito próximos, independentemente do nível de volume médio por árvore, sendo um pouco inferior na parcela de volume médio de 0,068 m³cc/arv.

4.4.2.6. Manobra na estrada

O tempo de manobra na estrada é influenciado pelo espaço na margem do talhão para realizar a manobra no Skidder após o descarregamento, posicionando-o adequadamente para iniciar a viagem sem carga, e também pela habilidade do operador.

Nota-se que os tempos nas parcelas de 0,054 m³cc/arv e 0,079 m³cc/arv foram próximos, sendo inferior na parcela de 0,068 m³cc/arv, em razão de, nesta parcela, o maior espaço na margem do talhão facilitar a manobra.

4.4.2.7. Interrupções

As interrupções foram divididas como nos casos anteriores.

Dentre as interrupções inerentes ao ciclo de trabalho do Skidder, podem-se destacar:

- **Ajeitar margem do talhão:** ocorria no início do trabalho no talhão, quando o operador procurava desobstruir a margem do talhão onde seriam depositados os feixes arrastados, assim como ajeitar aqueles feixes que estavam mais próximos.
- **Ajeitar feixe no arraste:** ocorria quando, após completar o carregamento e preparar para iniciar a viagem sem carga, algumas árvores escapavam da pinça, sendo necessário realizar novamente a operação de carregamento daquele feixe.
- **Ajeitar feixe no descarregamento:** muito similar ao tipo de interrupção descrito anteriormente, porém, neste caso, o problema ocorria na descarga, uma vez que o feixe ficava mal posicionado, sendo necessário reorganizá-lo.

O maior valor no tempo das interrupções observado na parcela de 0,079 m³cc deveu-se a um problema mecânico na garra do Skidder, quando este atuou nesta parcela, o que, em alguns casos, dificultava o carregamento, gerando tempo maior de interrupção.

4.4.2.8. Tempo efetivo total do ciclo operacional

O tempo efetivo total do ciclo de trabalho do Skidder ficou em torno de 128,40 segundos, ou 2,14 minutos.

Observou-se que o tempo total nas parcelas de 0,054 m³cc/arv e 0,068 m³cc/arv foram próximos, sendo observado tempo ligeiramente superior na parcela de 0,054 m³cc/arv, que apresentou tempos superiores na maioria dos elementos parciais, exceto na manobra para carregamento e arraste.

O tempo total na parcela de 0,079 m³cc/arv foi superior em 26,94 e 20,69% aos tempos totais das parcelas de 0,068 m³cc/arv e 0,054 m³cc/arv; essa diferença se deveu principalmente aos maiores tempos observados nos elementos viagem sem carga, arraste e interrupções.

4.4.3. Análise da produtividade do Skidder

O rendimento do Skidder aumentou de acordo com o aumento no volume médio por árvore. Apesar de o tempo por ciclo no nível de 0,079 m³cc/arv ter se mostrado superior ao dos outros níveis, foi neste nível de volume que o Skidder apresentou o maior rendimento, devido ao maior volume arrastado por ciclo (Quadro 35).

A produtividade do Skidder foi afetada pelo volume médio por árvore e pela distância de arraste. O modelo exponencial foi o que melhor explicou o efeito dessas variáveis independentes sobre a variável dependente produtividade.

Quadro 35 - Rendimento do Skidder em volume arrastado por hora efetiva de trabalho

Rendimento	Bloco A	Bloco B	Bloco C
m ³ cc/he	54,32	65,26	70,34

A equação que relaciona a distância de arraste e o volume médio por árvore com a produtividade do Skidder é mostrada a seguir:

Equação	R ²	CV (%)
$PROD = \text{Exp}(4,1779^{**} - 0,0049^{**} \times \text{Dist} + 10,6964^{**} \times \text{Vol})$	0,64	6,26

em que

Prod - produtividade (m³cc/he), R² - coeficiente de determinação, Dist - distância (m), CV - coeficiente de variação e Vol - volume médio por árvore (m³cc/arv).

** : significativo a 1% de probabilidade.

Observa-se, pelo coeficiente de determinação, que aproximadamente 64% da variação na produtividade do Skidder em torno de sua média é explicada em conjunto pela distância de arraste e pelo volume por árvore.

O sinal negativo do coeficiente da variável distância indica que o aumento na distância média de arraste provoca queda na produtividade do Skidder; por sua vez, o sinal positivo do coeficiente da variável volume por árvore indica que o aumento no volume por árvore provoca acréscimo na sua produtividade.

A Figura 36 ilustra o comportamento da produtividade do Skidder em função das variáveis distância de arraste e volume médio por árvore.

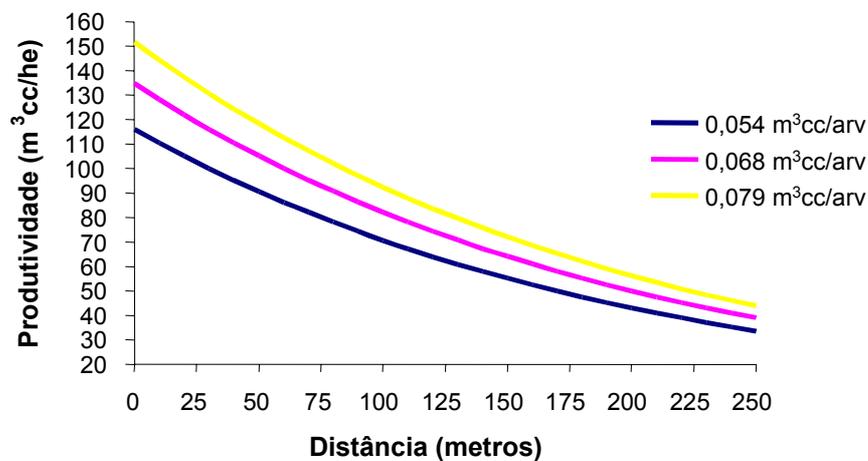


Figura 36 - Comportamento da produtividade do Skidder em função das variáveis distância e volume médio por árvore.

4.4.4. Determinação das interrupções mecânicas e operacionais no subsistema de colheita com Skidder

No Quadro 36 tem-se uma descrição das interrupções mecânicas e operacionais ocorridas com o Skidder.

As interrupções mecânicas corresponderam a aproximadamente 25,15% do tempo total, enquanto as operacionais, aos 74,85% restantes do tempo total das interrupções.

As interrupções operacionais foram divididas em tempo parado para refeição, com 53,6%; abastecimento, com 20%; e desencilhar caminhão, com 26,4% do tempo total gasto com interrupções operacionais, respectivamente.

Quadro 36 - Tempo gasto e descrição das principais interrupções mecânicas e operacionais do Skidder

INTERRUPÇÕES MECÂNICAS E OPERACIONAIS					
Bloco	Mecânicas		Operacionais		Total (h)
	Tempo (h)	Motivo	Tempo (h)	Motivo	
A	0,00	-----	0,67	Refeição	0,92
			0,25	Abastecer	
B	0,42	Apertar mangueira da garra	0,00	-----	0,42
C	0,00	-----	0,33	Desencalhar caminhão	0,33
Total (h)	0,42		1,25		1,67

O Skidder gastou 12,76 horas de trabalho total e 11,09 horas de trabalho efetivo para realizar o arraste de 701,5 m³cc, atingindo disponibilidade mecânica de 96,7% e eficiência operacional de 86,9%.

4.4.5. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético do Skidder

Os detalhes do cálculo do custo operacional do Skidder são mostrados no Apêndice C. Considerando-se taxa de juros de 12% a.a., eficiência operacional de 80% e distância média de arraste de 125 metros, chegou-se ao custo/hora efetivamente trabalhada de US\$42,01.

Os custos fixos, neste caso, corresponderam a aproximadamente 34,65%, e os custos variáveis, a aproximadamente 63,58% dos custos totais; o custo de administração foi da ordem de 1,88% dos custos totais (Figura 37).

No Quadro 37 são mostrados os custos de produção e o rendimento energético do Skidder nos diferentes níveis de volume médio por árvore.

O custo de produção e os valores de rendimento energético decresceram à medida que o volume médio por árvore aumentou; essa tendência se deveu ao aumento na produtividade do Skidder quando se aumentou o volume médio por árvore.

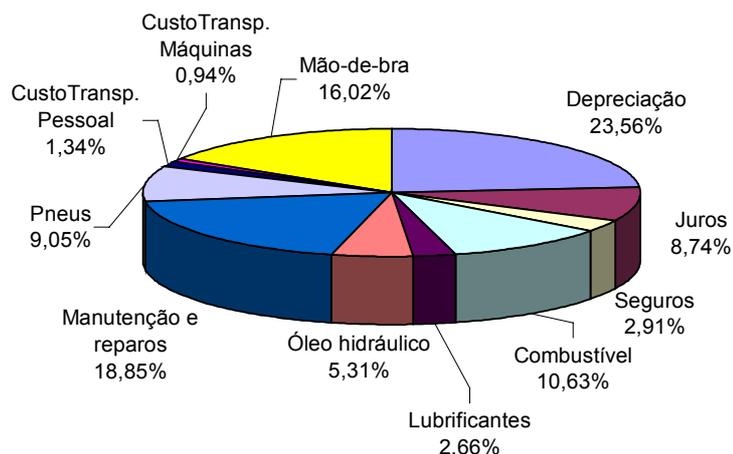


Figura 37 - Distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional do Skidder.

Quadro 37 - Custo de produção e rendimento energético do Skidder

Bloco	CP	RE
A	0,77	2,06
B	0,64	1,71
C	0,60	1,59

CP = custo de produção (US\$/m³cc) e RE = rendimento energético (g/kW*m³cc).

4.5. Resultados do corte semimecanizado

4.5.1. Composição dos elementos parciais do corte semimecanizado

A constituição média dos elementos do ciclo operacional do corte semimecanizado é apresentada na Figura 38; esses valores correspondem ao tempo gasto por árvore.

O elemento parcial que consumiu a maior parte do tempo do ciclo operacional foi o enleiramento, com 26,84%, correspondendo a um tempo médio de 0,279 minuto, seguido do elemento desganhamento, com 26,51%, equivalente a um tempo médio de 0,275 minuto.

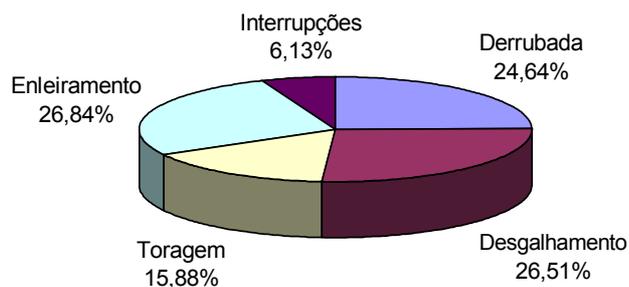


Figura 38 - Composição percentual do tempo total do ciclo operacional de corte semimecanizado.

Em seguida, vieram os elementos derrubada, com 24,64%, e toragem, com 15,88% do tempo do ciclo total, correspondendo a um tempo médio de 0,256 e 0,165 minutos, respectivamente.

O elemento interrupções foi o que obteve a menor participação no ciclo, com 6,13% do tempo total do ciclo, correspondendo a um tempo médio de 0,064 minuto.

O ciclo operacional de corte semimecanizado, dado o conjunto global dos dados, durou em média 1,04 minuto (Quadro 38).

Quadro 38 - Tempos médios, mínimos e máximos e coeficiente de variação para os elementos componentes do ciclo operacional de corte semimecanizado

Elemento do Ciclo Operacional	Tempo (min)			Coeficiente de Variação (%)
	Máximo	Médio	Mínimo	
Derrubada	0,373	0,256	0,210	15,23
Desgalhamento	0,420	0,275	0,230	20,00
Toragem	0,214	0,165	0,140	14,54
Enleiramento	0,380	0,279	0,200	17,20
Efetivo total	1,15	1,04	0,860	10,67

4.5.2. Análise dos elementos do ciclo operacional de corte semimecanizado

4.5.2.1. Derrubada

O tempo de derrubada é influenciado por uma série de fatores, como inclinação do terreno, direção e intensidade do vento, intensidade do sub-bosque, volume individual da árvore, direção de queda da árvore, habilidade do operador, etc.

Esse tempo aumentou à medida que se aumentou o volume médio por árvore; essa tendência de aumento pode ser explicada pelo fato de que, aumentando-se o volume médio, há uma tendência de aumento no diâmetro e na altura da árvore, o que gera maior dificuldade para o abate, assim como para o direcionamento da árvore durante sua queda.

4.5.2.2. Desgalhamento

O tempo de desgalhamento está diretamente ligado ao número de galhos existentes na árvore, assim como às dimensões destes galhos; também a habilidade do operador pode influenciar significativamente o tempo deste elemento.

Os tempos de desgalhamento nas parcelas de 0,054 m³cc/arv e 0,079 m³cc/arv foram muito próximos. Na parcela de 0,068 m³cc/arv este tempo mostrou-se bem superior aos outros. Acredita-se que este maior tempo deveu-se à combinação entre quantidade e dimensões dos galhos encontrados nas árvores desta parcela, ou seja, enquanto no nível mais baixo de volume por árvore o número de galhos por árvore era maior, porém com galhos mais finos, no nível de volume maior a situação era inversa: menor número de galhos por árvores, mas, de maneira geral, com galhos mais grossos.

4.5.2.3. Toragem

O tempo de toragem é afetado principalmente pelas dimensões da árvore, pelo comprimento das toras, pela disposição das árvores após a derrubada e pela habilidade do operador.

Os tempos de toragem foram praticamente iguais em todos os níveis de volume médio por árvore, com pequeno aumento à medida que se aumentou o volume médio por árvore.

Esse pequeno aumento deveu-se mais a um aumento na altura média das árvores, o que acabou gerando maior número de toras e, com isso, maior tempo de toragem por árvore do que o aumento no diâmetro médio dessas árvores.

4.5.2.4. Enleiramento

O tempo de enleiramento é afetado pelas dimensões da árvore, pelo comprimento das toras, pela disposição das árvores após o abate e pela habilidade do operador.

Observa-se que o maior tempo de enleiramento ocorreu na parcela de 0,079 m³cc/arv, devido à existência de árvores de maiores dimensões, o que dificultava a movimentação das toras, em razão do maior peso destas.

Nas parcelas de 0,054 m³cc/arv e 0,068 m³cc/arv, os tempos de enleiramento foram muito próximos. No entanto, foi verificada pequena superioridade no tempo gasto na parcela de 0,054 m³cc/arv, contrariando o esperado, em razão de as árvores serem de menores dimensões; com isso, facilita-se a sua movimentação. Entretanto, o que se observou no campo foi que a qualidade da etapa de derrubada nesta parcela foi ruim, o que fez com que muitas árvores ficassem sobrepostas às outras ou muito dispersas, o que, na etapa de enleiramento, significava a necessidade de maior movimentação delas para formar as leiras.

4.5.2.5. Interrupções

As interrupções foram divididas como nos casos anteriores. Dentre as interrupções inerentes ao ciclo de trabalho de corte semimecanizado, podem-se destacar:

- **Desenganchando árvore:** ocorria quando da derrubada da árvore; devido à ação do vento ou ao erro de direção do operador a árvore ficava enganchada em outras árvores e não completava sua queda.
- **Rebaixar cepa:** se dava quando, ao realizar o abate de uma árvore, o operador deixava a cepa resultante acima da altura especificada pela empresa (± 10 cm), devendo realizar o seu rebaixamento posteriormente, interrompendo o ciclo normal.
- **Eliminar sub-bosque:** ocorria em alguns pontos onde existia um sub-bosque mais desenvolvido; o operador era obrigado a ir eliminando esse sub-bosque à medida que avançava para o interior do talhão.
- **Prender sabre na derrubada:** ocorria quando, no momento na derrubada da árvore, no ato do corte, o sabre da motosserra ficava preso na boca de corte feita pelo operador.
- **Prender sabre na toragem:** similar à interrupção descrita anteriormente, com a diferença que, neste caso, o sabre ficava preso no tronco da árvore no momento em que o operador realizava a sua toragem.

Os tempos das interrupções aumentaram à medida que se aumentou o volume médio por árvore, principalmente pela maior dificuldade observada na etapa de derrubada ocorrida com o aumento nas dimensões das árvores.

4.5.2.6. Tempo efetivo total do ciclo operacional

Verificou-se que o menor tempo efetivo total se deu na parcela de menor volume médio por árvore, como esperado, pois a maioria dos elementos parciais é influenciada pelas dimensões das árvores, como discutido anteriormente.

No entanto, observou-se que o tempo total na parcela de $0,068 \text{ m}^3\text{cc}/\text{arv}$ acabou se mostrando 1,5% maior que na parcela de $0,079 \text{ m}^3\text{cc}/\text{arv}$. Essa diferença deveu-se especificamente ao elemento desgalhamento, que apresentou tempo mais elevado nesta parcela; os tempos de todos os outros elementos mostraram-se inferiores nesta parcela, quando comparados com a parcela de $0,079 \text{ m}^3\text{cc}/\text{arv}$.

4.5.3. Análise da produtividade do corte semimecanizado

O rendimento aumentou de acordo com o aumento no volume médio por árvore. Apesar de o tempo total por ciclo ser menor na parcela de 0,054 m³cc/arv, devido às menores dimensões das árvores, a quantidade de volume de madeira por unidade de tempo acabou sendo menor neste nível, em relação aos outros níveis analisados (Quadro 39).

Caso este subsistema fosse aplicado em escala comercial pela empresa, talvez o comprimento das toras tivesse que ser reduzido, por apresentar desvantagens ergonômicas e operacionais, exigindo grande esforço físico por parte dos operadores para sua movimentação.

Quadro 39 - Rendimento do corte semimecanizado

Rendimento	Bloco A	Bloco B	Bloco C
m ³ cc/he	3,88	4,56	5,48

m³cc/he - metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho.

4.5.4. Determinação das interrupções mecânicas e operacionais no corte semimecanizado

No Quadro 40 tem-se uma descrição das interrupções mecânicas e operacionais ocorridas. As interrupções mecânicas corresponderam a aproximadamente 17,46% do tempo total, enquanto as operacionais, aos 82,54% restantes do tempo total das interrupções.

As interrupções de origem mecânica foram referentes à afiação da corrente da motosserra, com 51,46%, e à afiação do machado, com 48,54% do tempo total.

As interrupções operacionais foram divididas em tempo parado para refeição, com 74,75%; abastecimento, com 13,97%; pausas pessoais, com 10,17%; e arranjar gabarito, com 1,11% do tempo total.

Quadro 40 - Tempo gasto e descrição das principais interrupções mecânicas e operacionais da motosserra

INTERRUPÇÕES MECÂNICAS E OPERACIONAIS					
Bloco	Mecânicas		Operacionais		Total (h)
	Tempo (h)	Motivo	Tempo (h)	Motivo	
A	0,92	Afiar Corrente da Motosserra	7,00	Refeição	11,27
	0,83	Afiar Machado	1,35	Abastecer	
B	1,00	Afiar Corrente da Motosserra	1,17	Pausa Pessoal	11,77
	0,83	Afiar Machado	8,00	Refeição	
C	1,43	Afiar Corrente da Motosserra	1,32	Abastecer	14,24
	1,50	Afiar Machado	1,34	Pausa Pessoal	
			0,34	Arrumar gabarito	
Total (h)	6,51		30,77		37,28

O corte semimecanizado gastou 174,57 horas de trabalho total e 137,30 horas de trabalho efetivo para realizar o processamento de aproximadamente 640,3 m³cc, atingindo disponibilidade mecânica de 96,3% e eficiência operacional de 78,6%.

4.5.5. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético do corte semimecanizado

Os detalhes do cálculo do custo operacional do corte semimecanizado são mostrados no Apêndice C. Considerando-se taxa de juros de 12% a.a. e eficiência operacional de 75%, chegou-se ao custo/hora efetivamente trabalhada de US\$12,43.

Os custos fixos, neste caso, corresponderam a apenas 2,47%, e os variáveis, a aproximadamente 89,54% dos custos totais; o custo de administração foi da ordem de 7,98% dos custos totais. A Figura 39 ilustra a distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional do corte semimecanizado.

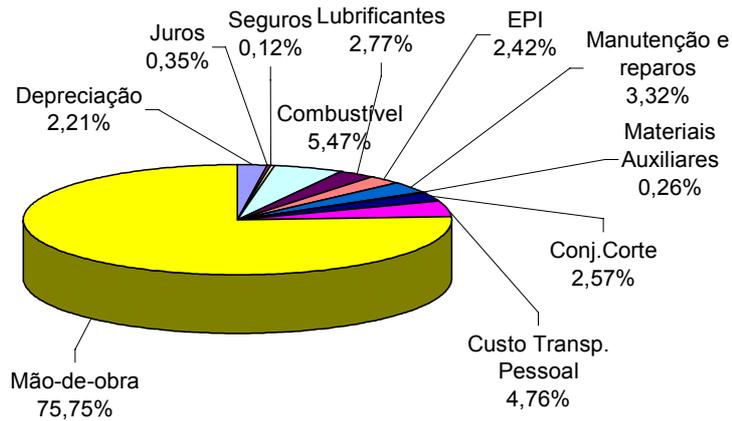


Figura 39 - Distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional do corte semimecanizado.

No Quadro 41 são mostrados os custos de produção e o rendimento energético do corte semimecanizado nos diferentes níveis de volume médio por árvore.

O custo de produção e o rendimento energético decresceram à medida que o volume médio por árvore aumentou; essa tendência se deveu ao aumento na produtividade quando se aumentou o volume médio por árvore (Quadro 41).

Quadro 41 - Custo de produção e rendimento energético do corte semimecanizado, em função do volume médio por árvore

Bloco	CP	RE
A	3,20	51,95
B	2,73	44,20
C	2,27	36,78

CP = custo de produção (US\$/m³cc) e RE = rendimento energético (g/kW*m³cc).

4.6. Resultados finais dos subsistemas de colheita analisados

Serão apresentados neste item os resultados finais dos subsistemas de colheita analisados. Serão discutidos os resultados econômicos, como custo de produção e rendimento energético, e também alguns aspectos técnicos, ressaltando-se as principais vantagens e desvantagens potencial de cada um dos subsistemas analisados, assim como as possibilidades de melhorias em cada subsistema.

4.6.1. Determinação dos custo de produção total e rendimento energético dos subsistemas de colheita analisados

O subsistema 1 apresentou custo de produção total de US\$4,03/m³cc. Aproximadamente 41,93% deste custo foi proveniente da etapa de derrubada com o Feller-Buncher; 16,62%, da etapa de arraste com Skidder; e 41,44%, da etapa de processamento com o Slingshot.

O rendimento energético do subsistema 1 foi de 9,84 g/kW*m³cc, sendo aproximadamente 45,22% deste valor proveniente da etapa de derrubada com o Feller-Buncher; 18,19%, da etapa de arraste com Skidder; e 36,59%, da etapa de processamento com o Slingshot (Quadro 42).

O subsistema 2 apresentou custo de produção médio de US\$5,31/m³cc, sendo aproximadamente 29,19% deste custo proveniente da etapa de derrubada com o Feller-Buncher; 38,04%, da etapa de processamento com o Slingshot; e 32,77%, da etapa de extração com Forwarder.

Quadro 42 - Custo de produção total e rendimento energético do subsistema 1

Subsistema 1	Bloco A		Bloco B		Bloco C		Média	
	CP	RE	CP	RE	CP	RE	CP	RE
Feller-Buncher	1,99	5,24	1,69	4,45	1,38	3,65	1,69	4,45
Skidder	0,77	2,06	0,64	1,71	0,60	1,59	0,67	1,79
Slingshot	1,84	3,98	1,70	3,67	1,46	3,15	1,67	3,60
Total	4,60	11,28	4,03	9,83	3,44	8,37	4,03	9,84

CP = custo de produção (US\$/m³cc) e RE = rendimento energético (g/kW*m³cc).

Quadro 43 - Custo de produção total e rendimento energético do subsistema 2

Subsistema 2	Bloco A		Bloco B		Bloco C		Média	
	CP	RE	CP	RE	CP	RE	CP	RE
Feller-Buncher	1,77	4,65	1,57	4,13	1,32	3,49	1,55	4,09
Slingshot	2,51	5,42	1,60	3,45	1,96	4,23	2,02	4,37
Forwarder	2,06	3,27	1,68	2,66	1,49	2,36	1,74	2,76
Total	6,34	13,34	4,85	10,24	4,77	10,08	5,31	11,22

CP = custo de produção (US\$/m³cc) e RE = rendimento energético (g/kW*m³cc).

O rendimento energético do subsistema 2 foi de 11,22 g/kW*m³cc, com a etapa de derrubada com o Feller-Buncher contribuindo com cerca de 36,45% e a de processamento com o Slingshot, com cerca de 38,95% do valor total; os 24,60% restantes foram provenientes da etapa de extração com Forwarder (Quadro 43).

O subsistema 3 apresentou custo de produção médio de US\$7,00/m³cc, sendo aproximadamente 78,14% deste custo proveniente da etapa de derrubada e processamento com o Slingshot e 21,86% da etapa de extração com o Forwarder.

O rendimento energético do subsistema 3 foi de 13,84 g/kW*m³cc, sendo aproximadamente 82,51% deste valor proveniente da etapa de derrubada e processamento com o Slingshot e 17,49% da etapa de extração com o Forwarder (Quadro 44).

Quadro 44 - Custo de produção total e rendimento energético do subsistema 3

Subsistema 3	Bloco A		Bloco B		Bloco C		Média	
	CP	RE	CP	RE	CP	RE	CP	RE
Slingshot	6,68	13,96	5,19	10,84	4,54	9,47	5,47	11,42
Forwarder	1,75	2,77	1,50	2,38	1,34	2,12	1,53	2,42
Total	8,43	16,73	6,69	13,22	5,88	11,59	7,00	13,84

CP = custo de produção (US\$/m³cc) e RE = rendimento energético (g/kW*m³cc).

O subsistema 4 apresentou custo de produção médio de US\$5,24/m³cc, sendo aproximadamente 52,10% deste custo proveniente da etapa de corte semimecanizado e 47,90% da etapa de extração com o Forwarder.

O rendimento energético do subsistema 4 foi de 48,29 g/kW*m³cc; aproximadamente 91,76% deste custo foi proveniente da etapa de corte semi-mecanizado e 8,24% da etapa de extração com o Forwarder.

Quadro 45 - Custo de produção total e rendimento energético do subsistema 4

Subsistema 4	Bloco A		Bloco B		Bloco C		Média	
	CP	RE	CP	RE	CP	RE	CP	RE
Corte semimecanizado	3,20	51,95	2,73	44,20	2,27	36,78	2,73	44,31
Forwarder	2,69	4,27	2,66	4,22	2,18	3,46	2,51	3,98
Total	5,89	56,22	5,39	48,42	4,45	40,24	5,24	48,29

CP = custo de produção (US\$/m³cc) e RE = rendimento energético (g/kW*m³cc).

Observa-se, pelos dados dos quadros mostrados anteriormente, que o custo de produção e o rendimento energético em todos os subsistemas de colheita estudados apresentaram tendência de decréscimo com o aumento no volume médio por árvore, em todas as suas etapas.

4.6.2. Comparação entre os custos de produção e rendimento energético dos diferentes subsistemas de colheita analisados

O custo de produção e o rendimento energético total de cada subsistema de colheita analisado são mostrados no Quadro 46.

Comparando os subsistemas 1 e 2, observa-se que o subsistema 2 apresentou custo de produção 32,33% maior que o subsistema 1.

Se forem considerados apenas os custos de produção das etapas de derrubada e processamento que foram realizadas com as mesmas máquinas

em ambos os subsistemas, ver-se-á que os custos de produção são muito próximos, e o fator que provocou essa diferença entre os custos de produção dos subsistemas 1 e 2 foi basicamente a etapa de extração.

Quadro 46 - Custo de produção e rendimento energético nos diferentes subsistemas de colheita

Subsistema	Custo de Produção (US\$/m ³ cc)	Rendimento Energético (g/kW*m ³ cc)
1	4,02c	9,83b
2	5,32b	11,22b
3	7,00a	13,85b
4	5,24b	48,29a

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

Comparando os subsistemas 1 e 2, observa-se que o subsistema 2 apresentou custo de produção 32,33% maior que o subsistema 1.

A etapa de extração, no subsistema 1, teve custo de produção médio de US\$0,67/m³cc, enquanto no subsistema 2 este custo foi de US\$1,74/m³cc. Esse maior custo de produção observado deveu-se ao maior custo operacional do Forwarder em relação ao do Skidder, o qual foi cerca de 45,68% maior que o do Skidder, principalmente devido ao maior custo de aquisição do primeiro, o que aumenta os custos fixos deste equipamento em quase 100%, em relação ao Skidder.

Outro fator que afetou diretamente o custo de produção foi a produtividade; o Skidder apresentou produtividade, em termos de volume por unidade de tempo, cerca de 78% maior que a do Forwarder.

Observou-se também que os subsistemas 2 e 4 apresentaram custos de produção praticamente iguais; no subsistema 4, as etapas de derrubada e processamento foram realizadas de forma semimecanizada. Observou-se que o custo de produção destas etapas mostrou-se cerca de 30,77% inferior em relação ao custo de produção das etapas de derrubada + processamento no subsistema 2.

Entretanto, a etapa de extração, que foi realizada pelo Forwarder em ambos os subsistemas, apresentou custo de produção aproximadamente 44,25% superior no subsistema 4, sendo essa diferença basicamente devido à sua menor produtividade neste subsistema, já que o custo operacional do Forwarder foi considerado o mesmo para ambos os subsistemas.

É interessante destacar que o custo de produção do subsistema 4 foi muito afetado pelo custo da mão-de-obra, que correspondeu a cerca de 76% do custo operacional do corte semimecanizado.

O subsistema 3 foi o que apresentou o maior custo de produção, apesar de ser, dos três subsistemas que utilizaram o Forwarder na etapa de extração, aquele em que o Forwarder apresentou o menor custo de produção.

No entanto, a etapa de derrubada e processamento, que foi realizada pelo Slingshot, apresentou alto custo de produção, quando comparada ao custo destas etapas nos outros subsistemas, sendo 62,79; 65,26; e 100,37% superior ao obtido nas etapas de derrubada e processamento nos subsistemas 1, 2 e 4, respectivamente.

Esse maior custo de produção foi consequência do alto custo operacional do Slingshot e, principalmente, da baixa produtividade em termos de volume por unidade de tempo, neste subsistema.

Analisando os subsistemas 1 e 2, observa-se que, como no caso do custo de produção, o rendimento energético das etapas de derrubada e processamento apresentou valores muito próximos nos dois subsistemas, sendo a etapa de extração a que representou a maior diferença entre eles.

Enquanto no subsistema 1 o Skidder obteve rendimento energético médio da ordem de 1,79 g/kW*m³cc, no subsistema 2 o Forwarder teve rendimento energético médio da ordem de 2,76 g/kW*m³cc, o que acabou refletindo um rendimento energético 14,02% melhor no subsistema 1 em relação ao subsistema 2, apesar de essa diferença não ter sido significativa do ponto de vista estatístico.

O rendimento energético depende basicamente do consumo de combustível e da produtividade da máquina. Assim, apesar de o Skidder consumir mais combustível por hora efetiva de trabalho do que o Forwarder, ele apresentou maior produtividade em termos de volume por hora efetiva de trabalho, o que lhe propiciou melhor rendimento energético.

O subsistema 4 apresentou o pior rendimento energético entre todos os subsistemas de colheita analisados, principalmente pela etapa de corte semi-mecanizado, em razão principalmente da baixa produtividade obtida.

Em relação ao comportamento do rendimento energético em função do volume médio por árvore, observa-se que, independentemente do subsistema analisado, o valor do rendimento energético decresceu à medida que se aumentou o volume por árvore.

A Figura 43 ilustra o comportamento do custo de produção e do rendimento energético nos diferentes subsistemas de colheita analisados.

Observa-se que o comportamento do rendimento energético foi muito semelhante ao comportamento do custo de produção em função do volume médio por árvore, em todos os subsistemas analisados.

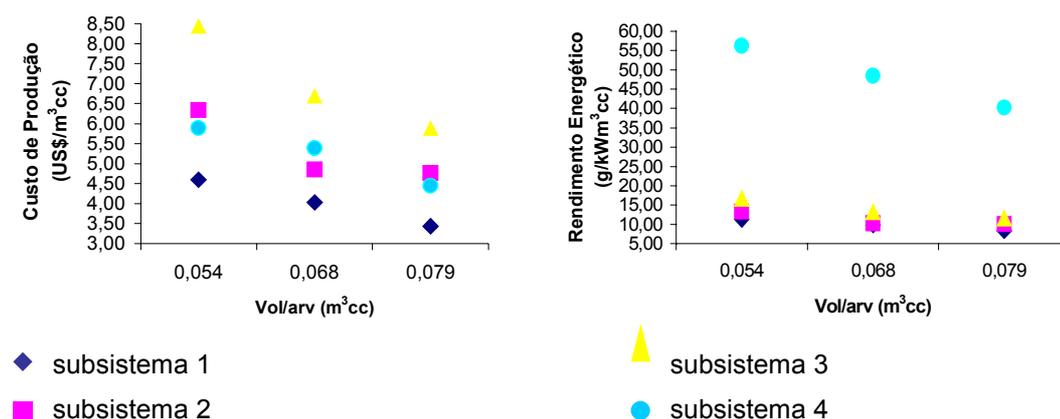


Figura 43 - Comportamento do custo de produção e rendimento energético, nos subsistemas de colheita analisados.

4.6.3. Vantagens e desvantagens dos subsistemas de colheita analisados

Neste tópico, será feita uma descrição de algumas das principais vantagens e desvantagens dos pontos de vista técnico, econômico, social e ambiental de cada subsistema de colheita analisado no presente trabalho.

4.6.3.1. Vantagens e desvantagens do subsistema 1

Entre os subsistemas totalmente mecanizados, o subsistema 1 foi o que apresentou o menor custo de produção e o melhor rendimento energético, principalmente pela alta produtividade apresentada pelas máquinas utilizadas neste subsistema.

O Feller-Buncher e o Skidder são máquinas que apresentam alta disponibilidade mecânica, principalmente o Skidder, sendo mais robustos e menos suscetíveis a problemas mecânicos.

Entre as desvantagens deste subsistema está a alta interdependência entre as máquinas que o compõem, tornando-o mais propenso a pontos de estrangulamento na cadeia produtiva, exigindo planejamento mais elaborado, assim como controle e suporte logístico mais eficientes, a fim de manter uma boa produtividade deste subsistema.

Outro problema apresentado é o acúmulo de resíduos num ponto único do talhão, dificultando o preparo do solo para uma nova implantação, aumentando assim o custo desta etapa.

Como ilustra a Figura 44, a galhada resultante do processamento realizado pelo Slingshot fica acumulada na margem do talhão, formando uma camada espessa de galhos e folhas que dificulta a etapa de preparo da área para a implantação de um novo povoamento.

Outro ponto desfavorável é a maior tendência a danificar as cepas, principalmente durante a etapa de arraste, podendo, com isso, prejudicar as futuras brotações, praticamente inviabilizando o uso deste subsistema em florestas que serão conduzidas.

Uma alternativa de melhoria estudada para este subsistema foi no sentido de tentar amenizar o problema do acúmulo da galhada concentrada na margem do talhão. Essa tentativa consistia na participação do Skidder, que, após o descarregamento do feixe na margem do talhão, ao iniciar a viagem sem carga, procurava, com a ajuda da sua pinça traseira, espalhar mais para o interior do talhão a galhada resultante do processamento.

No entanto, essa alternativa não elimina completamente o problema; além disso, a produtividade do Skidder tendeu a cair significativamente, devido ao aumento no tempo da viagem sem carga com essa operação adicional.



Figura 44 - Condições da área e disposição da galhada após a exploração pelo subsistema 1.

Outra possibilidade de ganho visualizada para este subsistema é na etapa de processamento e consiste em não realizar o desgalhamento da primeira tora de cada árvore processada. Como geralmente a primeira tora tem número pequeno de galhos, evitando-se o desgalhamento dessa primeira tora, tende-se a aumentar o rendimento desta operação, já que ela pode diminuir o tempo total de processamento de cada árvore.

4.6.3.2. Vantagens e desvantagens do subsistema 2

Apesar de este subsistema ter também três máquinas envolvidas no processo, existe maior equilíbrio entre o potencial produtivo, diminuindo a interdependência entre elas, gerando com isso menor possibilidade de pontos de estrangulamento na cadeia produtiva, em relação subsistema 1.

Também se apresenta com um subsistema mais dinâmico, ou seja, caso haja, por exemplo, algum problema com o Feller-Buncher, o Slingshot pode passar a fazer, além da etapa de processamento, também a etapa de derrubada, passando este subsistema a funcionar como o subsistema 3.

Uma vantagem essencial deste subsistema em relação ao subsistema 1 é a eliminação do problema da galhada concentrada num único ponto do talhão, pois, como o processamento é realizado dentro do talhão, a galhada fica mais espalhada pela área, como mostra a Figura 45.



Figura 45 - Disposição da galhada resultante da etapa de processamento, no subsistema 2.

Este subsistema apresenta tendência de causar menos danos às cepas que o subsistema 1, devido principalmente ao método de extração, que é feito através de autocarregamento.

Entre as desvantagens deste subsistema estão o maior custo de produção e o pior rendimento energético, em relação ao subsistema 1.

Apesar de potencialmente causar menos danos às cepas, quando comparado ao subsistema 1, ainda possui um índice de danos considerável, principalmente devido à etapa de derrubada com o Feller-Buncher, o que pode se apresentar como um fator limitante do uso deste subsistema em florestas que serão conduzidas.

Também como no subsistema 1, a alternativa de não realizar o desgalhamento da primeira tora de cada árvore é válida também para o subsistema 2, o que pode contribuir para o aumento no rendimento dessa etapa.

Uma alternativa para melhorar o rendimento da etapa de extração seria alterar o eito de corte do Feller-Buncher de cinco para quatro linhas, o que proporcionaria a possibilidade de o Forwarder realizar o carregamento por ambos os lados, aumentando assim o rendimento desta etapa.

No entanto, essa modificação poderia influenciar o rendimento do Feller-Buncher, devendo ser realizados testes para verificar se o ganho no rendimento da etapa de extração compensaria a possível perda no rendimento da etapa de derrubada.

4.6.3.3. Vantagens e desvantagens do subsistema 3

O subsistema 3 realiza o completo processamento da madeira dentro do talhão, eliminando assim o problema da galhada concentrada num único ponto, deixando os galhos e as folhas dispersos pela área de corte.

Do ponto de vista técnico, apresenta a vantagem de o número de máquinas utilizadas no processo produtivo ser menor em relação aos subsistemas 1 e 2, o que facilita o planejamento e controle das operações.

Entre os subsistemas totalmente mecanizados, analisados neste trabalho, foi o que apresentou o menor potencial de danos às cepas, o que poderia qualificá-lo para ser utilizado em florestas que seriam conduzidas.

Também apresenta potencial para ser utilizado em florestas de alta produtividade, substituindo o Harvester no processamento, trazendo com isso a possibilidade de um subsistema único tanto em florestas de alto fuste quanto em florestas sob regime de talhadia.

Entre as desvantagens, pode-se destacar que este subsistema foi o que apresentou o maior custo de produção e o pior rendimento energético, de todos os subsistemas analisados, principalmente na etapa de derrubada e processamento, realizada com o Slingshot.

Foi observada maior tendência de problemas mecânicos no Slingshot neste subsistema, em relação aos outros em que a máquina atuou.

Do ponto de vista social, tem como desvantagem exigir menor quantidade de mão-de-obra que nos subsistemas 1 e 2.

Também a mesma alternativa apresentada nos subsistemas 1 e 2, de não realizar o desgalhamento da primeira tora de cada árvore, pode ser utilizada neste subsistema, trazendo os mesmos benefícios destacados anteriormente para os outros subsistemas.

4.6.3.4. Vantagens e desvantagens do subsistema 4

Este subsistema não apresenta o problema da galhada concentrada num único ponto do talhão. Além disso, apresenta baixo potencial de danos às cepas, podendo ser empregado em florestas que serão conduzidas, bem como ser utilizado em florestas de alta produtividade, o que o torna flexível nesse sentido. Devido à maior necessidade de mão-de-obra, abre campo para novos empregos, o que, do ponto de vista social, pode ser considerado uma vantagem.

Entre as desvantagens deste subsistema pode-se destacar a baixa produtividade, observada principalmente na etapa de derrubada e processamento, quando comparado aos subsistemas totalmente mecanizados.

Para atender a níveis altos de produção, é necessário grande contingente de mão-de-obra, o que, em regiões onde ela é escassa, pode representar um entrave na utilização deste subsistema, além do alto custo dessa mão-de-obra.

As próprias dimensões da madeira podem ser limitantes do uso deste subsistema, tendo em vista a necessidade de grande esforço físico por parte dos trabalhadores envolvidos, podendo gerar riscos para a sua saúde.

O subsistema também se torna mais sensível às condições climáticas, podendo ter o seu rendimento reduzido em grandes proporções sob condições adversas.

Com melhor planejamento da operação e treinamento da mão-de-obra neste subsistema específico, pode-se aumentar significativamente o rendimento da etapa de extração, principalmente em relação à organização da madeira na área de corte, o que pode ser melhorado, diminuindo com isso o custo final deste subsistema.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este estudo foi conduzido em povoamentos de eucalipto de uma empresa florestal do Estado de São Paulo, com o objetivo central de analisar técnica e economicamente quatro subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação. Os subsistemas estudados foram: subsistema 1) Feller-Buncher + Skidder + Slingshot; subsistema 2) Feller-Buncher + Slingshot + Forwarder; subsistema 3) Slingshot + Forwarder; e subsistema 4) Corte semimecanizado + Forwarder.

A análise técnica consistiu de um estudo de tempos e movimentos, com o objetivo de identificar e analisar os elementos do ciclo operacional de cada máquina estudada, bem como suas interrupções. Outros parâmetros técnicos determinados foram a produtividade, a disponibilidade mecânica e a eficiência operacional de cada máquina dentro de cada subsistema de colheita específico. A análise econômica consistiu na determinação dos custos operacionais, de produção e do rendimento energético de cada máquina, assim como de cada subsistema de colheita como um todo.

Foram efetuadas análises de variância e testes de média para cada elemento parcial do ciclo, a fim de comparar as produtividades, os custos de produção e o rendimento energético das máquinas dentro de cada subsistema, bem como para comparar os resultados totais de cada subsistema.

Com base na análise e discussão dos resultados, as principais conclusões foram:

- O subsistema 1 foi o que apresentou o menor custo de produção nas condições estudadas; em contrapartida, apresentou o maior número de desvantagens dos pontos de vista técnico e ambiental.
- O subsistema 3 apresentou o maior custo de produção, principalmente em razão da baixa produtividade da etapa de derrubada e processamento com o Slingshot, quando comparado ao seu rendimento nos outros subsistemas.
- O subsistema 4 foi o que apresentou o pior rendimento energético, devido principalmente à baixa produtividade na etapa de corte semimecanizado, quando comparado aos outros subsistemas analisados.
- A produtividade de todos os subsistemas analisados teve tendência de crescimento com o aumento no volume médio por árvore.
- Todos os subsistemas de colheita estudados apresentaram potencial de melhorias em algumas das suas etapas.

Chegou-se à conclusão final de que todo e qualquer subsistema de colheita a ser utilizado é influenciado por grande variedade de fatores; portanto, não existe uma receita fixa que indica qual subsistema se deve utilizar. O que deve ser feito é escolher o subsistema que mais se adequa às condições locais, buscando com isso atingir as metas de eficiência e produtividade, a um baixo custo e sem efeitos negativos para a sociedade e o meio ambiente.

6. RECOMENDAÇÕES

- Estudar melhor a alternativa de amenizar o problema da galhada no subsistema 1, a fim de obter mais dados acerca da influência no rendimento do Skidder.
- Realizar o monitoramento dos subsistemas 2 e 3, acompanhando a evolução no seu desempenho, com o aumento no grau de experiência da mão-de-obra nestes subsistemas específicos.
- Obter mais informações sobre o efeito do não-processamento da primeira tora de cada árvore no rendimento do Slingshot, em todos os subsistemas em que ele foi utilizado.
- Intensificar o programa de treinamento dos operadores, principalmente em relação aos aspectos mecânicos e de manutenção das máquinas utilizadas, visando à diminuição do índice de problemas mecânicos apresentados por elas.
- Proceder a estudos sobre a influência do comprimento das toras no rendimento do subsistema 4, assim como realizar melhor planejamento das atividades deste subsistema.
- Realizar estudos sobre outros aspectos dos subsistemas analisados, como análises ergonômicas, possíveis impactos ambientais causados por cada subsistema, entre outros, seguindo metodologias bem definidas e próprias para cada situação.

- Avaliar outros subsistemas, como um subsistema similar ao subsistema 2, no qual o desgalhamento é feito de forma manual, com o uso do machado; um outro seria aquele em que se utiliza uma máquina denominada "Garra Traçadora" para realizar o processamento da madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, S.C. **Avaliação técnica, social, econômica e ambiental de dois subsistemas de colheita florestal no Litoral Norte da Bahia**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 125p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- BARNES, R.M. **Motion and time study: design and measurement of work**. 6.ed. New York: John Willey & Sons, 1968. 799p.
- CONWAY, S. **Logging practices; principles of timber harvesting systems**. São Francisco, Miller Freeman, 1976. 416p.
- DUARTE, R.C. del G. **Sistemas de corte florestal mecanizado**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 21p. Monografia (Exigência para conclusão do curso de Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- DURATEX, Equipe técnica. Colheita da Madeira em Florestas com Baixo Volume por Árvore. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 4, 1999, Campinas. **Anais.....**Campinas: Sociedade de Investigações Florestais, 1999. p.54-72.
- FERNANDES, I.M.; TIBÚRCIO, V.C.S. A utilização do alto grau de mecanização em subsistemas de exploração florestal de *Pinus* spp. In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1987. p.144-148.
- FIEDLER, N. C. **Avaliação ergonômica de máquinas utilizadas na colheita de madeira**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.

- GARLIPP, R.C.D. O *boom* da certificação florestal: é preciso garantir a credibilidade. **Revista Silvicultura**, v.17, n.61, p.17-22, 1995.
- HAKKILA, P.; MALINOVSKI, J.R.; SIREN, M. Tendências atuais e perspectivas futuras dos subsistemas de extração florestal. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO, 7, 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1992. p.172-193.
- JACOVINE, L.A.G.; MACHADO, C.C.; REZENDE, J.L.P.; SOUZA, A.P. Reflexos da má qualidade na colheita florestal semi-mecanizada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 3, 1997, Vitória. **Anais....** Vitória: Sociedade de Investigações Florestais, 1997. p.296-308.
- MACHADO, C.C. **Exploração florestal, 2.** Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1981. 15p.
- MACHADO, C.C. **Exploração florestal, 6.** Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1989. 34p.
- MACHADO, C.C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal.** Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1984. 138p.
- MACHADO, C.C.; CASTRO, P.S. **Exploração florestal, 4.** Viçosa: UFV, 1985. 32p.
- MEDEIROS, V.X.; FONTES, R.M. Competitividade das exportações brasileiras de celulose no mercado internacional. **Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural**, v.32, n.2, p.105-121, 1994.
- MENDO, J.L.L. Desenvolvimento de máquinas utilizáveis na exploração florestal. In: In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, 2, 1991 Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: 1991. p.53-56.
- MENDONÇA FILHO, W.F. Abate de árvores totalmente mecanizado. In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS,. 1987, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1987. p.361-385.
- MOREIRA, F.M.T. **Mecanização das atividades de colheita florestal.** Viçosa, MG: UFV, 1998, 25p. Monografia (Exigência para conclusão do curso de Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- PIRES, B.M. **Evolução dos subsistemas de corte em florestas plantadas.** Viçosa, MG: UFV, 1996. 25p. Monografia (Exigência para conclusão do curso de Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.

- REIS, M.G.F.; REIS, G.G. A contribuição da pesquisa florestal para a redução de impactos ambientais dos reflorestamentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1993, Belo Horizonte. **Anais....** Viçosa: SIF, 1993. p.119-135.
- REIS, M.G.F.; REIS, G.G. O reflorestamento e seus impactos ambientais. In: ENCONTRO TÉCNICO FLORESTAL, Belo Horizonte, 1994. 17p.
- ROCHA FILHO, H. **Análise de fatores que afetam o desempenho e custo de extração de madeira de eucalipto com caminhão autocarregável.** Viçosa, MG: UFV, 1993, 108p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- SALMERON, A. A mecanização da exploração florestal. Piracicaba: IPEF, 1980. (Circular Técnico,88).
- SALMERON, A. Exploração florestal. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Formação, manejo e exploração de florestas com rápido crescimento.** Brasília, 1981. p.83-123.
- SANTOS, S.L.M. **Sistema de apoio à decisão em colheita florestal.** Viçosa, MG: UFV, 2000. 83p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- SANTOS, S.L.M. **Alocação ótima de máquinas na colheita de madeira.** Viçosa, MG: UFV, 1995. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- SEIXAS, F. **Estudo comparativo entre dois subsistemas operacionais de exploração de madeira utilizando toras com diferentes comprimentos.** Campinas: UNICAMP, 1985. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Campinas, 1985.
- SILVA, E. Aspectos políticos e sociais dos impactos ambientais das operações de colheita e transporte florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2, 1995, Salvador. **Anais...** Salvador: SIF, 1995. p.14-27.
- SOARES, C.P.B. **Um modelo para o gerenciamento da produção de madeira em plantios comerciais de eucalipto.** Viçosa, MG: UFV, 1999. 71p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- SOBRINHO, V.F. A importância do Brasil no mercado internacional de madeira e derivados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2, 1995, Salvador. **Anais...** Salvador: SIF, 1995. p.52-63.

- SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C. Estudo ergonômico em operações de exploração florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 1, 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1991. p.198-226.
- SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C. **Exploração florestal**. Viçosa: SIF/UFV, 1985. 24p. (Boletim técnico, 1).
- TANAKA, O.P. Exploração e transporte da cultura do eucalipto. **Informe Agropecuário**, n.141, p. 24-30, 1986.
- VALVERDE, S.R. **Análise técnica e econômica do subsistema de colheita de árvores inteiras em povoamentos de eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 123p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- VALVERDE, S.R. **A contribuição do setor florestal para o desenvolvimento sócio-econômico: uma aplicação de modelos de equilíbrio multissetoriais**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 105p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE A

FORMULÁRIOS UTILIZADOS NO ESTUDO DE TEMPOS

A₁) Formulário para coleta de dados na derrubada com o Feller-Buncher

Local:
Data:
Operador:

Clima:
Tratamento/Bloco:
Máquina:

Folha nº
Hora: Início
Fim

Ciclo nº	DV	BC	DESC	Interrupções		árv/ciclo
				Tempo	Descrição	

DV - deslocamento vazio, BC - busca e corte, DESC - descarregamento e árv/ciclo - número de árvores abatidas por ciclo.

A₂) Formulário para coleta de dados no processamento com Slingshot

Local:
Data:
Operador:

Clima:
Tratamento/Bloco:
Máquina:

Folha nº
Hora: Início
Fim

Ciclo nº	DMB	DCV	PF	DC	Processamento	Interrupções		árv/ciclo
						Tempo	Descrição	

DMB - deslocamento da máquina-base, DCV - deslocamento do cabeçote vazio, PF - pega do feixe, DC - deslocamento do cabeçote carregado e árv/ciclo - número de árvores abatidas por ciclo.

A₃) Formulário para coleta de dados na derrubada e processamento com Slingshot

Local:
Data:
Operador:

Clima:
Tratamento/Bloco:
Máquina:

Folha nº
Hora: Início
Fim

Ciclo nº	DV	CB	DC	Processamento	Interrupções		árvc/ciclo
					Tempo	Descrição	

DV - deslocamento vazio, BC - busca e corte, DC - deslocamento carregado e árv/ciclo - número de árvores abatidas por ciclo.

A₄) Formulário para coleta de dados na derrubada e processamento no corte semimecanizado

Local:
Data:
Operador:

Clima:
Tratamento/Bloco:
Máquina:

Folha nº
Hora: Início
Fim

Ciclo nº	Derrub.	Desgalh.	Torag.	Enleir.	Interrupções		árvc/ciclo
					Tempo	Descrição	

Derrub - derrubada, Desgalh. - desgalhamento, Torag - toragem, Enleir - enleiramento e árv/ciclo - número de árvores abatidas por ciclo.

A₅) Formulário para coleta de dados a extração com Skidder

Local:
Data:
Operador:

Clima:
Tratamento/Bloco:
Máquina:

Folha nº
Hora: Início
Fim

Ciclo nº	VV	MC	CARR	ARR	DESC	Distância de Extração	Interrupções	
							Tempo	Descrição

VV - viagem vazio, MC - manobra para o carregamento, CARR – carregamento, ARR – arraste e DESC – descarregamento.

A₆) Formulário para coleta de dados a extração com Forwarder

Local:
Data:
Operador:

Clima:
Tratamento/Bloco:
Máquina:

Folha nº
Hora: Início
Fim

Ciclo nº	VV	CARR.	VC	DESC	DB	NDC	Nº de Garradas		Interrupções	
							CARR	DESC	Tempo	Descrição

VV - viagem vazio, CARR – carregamento, VC - viagem carregado, DESC - descarregamento, DB - distância de extração e NDC - número de deslocamentos durante o carregamento.

APÊNDICE B

INFORMAÇÕES TÉCNICAS DAS MÁQUINAS ANALISADAS

B₁) Principais informações técnicas sobre o Feller-Buncher

Máquina-base:

- Motor – Caterpillar-3067, potência nominal de 178 hp, com consumo de combustível da ordem de 22 litros por hora.
- Sistema rodante com esteiras de garras triplas e 600 mm de largura.
- Grua modelo Scavator, com alcance de 8,1 metros.
- Reservatório de diesel com capacidade para 310 litros.
- Reservatório de óleo hidráulico com capacidade para 210 litros.
- Cabine climatizada e dispositivos de comando e controles bem projetados do ponto de vista ergonômico.

Cabeçote Feller:

- Disco com giro contínuo de 1.200 rpm.
- Chassi do cabeçote bem reforçado.

Características Dimensionais:

- Peso do cabeçote (kgf): 1.950.
- Peso da máquina-base (kgf): 20.400.
- Peso total da máquina (kgf): 22.350.
- Largura da máquina (mm): 3.180.
- Altura da máquina (mm): 2.930.

B₂) Principais informações técnicas sobre o Slingshot

Máquina-base:

- Motor Cummins 6 BTA.6, potência nominal de 167 hp, com consumo de combustível da ordem de 21 litros por hora.
- Sistema rodante, com esteiras triplas de 600 mm.
- Grua modelo Timberjack, com alcance de 7,0 metros.
- Cabine com espaço interno razoável, com boa iluminação para trabalhos noturnos, assento com ajuste em função do peso do operador, além dos ajustes nos sentidos vertical e horizontal do encosto e do assento, ar condicionado e rádio AM/FM.
- Reservatório de diesel com capacidade para 570 litros.
- Reservatório de óleo hidráulico com capacidade para 197 litros.

Cabeçote Slingshot:

- Marca Rislely, modelo S1821, com capacidade de corte de 21 polegadas e velocidade de desgalhamento de 2,5 m/seg.
- Disco de corte com 32 dentes, tempo de corte de 4-5 segundos e 300 rpm.
- Torre de corte de 2,80 metros, com rotação lateral de 220°.

Características Dimensionais:

- Peso do cabeçote (kgf): 2.630.
- Peso da máquina-base (kgf): 19.958.
- Peso do equipamento (kgf): 22.588.
- Largura da máquina (mm): 2.895.
- Altura da máquina (mm): 3.048.

B₃) Principais informações técnicas sobre o Skidder**Máquina-base:**

- Motor Caterpillar-3304 DIT, com potência nominal de 160 hp e consumo de combustível da ordem de 21 litros por hora.
- sistema rodante, com pneus 28L x 26.
- Reservatório de óleo diesel com capacidade para 267 litros.
- Reservatório de óleo hidráulico com capacidade para 70 litros.
- Capacidade da garra – 1,04 m².
- Cabine com espaço interno razoável, com boa iluminação para trabalhos noturnos, assento com ajuste em função do peso do operador, além dos ajustes nos sentidos vertical e horizontal do encosto e do assento, ar condicionado e rádio AM/FM.

Características Dimensionais:

- Peso do equipamento (kgf): 13.290.
- Largura da máquina (mm): 3.105.
- Altura da máquina (mm): 3.087.

B₄) Principais informações técnicas sobre o Forwarder

Máquina-base:

- Motor Perkins 1006, com potência nominal de 172 hp e com consumo de combustível da ordem de 14 litros por hora.
- Sistema rodante com pneus, 700 x 26,5-16.
- Grua – modelo Loglift, com alcance de 7,2 metros.
- Garra com capacidade de 0,35 m².
- Capacidade de carga de 12 toneladas.
- Reservatório de óleo diesel com capacidade de 140 litros.
- Reservatório de óleo hidráulico com capacidade de 145 litros.
- Cabine com bom espaço interno, boa iluminação para trabalhos noturnos, assento com ajuste em função do peso do operador, além dos ajustes nos sentidos vertical e horizontal do encosto e do assento, ar condicionado e rádio AM/FM.

Características Dimensionais:

- Peso do equipamento (kgf): 15.155.
- Largura da máquina (mm): 2.840.
- Altura da máquina (mm): 3.680.

B₅) Principais informações técnicas sobre a motosserra

- Motor com potência 3,2 kW/4, 4cv, cilindrada de 67 cm³.
- Rotação máxima de 12.500 rpm.
- Ruído (efeito/pressão) de 112/102 dBA.
- Vibrações (dianteira/traseira) de 4,4/6,1 m/s².
- Reservatório de gasolina com capacidade para 0,75 litros.
- Reservatório de óleo com capacidade para 0,45 litros.
- Peso sem lâmina e corrente igual a 6,2 kg.
- Dimensão do sabre de 15 - 24 polegadas.
- Passo da corrente de 3/8 polegadas.

APÊNDICE C

DADOS E PLANILHAS DE CUSTOS OPERACIONAIS

C₁) Determinação do custo operacional do Feller-Buncher

1) Dados de Entrada:

Va = valor de aquisição da máquina-base (US\$)	156.444,44
Vi = valor de aquisição do implemento (US\$)	115.602,22
Vr = valor de revenda	0,20*(Va+Vi)
N = vida útil econômica (anos)	4,00
H = horas trabalhadas no ano (h/ano)	6048,00
h = horas trabalhadas por dia (h/dia)	21,00
D = dias trabalhados por ano (d/ano)	288,00
E.O = eficiência operacional (%)	80,00
he = horas efetivas de uso anual (he/ano)	4838,40
DM = dias trabalhados por mês (d/mês)	24,00
i = taxa de juros anuais (% a.a.)	12,00
S = seguros (% a.a.)	4,00
Cc = custo com combustível	
preço do combustível (US\$/L)	0,266
consumo de combustível (L/h)	22,00
custo com óleo hidráulico (US\$/L)	0,50*Cc
custo com graxas e lubrificantes (US\$/L)	0,20*Cc
Cp = custo com esteiras (US\$/he)	
Pe = preço da esteira (US\$/unid.)	4120,00
Ne = número de esteiras	2,00
vida útil da esteira (h/unid)	9000,00
CMO = custo com mão-de-obra (US\$/he)	
salário do operador (US\$/mês)	500,00
número de operadores por máquina	3,3
encargos sociais (% sobre o salário)	33,1
despesas sociais (US\$/mês)	141,02
CTP = custo de transporte de pessoal (US\$/he)	0,99
CTM = custo de transporte do maquinário (US\$/he)	0,70
CAD = custo de administração das operações (US\$/he)	0,79

1.1) Custos fixos (CF)

a) Depreciação ⇒

$$Dp = \frac{(156444,44 + 115602,22) - 54409,33 - (4120,00 * 2)}{4 * 4838,40} = \text{US\$10,82/he}$$

b) Investimento médio anual ⇒

$$IMA = \frac{(272046,44 - 54409,33) * (4 + 1)}{(2 * 4)} + 54409,33 = \text{US\$190432,60}$$

c) Juros ⇒ $J = \frac{0,12 * 190432,60}{4838,4} = \text{US\$4,72/he}$

d) Seguros ⇒ $S = \frac{0,04 * 190432,60}{4838,4} = \text{US\$1,57/he}$

e) Custos Fixos Totais ⇒ CFT = 10,82+4,72+1,57 = **US\$17,11/he**

1.2) Custos variáveis (CF)

a) Custo de combustíveis ⇒ $Cc = 0,266 * 22 = \text{US\$5,85/he}$

b) Custo de óleo hidráulico ⇒ $Coh = 0,50 * 5,85 = \text{US\$2,92/he}$

c) Custo de graxas e lubrificantes ⇒ $Cgl = 0,20 * 5,85 = \text{US\$1,17/he}$

d) Custo de manutenção e reparos ⇒

$$CMR = \left(\frac{156444,44}{4 * 4838,40} \right) * 0,50 + \left(\frac{115602,22}{4 * 4838,40} \right) * 2,5 = \text{US\$18,97/he}$$

e) Custo de esteiras ⇒ $Ce = \frac{4120,00 * 2}{9000} = \text{US\$0,92/he}$

f) Custo de transporte de pessoal ⇒ CTP = **US\$0,55/he**

g) Custo de transporte de maquinário ⇒ CTM = **US\$0,39/he**

h) Custo de mão-de-obra ⇒

i) $CMO = \left(\frac{(500 * 3,3 * 12) * 1,331}{4838,40} \right) + \left(\frac{(141,02 * 3,3 * 12)}{4838,40} \right) = \text{US\$6,60/he}$

j) Custos variáveis totais ⇒ CVT =

5,85+2,92+1,17+18,97+0,92+0,55+0,39+6,60 = **US\$37,37/he**

1.3) Custos de administração (CAD) ⇒ **US\$0,79/he**

1.4) Custos totais ⇒ CFT + CVT + CAD = 17,11+37,37+0,79 = **US\$55,27/he**

C₂) Determinação do custo operacional do Slingshot (processando)

1) Dados de Entrada:

Va = valor de aquisição da máquina-base (US\$)	359857,22
Vi = valor de aquisição do implemento (US\$)	68444,44
Vr = valor de revenda	0,10*(Va+Vi)
N = vida útil econômica (anos)	4,00
H = horas trabalhadas no ano (h/ano)	6048,00
h = horas trabalhadas por dia (h/dia)	21,00
D = dias trabalhados por ano (d/ano)	288,00
E.O = eficiência operacional (%)	77,00
he = horas efetivas de uso anual (he/ano)	4656,96
DM = dias trabalhados por mês (d/mês)	24,00
i = taxa de juros anuais (% a.a.)	12,00
S = seguros (% a.a.)	4,00
Cc = custo com combustível	
preço do combustível (US\$/L)	0,266
consumo de combustível (L/h)	21,00
custo com óleo hidráulico (US\$/L)	0,50*Cc
custo com graxas e lubrificantes (US\$/L)	0,20*Cc
Cp = custo com esteiras (US\$/he)	
Pe = preço da esteira (US\$/unid.)	4120,00
Ne = número de esteiras	2,00
vida útil da esteira (h/unid)	9000,00
CMO = custo com mão-de-obra (US\$/he)	
salário do operador (US\$/mês)	500,00
número de operadores por máquina	3,3
encargos sociais (% sobre o salário)	33,1
despesas sociais (US\$/mês)	141,02
CTP = custo de transporte de pessoal (US\$/he)	0,57
CTM = custo de transporte do maquinário (US\$/he)	0,40
CAD = custo de administração das operações (US\$/he)	0,82

1.1) Custos fixos (CF)

a) Depreciação ⇒

$$Dp = \frac{(359857,22 + 68444,44) - 42830,17 - (4120,00 * 2)}{4 * 4656,96} = \text{US\$20,25/he}$$

b) Investimento médio anual ⇒

$$IMA = \frac{(428301,66 - 42830,17) * (4 + 1)}{(2 * 4)} + 42830,17 = \text{US\$283750,85}$$

c) Juros ⇒ $J = \frac{0,12 * 283750,85}{4656,96} = \text{US\$7,31/he}$

d) Seguros ⇒ $S = \frac{0,04 * 283750,85}{4656,96} = \text{US\$2,44/he}$

e) Custos Fixos Totais ⇒ CFT = 20,25+7,31+2,44 = **US\$30,00/he**

1.2) Custos variáveis (CF)

a) Custo de combustíveis ⇒ $Cc = 0,266 * 21 = \text{US\$5,58/he}$

b) Custo de óleo hidráulico ⇒ $Coh = 0,50 * 5,58 = \text{US\$2,79/he}$

c) Custo de graxas e lubrificantes ⇒ $Cgl = 0,30 * 5,58 = \text{US\$1,67/he}$

d) Custo de manutenção e reparos ⇒

$$CMR = \left(\frac{359857,22}{4 * 4656,96} \right) * 0,50 + \left(\frac{68444,44}{4 * 4656,96} \right) * 2,5 = \text{US\$18,84/he}$$

e) Custo de esteiras ⇒ $Ce = \frac{4120,00 * 2}{9000} = \text{US\$0,92/he}$

f) Custo de transporte de pessoal ⇒ CTP = **US\$0,57/he**

g) Custo de transporte de maquinário ⇒ CTM = **US\$0,40/he**

h) Custo de mão-de-obra ⇒

$$CMO = \left(\frac{(500 * 3,3 * 12) * 1,331}{4656,96} \right) + \left(\frac{141,02 * 3,3 * 12}{4656,96} \right) = \text{US\$6,86/he}$$

i) Custos variáveis totais ⇒

CVT = 5,58+2,79+1,67+18,84+0,92+0,57+0,40+6,86= **US\$37,63/he**

1.3) Custos de administração (CAD) ⇒ **US\$0,82/he**

1.4) Custos totais ⇒ CFT + CVT + CAD = 30,00+37,63+0,82 = **US\$68,45/he**

C₃) Determinação do custo operacional do Slingshot (derrubando e processando)

1) Dados de Entrada:

Va = valor de aquisição da máquina-base (US\$)	359857,22
Vi = valor de aquisição do implemento (US\$)	68444,44
Vr = valor de revenda	0,10*(Va+Vi)
N = vida útil econômica (anos)	4,00
H = horas trabalhadas no ano (h/ano)	6048,00
h = horas trabalhadas por dia (h/dia)	21,00
D = dias trabalhados por ano (d/ano)	288,00
E.O = eficiência operacional (%)	74,00
he = horas efetivas de uso anual (he/ano)	4475,52
DM = dias trabalhados por mês (d/mês)	24,00
i = taxa de juros anuais (% a.a.)	12,00
S = seguros (% a.a.)	4,00
Cc = custo com combustível	
preço do combustível (US\$/L)	0,266
consumo de combustível (L/h)	21,00
custo com óleo hidráulico (US\$/L)	0,50*Cc
custo com graxas e lubrificantes (US\$/L)	0,20*Cc
Cp = custo com esteiras (US\$/he)	
Pe = preço da esteira (US\$/unid.)	4120,00
Ne = número de esteiras	2,00
vida útil da esteira (h/unid)	9000,00
CMO = custo com mão-de-obra (US\$/he)	
salário do operador (US\$/mês)	500,00
número de operadores por máquina	3,3
encargos sociais (% sobre o salário)	33,1
despesas Sociais (US\$/mês)	141,02
CTP = custo de transporte de pessoal (US\$/he)	0,60
CTM = custo de transporte do maquinário (US\$/he)	0,42
CAD = custo de administração das operações (US\$/he)	0,85

1.1) Custos fixos (CF)

a) Depreciação ⇒

$$Dp = \frac{(359857,22 + 68444,44) - 42830,17 - (4120,00 * 2)}{4 * 4475,52} = \text{US\$21,07/he}$$

b) Investimento médio anual ⇒

$$IMA = \frac{(428301,66 - 42830,17) * (4 + 1)}{(2 * 4)} + 42830,17 = \text{US\$283750,85}$$

c) Juros ⇒ $J = \frac{0,12 * 283750,85}{4475,52} = \text{US\$7,61/he}$

d) Seguros ⇒ $S = \frac{0,12 * 283750,85}{4475,52} = \text{US\$2,54/he}$

e) Custos Fixos Totais ⇒ CFT = 21,07+7,61+2,54 = **US\\$31,22/he**

1.2) Custos variáveis (CF)

a) Custo de combustíveis ⇒ $Cc = 0,266 * 21 = \text{US\$5,58/he}$

b) Custo de óleo hidráulico ⇒ $Coh = 0,50 * 5,58 = \text{US\$2,79/he}$

c) Custo de graxas e lubrificantes ⇒ $Cgl = 0,30 * 5,58 = \text{US\$1,67/he}$

d) Custo de manutenção e reparos ⇒

$$CMR = \left(\frac{359857,22}{4 * 4475,52} \right) * 0,50 + \left(\frac{68444,44}{4 * 4475,52} \right) * 2,5 = \text{US\$19,61/he}$$

e) Custo de esteiras ⇒ $Ce = \frac{4120,00 * 2}{9000} = \text{US\$0,92/he}$

f) Custo de transporte de pessoal ⇒ CTP = **US\\$0,59/he**

g) Custo de transporte de maquinário ⇒ CTM = **US\\$0,42/he**

h) Custo de mão-de-obra ⇒

i) $CMO = \left(\frac{(500 * 3,3 * 12) * 1,331}{4475,52} \right) + \left(\frac{141,02 * 3,3 * 12}{4475,52} \right) = \text{US\$7,13/he}$

j) Custos variáveis totais ⇒

CVT = 5,58+2,79+1,67+19,61+0,92+0,59+0,42+7,13= **US\\$38,71/he**

1.3) Custos de administração (CAD) ⇒ **US\\$0,85/he**

1.4) Custos totais ⇒ CFT + CVT + CAD = 31,22+38,71+0,85 = **US\\$70,78/he**

C₄) Determinação do custo operacional do Skidder

1) Dados de Entrada:

Va = valor de aquisição (US\$)	219266,67
Vr = valor de revenda	0,10*Va
N = vida útil econômica (anos)	4,00
H = horas trabalhadas no ano (h/ano)	6048,00
h = horas trabalhadas por dia (h/dia)	21,00
D = dias trabalhados por ano (d/ano)	288,00
E.O = eficiência operacional (%)	80,00
he = horas efetivas de uso anual (he/ano)	4838,40
DM = dias trabalhados por mês (d/mês)	24,00
i = taxa de juros anuais (% a.a.)	12,00
S = seguros (% a.a.)	4,00
Cc = custo com combustível	
preço do combustível (US\$/L)	0,266
consumo de combustível (L/h)	16,50
custo com óleo hidráulico (US\$/L)	0,50*Cc
custo com graxas e lubrificantes (US\$/L)	0,25*Cc
Cp = custo com pneus (US\$/he)	
Pp = preço do pneu (US\$/unid.)	2333,33
Np = número de pneus	4,00
vida útil do pneu (h/unid)	2500,00
CMO = custo com mão-de-obra (US\$/he)	
salário do operador (US\$/mês)	500,00
número de operadores por máquina	3,3
encargos sociais (% sobre o salário)	33,1
despesas sociais (US\$/mês)	141,02
CTP = custo de transporte de pessoal (US\$/he)	0,55
CTM = custo de transporte do maquinário (US\$/he)	0,39
CAD = custo de administração das operações (US\$/he)	0,79

1.1) Custos fixos (CF)

a) Depreciação $\Rightarrow Dp = \frac{(219266,67 - 21926,67) - (2333,33 * 4)}{4 * 4838,40} = \text{US\$9,71/he}$

b) Investimento médio anual \Rightarrow

$$IMA = \frac{(219266,67 - 21926,67) * (4 + 1)}{(2 * 4)} + 21926,67 = \text{US\$145264,17}$$

c) Juros $\Rightarrow J = \frac{0,12 * 145264,17}{4838,4} = \text{US\$3,59/he}$

d) Seguros $\Rightarrow S = \frac{0,04 * 190432,60}{4838,4} = \text{US\$1,20/he}$

e) Custos Fixos Totais $\Rightarrow CFT = 9,71 + 3,60 + 1,20 = \text{US\$14,50/he}$

1.2) Custos variáveis (CF)

a) Custo de combustíveis $\Rightarrow Cc = 0,266 * 16,5 = \text{US\$4,39/he}$

b) Custo de óleo hidráulico $\Rightarrow Coh = 0,50 * 4,39 = \text{US\$2,19/he}$

c) Custo de graxas e lubrificantes $\Rightarrow Cgl = 0,25 * 4,39 = \text{US\$1,10/he}$

d) Custo de manutenção e reparos \Rightarrow

$$CMR = 9,71 * 0,80 = \text{US\$7,77/he}$$

e) Custo de pneus $\Rightarrow Cp = \frac{2333,33 * 4}{2500} = \text{US\$3,73/he}$

f) Custo de transporte de pessoal $\Rightarrow CTP = \text{US\$0,55/he}$

g) Custo de transporte de maquinário $\Rightarrow CTM = \text{US\$0,39/he}$

h) Custo de mão-de-obra \Rightarrow

i) $CMO = \left(\frac{(500 * 3,3 * 12) * 1,331}{4838,40} \right) + \left(\frac{141,02 * 3,3 * 12}{4838,40} \right) = \text{US\$6,60/he}$

j) Custos variáveis totais \Rightarrow

$$CVT = 4,39 + 2,19 + 1,10 + 7,77 + 3,73 + 0,55 + 0,39 + 6,60 = \text{US\$26,72/he}$$

1.3) Custos de administração (CAD) $\Rightarrow \text{US\$0,79/he}$

1.4) Custos totais $\Rightarrow CFT + CVT + CAD = 14,50 + 26,72 + 0,79 = \text{US\$42,01/he}$

C₅) Determinação do custo operacional do Forwarder

1) Dados de Entrada:

Va = valor de aquisição (US\$)	437067,22
Vr = valor de revenda	0,10*Va
N = vida útil econômica (anos)	4,00
H = horas trabalhadas no ano (h/ano)	6048,00
h = horas trabalhadas por dia (h/dia)	21,00
D = dias trabalhados por ano (d/ano)	288,00
E.O = eficiência operacional (%)	80,00
he = horas efetivas de uso anual (he/ano)	4838,40
DM = dias trabalhados por mês (d/mês)	24,00
i = taxa de juros anuais (% a.a.)	12,00
S = seguros (% a.a.)	4,00
Cc = custo com combustível	
preço do combustível (US\$/L)	0,266
consumo de combustível (L/h)	14,00
custo com óleo hidráulico (US\$/L)	0,50*Cc
custo com graxas e lubrificantes (US\$/L)	0,30*Cc
Cp = custo com pneus (US\$/he)	
Pp = preço do pneu (US\$/unid.)	3090,00
Np = número de pneus	6,00
vida útil do pneu (h/unid)	15000,00
CMO = custo com mão-de-obra (US\$/he)	
salário do operador (US\$/mês)	500,00
número de operadores por máquina	3,3
encargos sociais (% sobre o salário)	33,1
despesas sociais (US\$/mês)	141,02
CTP = custo de transporte de pessoal (US\$/he)	0,55
CTM = custo de transporte do maquinário (US\$/he)	0,39
CAD = custo de administração das operações (US\$/he)	0,79

1.1) Custos fixos (CF)

a) Depreciação $\Rightarrow Dp = \frac{(437067,22 - 43706,72) - (3090,00 * 6)}{4 * 4838,40} = \mathbf{US\$19,37/he}$

b) Investimento médio anual \Rightarrow

$$IMA = \frac{(437067,22 - 43706,72) * (4 + 1)}{(2 * 4)} + 43706,72 = \mathbf{US\$289557,03}$$

c) Juros $\Rightarrow J = \frac{0,12 * 289557,03}{4838,4} = \mathbf{US\$7,18/he}$

d) Seguros $\Rightarrow S = \frac{0,04 * 289557,03}{4838,4} = \mathbf{US\$2,39/he}$

e) Custos fixos totais $\Rightarrow CFT = 19,37 + 7,18 + 2,39 = \mathbf{US\$28,94/he}$

1.2) Custos variáveis (CF)

a) Custo de combustíveis $\Rightarrow Cc = 0,266 * 14,00 = \mathbf{US\$3,72/he}$

b) Custo de óleo hidráulico $\Rightarrow Coh = 0,50 * 3,72 = \mathbf{US\$1,86/he}$

c) Custo de graxas e lubrificantes $\Rightarrow Cgl = 0,30 * 3,72 = \mathbf{US\$1,12/he}$

d) Custo de manutenção e reparos \Rightarrow

$$CMR = 19,37 * 0,80 = \mathbf{US\$15,49/he}$$

e) Custo de pneus $\Rightarrow \frac{Cp = 3090,00 * 6}{15000} = \mathbf{US\$1,24/he}$

f) Custo de transporte de pessoal $\Rightarrow CTP = \mathbf{US\$0,55/he}$

g) Custo de transporte de maquinário $\Rightarrow CTM = \mathbf{US\$0,39/he}$

h) Custo de mão-de-obra \Rightarrow

i) $CMO = \left(\frac{(500 * 3,3 * 12) * 1,331}{4838,40} \right) + \left(\frac{(141,02 * 3,3 * 12)}{4838,40} \right) = \mathbf{US\$6,60/he}$

j) Custos variáveis totais \Rightarrow

$$CVT = 3,72 + 1,86 + 1,12 + 15,49 + 1,24 + 0,55 + 0,39 + 6,60 = \mathbf{US\$30,97/he}$$

1.3) Custos de administração (CAD) $\Rightarrow \mathbf{US\$0,79/he}$

1.4) Custos totais $\Rightarrow CFT + CVT + CAD = 28,94 + 30,97 + 0,79 = \mathbf{US\$60,70/he}$

C₆) Determinação do custo operacional do corte semimecanizado

1) Dados de Entrada:

Va = valor de aquisição da motosserra (US\$)	665,60
Vr = valor de revenda da motosserra	0,05*Va
N = vida útil econômica da motosserra(anos)	1,50
H = horas trabalhadas no ano (h/ano)	2217,60
h = horas trabalhadas por dia (h/dia)	8,80
D = dias trabalhados por ano (d/ano)	252,00
E.O = eficiência operacional (%)	75,00
he = horas efetivas de uso anual (he/ano)	1663,20
DM = dias trabalhados por mês (d/mês)	21,00
i = taxa de juros anuais (% a.a.)	12,00
S = seguros (% a.a.)	4,00
Cc = custo com combustível	
preço do combustível (US\$/L)	0,728
consumo de combustível (L/h)	0,860
custo com lubrificantes (US\$/L)	
preço do lubrificante (US\$/L)	0,833
consumo de lubrificante (L/h)	0,380
custo com EPI's (US\$/he)	0,28
custo com conjunto de corte (US\$/he)	0,29
custo com materiais auxiliares (US\$/he)	0,03
CMO = custo com mão-de-obra (US\$/he)	
salário do operador (US\$/mês)	277,78
número de operadores por máquina	2,00
encargos sociais (% sobre o salário)	65,50
despesas sociais (US\$/mês)	141,02
CTP = custo de transporte de pessoal (US\$/he)	0,54
CAD = custo de administração das operações (US\$/he)	0,99

1.1) Custos fixos (CF)

a) Depreciação $\Rightarrow Dp = \frac{(665,60 - 33,28)}{1,5 * 1663,20} = \text{US\$0,25/he}$

b) Investimento médio anual \Rightarrow

$$IMA = \frac{(665,60 - 33,28) * (1,5 + 1)}{(2 * 1,5)} + 33,28 = \text{US\$560,21}$$

c) Juros $\Rightarrow J = \frac{0,12 * 560,21}{1663,20} = \text{US\$0,04/he}$

d) Seguros $\Rightarrow S = \frac{0,04 * 560,21}{1663,20} = \text{US\$0,01/he}$

e) Custos fixos totais $\Rightarrow CFT = 0,25 + 0,04 + 0,01 = \text{US\$0,30/he}$

1.2) Custos variáveis (CF)

a) Custo de combustíveis $\Rightarrow Cc = 0,728 * 0,86 = \text{US\$0,63/he}$

b) Custo de lubrificantes $\Rightarrow Cl = 0,833 * 0,38 = \text{US\$0,32/he}$

c) Custo de manutenção e reparos $\Rightarrow CMR = 0,25 * 1,5 = \text{US\$0,38/he}$

d) Custo com E.P.I's $\Rightarrow \text{US\$0,28/he}$

e) Custo com conjunto de corte $\Rightarrow \text{US\$0,29/he}$

f) Custo com materiais auxiliares $\Rightarrow \text{US\$0,03/he}$

g) Custo de transporte de pessoal $\Rightarrow CTP = \text{US\$0,54/he}$

h) Custo de mão-de-obra \Rightarrow

i) $CMO = \left(\frac{(277,78 * 2,0 * 12) * 1,655}{1663,20} \right) + \left(\frac{141,02 * 2,0 * 12}{1663,20} \right) = \text{US\$8,67/he}$

j) Custos variáveis totais \Rightarrow

CVT = 0,63 + 0,32 + 0,38 + 0,28 + 0,29 + 0,03 + 0,54 + 8,67 = **US\$11,14/he**

1.3) Custos de administração(CAD) $\Rightarrow \text{US\$0,99/he}$

1.4) Custos totais (CT) $\Rightarrow CFT + CVT + CAD = 0,30 + 11,14 + 0,99 = \text{US\$12,43/he}$