

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARANÁ

LUCIANO LAMBERT

ANÁLISE OPERACIONAL E DA QUALIDADE DE UM SISTEMA DE TORAS
CURTAS NO PRIMEIRO DESBASTE MECANIZADO

CURITIBA

2016

LUCIANO LAMBERT

ANÁLISE OPERACIONAL E DA QUALIDADE DE UM SISTEMA DE TORAS
CURTAS NO PRIMEIRO DESBASTE MECANIZADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização em Manejo Florestal de Precisão da Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert

CURITIBA

2016

2

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus por guiar meus passos, me mantendo na caminhada como sempre planejei.

Agradeço meus pais Cesira e Leocir pelo apoio em todos os momentos em minha caminhada, sempre me apoiando em minhas escolhas.

Agradeço meu irmão Gustavo que mesmo distante sempre me passou bons conselhos e palavras de incentivo.

Agradeço minha namorada Laís pelo companheirismo e paciência em todos os momentos que foram necessários.

Agradeço a Madepar Ind. E Comercio de Madeiras LTDA por disponibilizar e me conceder espaço para desenvolver a pesquisa para realização do trabalho de conclusão de curso.

Agradeço ao Profº Renato meu orientador de TCC, que demonstrou e despendeu atenção necessária para elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos e colaboradores da empresa nos quais convivi e ainda continuarei convivendo nesta caminhada.

Muito obrigado!!

RESUMO

O presente estudo foi realizado em povoamentos de *Pinus taeda* L. da Empresa Madepar, localizada no município de Vacaria, Rio Grande do Sul. Com objetivo de elaborar uma análise operacional e da qualidade do primeiro desbaste mecanizado, para assim, avaliar rendimentos, custos e qualidade da colheita mecanizada. O sistema operacional de corte foi composto por um *harvester* e um *forwarder* realizando as operações de primeiro desbaste no sistema toras curtas. A análise operacional foi executada por um estudo de tempos e movimentos pelo método de cronometragem de tempo contínuo, produtividade e eficiência operacional e parâmetros de custos, dividindo-os em fixos e variáveis. Por fim, a análise de qualidade consistiu na mensuração pré e pós-desbaste, analisando o material deixado no campo. Na análise operacional do *harvester*, a operação busca e derrubada consumiram 37,90% do ciclo operacional. Quanto à disponibilidade mecânica, durante o período analisado, foi de 87,93%; eficiência operacional de 76,52%; e produtividade nominal média de 14,36 m³cc/h. Os custos operacionais do trator florestal *harvester* foram de R\$ 205,67/he ou de R\$ 18,74/m³. Para máquina *forwarder*, o ciclo operacional manobra e descarregamento do consumiram 36,97%. A disponibilidade mecânica foi de 87,20%; eficiência operacional de 63,00%; e produtividade nominal média de 24,90 m³cc/h. Os custos operacionais do *forwarder* foram de R\$ 227,69/he ou de R\$ 14,50/m³. Para análise da qualidade de tocos foram mensuradas 10 parcelas com área amostral total de 2.250 m², onde tocos acima do limite desejado representaram 72,86% e 27,13% ficaram abaixo. De acordo com os resultados obtidos, foi possível medir o rendimento, custos e detectar falhas na produção do primeiro desbaste mecanizado.

Palavras-Chave: Colheita. Mecanização. Qualidade.

ABSTRACT

This study is carried out in a *Pinus taeda* L. stand from Madepar company located at Vacaria-RS. The main objective is to elaborate operational and qualitative analysis for the first mechanized cut to evaluate efficiency, costs and quality of this procedure. The operational cut is composed by a harvester and a forwarder machines in a short log first cut operation. Then, operational analysis was developed based on time and movements monitored by continuous timing method, productivity and efficiency methods and fix and variable cost parameters method. Measurements of pre and post cuts quality analysis were performed based leftovers samples. Harvester operational analysis indicates that search and cut spent 37.90% of operational cycle. For the analyzed period mechanical availability was 87.93 %, operational efficiency was 76.52 %, and average nominal production was 14.36m³cc/h. Operational costs of forestry tractor Harvester was R\$205.67/ha or R\$18.74 m³. In the Forwarder machine, the operational cycle maneuvering and unloading used 36.97% of the time. Forwarder mechanical availability was 87.20%, operational efficiency 63.00%, and average nominal production of 24.90m³cc/h. Operational costs for the Forwarder machine resulted in R\$227.69 ha or R\$14.50 m³. Quality analysis uses logs collected from a 2250m² sample area where stump's height greater than the limit represents 72.86% and height lower than the limit represents 27.13 %. Based on the results it is possible to conclude that efficiency, costs and production failures are possible to be detected from the first mechanized cut.

Keyword: Harvest. Mechanization. Quality.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Localização do município de Vacaria no estado do Rio Grande do Sul.....	15
FIGURA 2 - Mapa completo Fazenda Socorro.....	15
FIGURA 3 - Condições dos tocos após corte mecanizado.....	20
FIGURA 4 - Distribuição percentual dos tempos dos elementos do ciclo operacional da operação de derrubada com <i>harvester</i>	21
FIGURA 5 - Distribuição percentual dos tempos efetivos do trator florestal <i>harvester</i> na operação de derrubada e processamento de árvores; DV: deslocamento vazio da máquina; BD: busca, e derrubada; PR: processamento das árvores.....	21
FIGURA 6 - Distribuição percentual das interrupções no ciclo operacional do trator florestal <i>harvester</i>	22
FIGURA 7 - Tempos efetivos médios consumidos pelo <i>harvester</i> em cada elemento do ciclo nas determinadas classes de declive. Onde: DV: deslocamento vazio da máquina; BD: busca, e derrubada; PR: processamento das árvores; TT: tempo total.....	23
FIGURA 8 - Tempos efetivos médios consumidos pelo <i>harvester</i> em cada elemento do ciclo nas determinadas classes de aclave. Onde: DV: deslocamento vazio da máquina; BD: busca, e derrubada; PR: processamento das árvores; TT: tempo total.....	23
FIGURA 9 - Análise de sensibilidade sobre a eficiência operacional e o custo operacional.....	24

FIGURA 10 - Proporções dos custos no custo total do <i>harvester</i>	26
FIGURA 11 - Distribuição percentual do ciclo operacional do <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras curtas.....	27
FIGURA 12 - Distribuição percentual das interrupções do <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras curtas.....	27
FIGURA 13 - Tempos médios do ciclo operacional consumidos pelo <i>forwarder</i> nas diferentes classes de distância de extração.....	28
FIGURA 14 - Tempos médios do ciclo operacional consumidos pelo <i>forwarder</i> nas diferentes classes de declividade do terreno.....	29
FIGURA 15 - Análise de sensibilidade sobre a eficiência operacional e o custo operacional.....	30
FIGURA 16 - Proporções dos custos no custo total do <i>forwarder</i>	31
FIGURA 17 - Histograma de frequência das diferentes classes de altura de tocos.....	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Características das máquinas e implementos do sistema de colheita de madeira analisados.....	16
TABELA 2 - Atividades e descrição das máquinas componentes do sistema.....	17
TABELA 3 - Disponibilidade mecânica, eficiência operacional, produtividade nominal e efetiva.....	24
TABELA 4 - Custos fixos e variáveis do trator florestal <i>harvester</i> por hora efetiva.....	25
TABELA 5 - Disponibilidade mecânica, eficiência operacional, produtividade nominal e efetiva.....	29
TABELA 6 - Custos fixos e variáveis do trator florestal <i>forwarder</i> por hora efetiva trabalhada.....	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Contextualização.....	10
1.1.1. Setor florestal brasileiro de florestas plantadas.....	10
1.1.2. Manejo florestal com regime de desbastes.....	10
1.1.3. Colheita florestal mecanizada no desbaste.....	11
1.1.4. Colheita Florestal em regime de desbaste.....	11
1.2. Justificativa.....	13
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Geral.....	14
1.3.2. Específicos.....	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1. Local de estudo.....	14
2.2. Caracterização do sistema de colheita florestal.....	16
2.3. Análise operacional.....	17
2.4. Definição da amostragem.....	19
2.5. Análise da qualidade.....	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
3.1. Análise operacional da colheita florestal.....	21
3.1.1. Derrubada e processamento com <i>harvester</i>	21
3.1.2. Extração com <i>forwarder</i>	26
3.2. Análise da qualidade das operações.....	31
4. CONCLUSÕES	32
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

1.1.1. Setor florestal brasileiro de florestas plantadas

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

No Brasil, o setor florestal passa por uma expressiva ampliação, dando ênfase às florestas plantadas, que compreende cerca de 7,8 milhões de hectares dos plantios florestais em 2015, crescimento de 0,8% em relação ao ano de 2014 destacando os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Os plantios de pinus ocupam 1,6 milhão de hectares e concentram-se no Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%). Além disso, o setor brasileiro de árvores plantadas responsável pela geração de R\$ 11,3 bilhões em tributos federais, estaduais e municipais, o que corresponde a 0,9% de toda arrecadação do país. (IBÁ, 2016).

A distribuição geográfica da maioria das florestas plantadas com *Pinus* no Brasil concentra-se nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul devido às condições edafoclimáticas e de localização dos principais centros processadores desta madeira (BRACELPA, 2012; ABRAF, 2013). A madeira de *Pinus* é comercializada no mercado e utilizada para diversos usos industriais, como madeira *in natura*, madeira serrada, diversos tipos de compensados, celulose e seus derivados e alternativamente biomassa para energia.

1.1.2. Manejo florestal com regime de desbastes

O desbaste é um tratamento de manejo florestal que consiste na eliminação intencional, planejada, racional e criteriosa de parte das árvores que crescem num determinado povoamento florestal (RIBEIRO et al., 2002; DAVEL, 2009), sendo que a remoção das árvores é realizada para a administração ou regulação da competição (FINGER e SCHNEIDER, 1999; OLIVEIRA, 2009), com redução da quantidade de indivíduos plantados e competidores por uma

determinada quantidade de recursos disponíveis em uma determinada superfície ao longo do período de desenvolvimento da floresta (MULLER e ANGELI, 2006).

Essas operações muitas vezes apresentam algumas limitações, ocasionando aumento nos custos, baixo crescimento dos indivíduos e problemas no desenvolvimento das próximas rotações. Desta forma as análises do processo são ferramentas fundamentais que servem de base para a implantação da qualidade das operações, tendo em vista retornos significativos otimizando o processo, evitando danificar as remanescentes.

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

Muller et al. (2006) classificam os tipos de desbaste de acordo com o formato da remoção das árvores, citando as seguintes opções: (a) desbaste sistemático, (b) desbaste seletivo, (c) desbaste misto (sistemático + seletivo).

1.1.3. Colheita florestal mecanizada

No setor florestal, a colheita de madeira é a fase mais importante economicamente, dada à sua alta participação no custo final do produto e aos riscos de perda envolvidos nessa atividade (JACOVINE et al., 1997).

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

Segundo Duarte (1994), a colheita florestal é a etapa do processo de maior relevância do ponto de vista econômico, devido à sua significativa contribuição no custo final do produto e as ameaças de perdas atribuídas a essa operação. Machado (2002) *apud* Oliveira (2013) relatam que a colheita florestal contribui com aproximadamente 50% do custo final da madeira posta na indústria.

De acordo com Lima e Leite (2008), os principais tratores utilizados na colheita florestal são: o *Harvester* (colhedor e processador), o *Feller-buncher*

(derrubador - acumulador), o *Slingshot* e a Garra traçadora (processador e/ou traçador), o *Forwarder* (trator transportador), o *Skidder* (trator arrastador) e o Carregador florestal (trator equipado com grua hidráulica).

1.1.4. Colheita Florestal em regime de desbaste

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

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

Bramucci & Seixas (2002) afirmam que a utilização de sistemas mecanizados para a colheita da madeira é afetada por diversas variáveis: clima, declividade do terreno, mão-de-obra, manutenção da máquina, tipo de solo, estradas e assim interferem na capacidade operacional dos equipamentos e, conseqüentemente, no custo final da madeira.

Conforme Lima (2008), a declividade do terreno é uma das variáveis operacionais mais importantes a se considerar na mecanização florestal. Segundo Silva et al. (2008), a topografia afeta diretamente o rendimento das máquinas nas operações florestais.

Em relação à declividade, pode-se dizer que, quanto maior a declividade, maiores as limitações ao deslocamento da máquina no terreno e, por conseguinte, menor a produtividade (MALINOVSKI, 2006).

Stampfer et al. (1999), estudando a influência do volume da árvore e da inclinação do terreno sobre a produtividade de um *harvester* de esteiras, concluíram que a produtividade diminui com o aumento da inclinação do terreno.

Segundo Akay et al. (2004), em condições de maior declividade o *harvester* pode aumentar o tempo de processamento por árvore e, por conseguinte, diminuir a produtividade.

Leite et al. (2014b) avaliaram a extração de madeira realizada pelo forwarder da marca John Deere, modelo 1710D em condição de aclave e declive, em povoamento de eucalipto, na região do Rio Doce, Minas Gerais. Os autores verificaram que com o aumento da declividade do terreno, a produtividade diminuiu, sendo no sentido de aclave, a influência do relevo foi de 75% e, no sentido do declive, a declividade explicou o comportamento da produtividade em 55%.

Os danos nas árvores remanescentes do povoamento são muito comuns após a realização das operações de desbaste mecanizado, ocorrendo de forma imediata, danos diretos do tipo físico e posteriormente, danos indiretos, onde, conforme a sua magnitude, podem reduzir o crescimento da floresta remanescente. Para isso é fundamental considerar a competência do operador, esse qualificado e treinado (LAGESON, 1997; SIREN, 2001; LAHTINEN, 2011).

Dessa forma, para otimizar o sistema produtivo e diminuir os custos de produção das máquinas, torna-se necessária a realização destes estudos que visem a conhecer as reais capacidades produtivas e as possíveis variáveis que interferem no rendimento, com vistas ao desenvolvimento de técnicas que melhorem o desempenho operacional (SILVA et al., 2003).

1.2. Justificativa

O desbaste é uma das técnicas mais importantes no manejo de florestas plantadas destinadas a produção de madeira, pois permite agregar maior valor na qualidade e possibilitar maior diversidade de usos e aplicações. Tem por objetivo concentrar no produto as características desejadas, em que o padrão dos fustes procurado tenha forma ideal e boa qualidade.

Nesse contexto, tornam-se necessário estudos de diagnóstico das operações mecanizadas de primeiro desbaste, com objetivo de avaliar as atuais condições empregadas em empresas florestais no domínio produtividade e qualidade.

1.3. Objetivos

1.3.1. Geral

Analisar as operações de colheita e indicadores de qualidade do primeiro desbaste de povoamentos de *Pinus taeda* L. visando subsidiar o planejamento das operações de colheita florestal mecanizada.

1.3.2. Específico

Especificamente objetiva-se:

- Analisar operacionalmente as etapas de corte em função da declividade e extração em função da distância de extração;
- Quantificar o custo da operação de primeiro desbaste mecanizado;
- Analisar a altura de tocos nas áreas de corte;

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Local de estudo

O estudo foi realizado nas áreas da empresa Madepar Indústria e Comércio de Madeiras LTDA, município de Vacaria, Rio Grande do Sul (Figura 1). Localiza-se em uma latitude Sul 29°32'30", e uma longitude Oeste 50°54'51", estando em uma altitude 962 m. Segundo o IBGE (2014) o município compreende a mesorregião nordeste Riograndense com uma área da unidade territorial de 2.124,582 km², onde o clima é subtropical, de verões amenos (Cfb), com temperatura máxima média de 25°C e mínima média 15°C. Com fisionomia de planalto, apresenta coxilhas suavemente onduladas e vales não muito profundos.

O povoamento florestal em estudo foi composto por *Pinus taeda* L. com treze anos de idade, densidade de 1.666 árvores por hectare, com altura média de 14,4 m, diâmetro a altura do peito (DAP) médio de 19,50 cm, volume médio individual (VMI) de 0,198 m³ correspondendo a 376,2 m³ha⁻¹, fonte do inventário contínuo disponibilizado. A empresa destina seu sortimento da seguinte maneira:

a madeira com DAP acima de 18 cm é destinada à serraria e abaixo de 18 cm para processo/celulose.



Figura 1. Localização do município de Vacaria no estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Wikipédia (2016)

A Figura 2 apresenta o mapa da fazenda denominada Socorro, com suas respectivas áreas de reflorestamento, matas nativas, rios e Áreas de Preservação Permanente (APP).

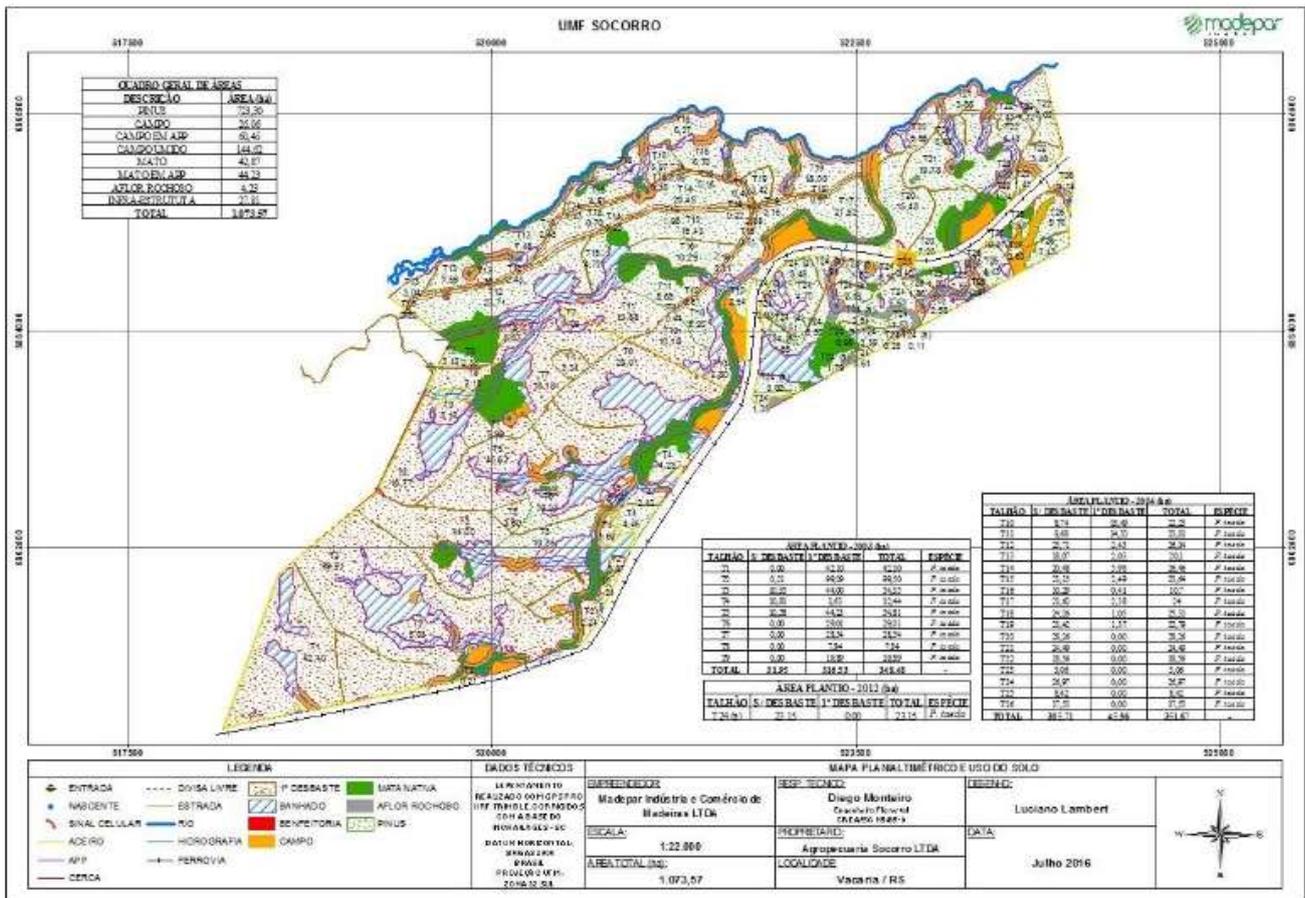


Figura 2. Mapa completo Fazenda Socorro. Fonte: Madepar (2016).

2.2. Caracterização do sistema de colheita florestal

A empresa efetua operações de primeiro desbaste pelo método misto, sistemático seguido de seletivo, sendo as árvores cortadas e extraídas sistematicamente a cada 6 linhas e nas demais a seleção é feita “por baixo”, retirando-se as árvores suprimidas, tortuosas, bifurcadas e com DAP reduzido.

As operações de primeiro desbaste foram executadas de forma mecanizada, utilizando sistema de colheita toras curtas (*cut-to-length*), compreendendo toras no seguinte comprimento: 2,10 m para serraria e 3,0 m para madeira de processo.

Para as operações de colheita florestal foi utilizado um módulo na combinação de *harvester* mais *forwarder* em turno único em que cada máquina opera apenas um colaborador. O *harvester* desempenha as operações de busca e derrubada, desgalhamento, destopamento, traçamento no interior do talhão. Em seguida, empregado um *forwarder* para extração das toras em forma de “baldeio” do interior até a margem do talhão (Tabela 1).

Tabela 1. Características das máquinas e implementos do sistema de colheita de madeira analisados.

Sistema de colheita de toras curtas		
Atividade	Máquina	Especificações e características
Derrubada e processamento	<i>Harvester</i>	Máquina-base: Marca <i>Hyundai</i> , modelo R160LC 9S, motor <i>Mitsubishi</i> S6S-DT (diesel), potência nominal de 126 hp / 94 kW, peso operacional de 17,8 t (sem cabeçote), material rodante de esteiras reforçadas, dimensões de 0,70 m de largura por 4,56 m de comprimento e distância entre rodados de 1,90 m. Implemento: Cabeçote marca <i>Log Max</i> , modelo 5000D, peso operacional de 895 kg, diâmetro máximo de corte de 570 mm.
		
Baldeio	<i>Forwarder</i>	Marca <i>Valmet</i> , modelo 860.4, motor <i>Valmet</i> 74 CTA (diesel), potência nominal de 204 hp / 150 kW, peso operacional de 19,1 t, rodados de pneus, tração 8 x 8, distância entre rodados de 1,70 m, compartimento de carga com capacidade bruta de 18,0 t, área de 5,6 a 6,0 m ² , grua com alcance máximo de 7,50 m de distância horizontal e 8,5 m de altura.
		

Segundo Malinovski (2008), esse sistema de toras curtas possui vantagem, devido ao menor impacto ambiental, em termos de exportação de nutrientes e compactação do solo, destacando também a praticidade no manuseio e com isso um melhor rendimento nas operações.

Toda a operação foi realizada por empresa terceirizada, essa, especializada na realização das atividades de colheita florestal.

2.3. Análise operacional

A análise operacional foi realizada a partir de estudos de tempo e movimento, determinando-se a disponibilidade mecânica, a disponibilidade técnica, a eficiência operacional e a produtividade das máquinas e equipamentos do sistema de colheita da madeira, além dos tempos consumidos em cada fase da operação e as interrupções operacionais com suas respectivas causas.

Para a realização do estudo de tempo e movimento, as operações de cada etapa da colheita foram subdivididas em fases do ciclo operacional em que o método de cronometragem de tempo contínuo foi utilizado, com uso de um cronômetro digital centesimal e formulários específicos para registro dos dados.

Tabela 2. Atividades e descrição das máquinas componentes do sistema.

Máquina	Fases do ciclo	Descrição
<i>Harvester</i>	Derrubada (BD)	Tempo consumido pela máquina na derrubada e tombamento da árvore.
	Processamento (PR)	Tempo consumido pela máquina no processamento da árvore.
	Deslocamento (DV)	Tempo consumido pela máquina no deslocamento até a árvore a ser cortada.
	Interrupções (INT)	Tempo referente às paradas da máquina por motivos diversos.
<i>Forwarder</i>	Viagem vazio (VV)	Tempo consumido pela máquina no deslocamento da estrada até o interior do talhão, próximo a pilha de madeira.
	Manobra e carregamento (MC)	Tempo consumido pela máquina no carregamento das toras no interior do talhão.
	Viagem carregado (VC)	Tempo consumido pela máquina no deslocamento do interior até a margem do talhão carregado.
	Manobra e descarregamento (MD)	Tempo consumido pela máquina no descarregamento das toras na margem do talhão.
	Interrupções (INT)	Tempo referente às paradas da máquina por motivos diversos.

Na análise estatística dos dados, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, sendo realizada análise de variância para os elementos do ciclo operacional e produtividade.

Na etapa de derrubada das árvores pelo *harvester* a análise foi em função de diferentes classes de declividade, obtidas pelo hipsômetro de HAGA ($0 \leq 2^\circ$; $2 \leq 4^\circ$; $4 \leq 6^\circ$; $6 \leq 8^\circ$; $8 \leq 10^\circ$; $10 \leq 12^\circ$; $12 \leq 14^\circ$; $>14^\circ$). E na etapa de extração da madeira pelo *forwarder* a análise foi em função de diferentes classes de distância ($0 \leq 75$; $75 \leq 150$; $150 \leq 225$; > 225), e classes de declividade ($0 \leq 5^\circ$; $5 \leq 10^\circ$; $10 \leq 15^\circ$).

A) Disponibilidade mecânica:

Compreende o percentual do tempo que a máquina estava preparada para realizar as atividades, não levando em consideração as manutenções e interrupções. Quanto maior o número de falhas, menor a disponibilidade mecânica (FONTES E MACHADO, 2002). Através da equação abaixo:

$$DM = \frac{HT - HM}{HT} \times 100$$

Em que:

DM = disponibilidade mecânica;

HT = horas totais programadas de trabalho;

HM = horas de permanência em manutenção.

B) Disponibilidade técnica:

Porcentagem do tempo das atividades programadas em que a máquina está tecnicamente preparada para realizar as operações, não levando em consideração as paradas técnicas. Através da equação abaixo:

$$DT = \frac{TP - TM}{TP} \times 100$$

Em que:

DM = grau de disponibilidade técnica (%);

TP = tempo programado para o trabalho (horas); e

TM = tempo em paradas técnicas (horas).

C) Eficiência operacional:

Caracteriza-se pelo tempo percentual efetivamente trabalhado relacionado com o tempo total programado para o trabalho. Oliveira *et al.* (2009) Posteriormente foi realizada uma análise de sensibilidade visando determinar o grau de variação do custo de produção em função da variação da eficiência operacional. Através da equação abaixo:

$$EOp = \frac{Tef}{Tef + Hi} \times 100$$

Em que:

EOp = eficiência operacional;

Tef = tempo efetivo de trabalho; e

Hi = horas (tempo) de permanência em interrupções.

D) Produtividade das máquinas:

Levantada através do volume médio individual das árvores multiplicado pelo número total de árvores processadas, obtendo-se assim, o volume total, que posteriormente foi dividido pelas horas efetivamente trabalhadas, através da equação abaixo, descrita por Minette *et al.* (2004):

$$Pr = \frac{N \times V}{he}$$

Em que:

Pr = produtividade efetiva ($m^3cc \text{ he}^{-1}$);

N = número total de árvores derrubadas, extraídas ou processadas;

V = volume médio por árvore com casca (m^3cc) e;

he = horas efetivas de trabalho.

2.4. Definição da amostragem

Como método de amostragem foi adotado um número mínimo de observações necessárias no ciclo operacional, utilizando um erro máximo de amostragem de 10% seguindo metodologia de Barnes (1968):

$$n \geq \frac{t^2 * cv^2}{E^2}$$

Em que:

n = número mínimo de ciclos necessários;

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

CV = coeficiente de variação, em porcentagem; e

E = erro admissível, em porcentagem (10%).

2.5. Análise de qualidade

Para a análise da qualidade da colheita foi realizado o inventário pós-desbaste do povoamento, aplicando parcelas experimentais com área de 300 m² (20 x 15 m). Após o desbaste, coletou-se com trena o diâmetro no topo dos tocos, enquanto a altura foi obtida realizando a mensuração de dois valores de altura do toco no sentido da inclinação do terreno e após realizado a média dos dados coletados. Após a mensuração, os tocos foram classificados em bons e ruins, tendo as ruins características de falha de corte ou rachadura, conforme figura 3.



Figura 3. Condições dos tocos após corte mecanizado.

Para as alturas de tocos, foi adotado um limite de 10 cm e, posteriormente, divididos em classes de altura, pois é a variável que apresenta maior influência no replantio da área. Os tocos foram divididos em classes de altura, que é a variável que tem a maior influência no replantio da área, sendo as classes: < 10, 10 ≤ 12, 12 ≤ 14, 14 ≤ 16, 16 ≤ 18, 18 ≤ 20, 20 ≤ 22, 22 ≤ 24, 24 ≤ 26, 26 ≤ 28, 28 ≤ 30, e >30. Foram calculadas as frequências para cada classe.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise operacional da colheita florestal

3.1.1. Derrubada e processamento com *harvester*

A partir do estudo de tempos e movimentos, determinou-se o tempo consumido pelo método de cronometragem para cada elemento do ciclo operacional do *harvester*. Na Figura 4 é ilustrada a distribuição percentual do ciclo operacional *harvester* na operação de derrubada e processamento das árvores.

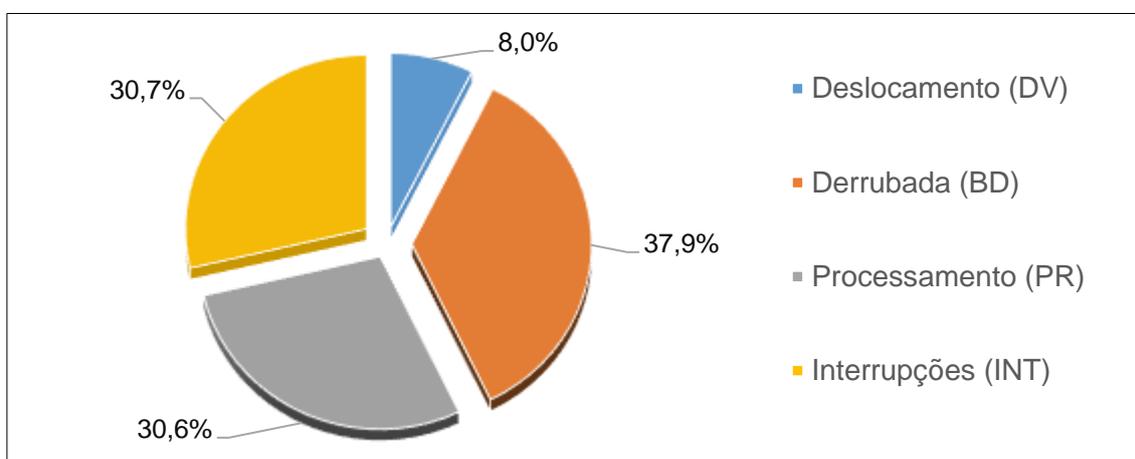


Figura 4. Distribuição percentual dos tempos dos elementos do ciclo operacional da operação de derrubada com *harvester*.

Se forem desconsideradas as interrupções do *harvester*, ou seja, considerar somente o tempo em que a máquina está trabalhando, verifica-se maior participação do elemento derrubada, comparado aos demais (Figura 5).

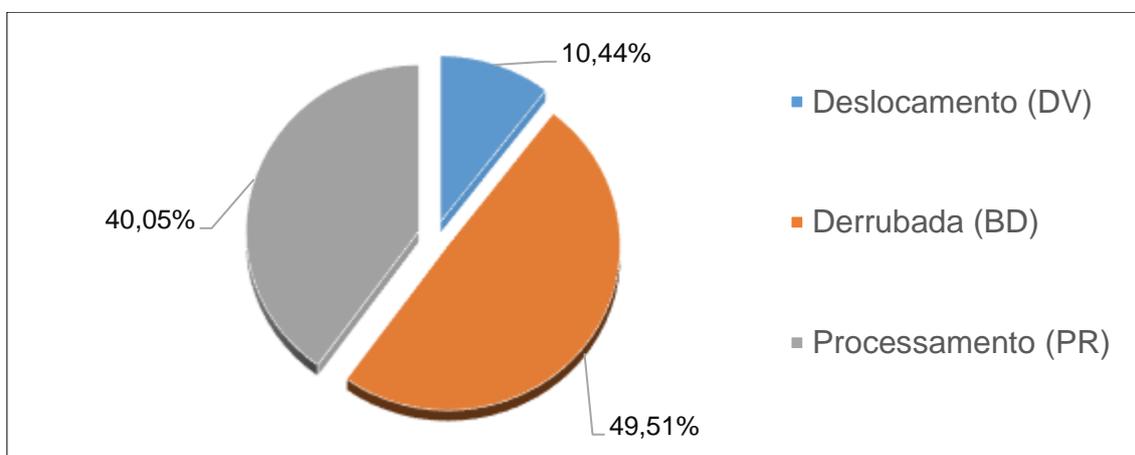


Figura 5. Distribuição percentual dos tempos efetivos do trator florestal *harvester* na operação de derrubada e processamento de árvores; DV: deslocamento vazio da máquina; BD: busca, e derrubada; PR: processamento das árvores.

Observa-se que a maior parte do ciclo operacional efetivo foi utilizado pela tarefa de busca e derrubada das árvores com 49,51% do tempo, seguido do processamento (40,05%) e por último deslocamento vazio da máquina (10,44%). Considerando as interrupções, dentre os diversos motivos destacam-se a manutenção preventiva, manutenção corretiva, limpeza e interrupções não operacionais (Figura 6).

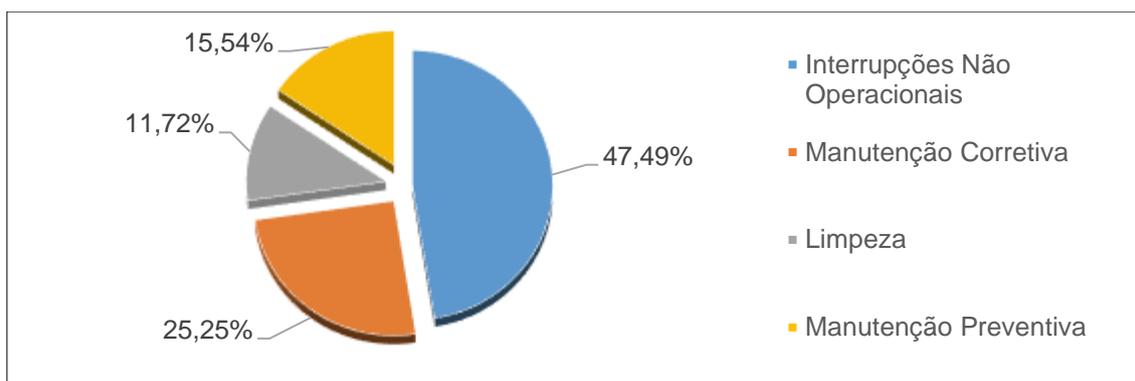


Figura 6. Distribuição percentual das interrupções no ciclo operacional do trator florestal *harvester*.

Dentre as interrupções apresentadas na Figura 6, as causas mais frequentes de paradas foram motivadas por ações não operacionais, que representaram 47,49% do tempo geral, não sendo realizado nenhum tipo de ação, como comunicação com o encarregado e necessidades do operador.

As ações de manutenção preventiva representaram a segunda maior causa de interrupções, 25,25% do tempo, considerando que esta atividade busca reduzir falhas e conduzir a máquina a trabalhar em sua melhor disponibilidade mecânica. Na situação avaliada, os principais tipos de manutenções realizadas foram a afiação de correntes, lubrificação do cabeçote e conjunto de corte, além do abastecimento da máquina com combustível.

Nas Figuras 7 e 8 são representados os tempos efetivos médios de cada elemento do ciclo, juntamente com suas classes de declive e aclive respectivamente.

Pelos resultados, observa-se que a declividade passa a influenciar no ciclo operacional do *harvester* a partir do processo de busca e derrubada (BD). Porém, nota-se que no processamento a declividade pouco influenciou e em situações de maior declividade (acima de 12°) o tempo despendido para realizar as operações de deslocamento vazio, busca e derrubada e processamento ultrapassou os 60 segundos.

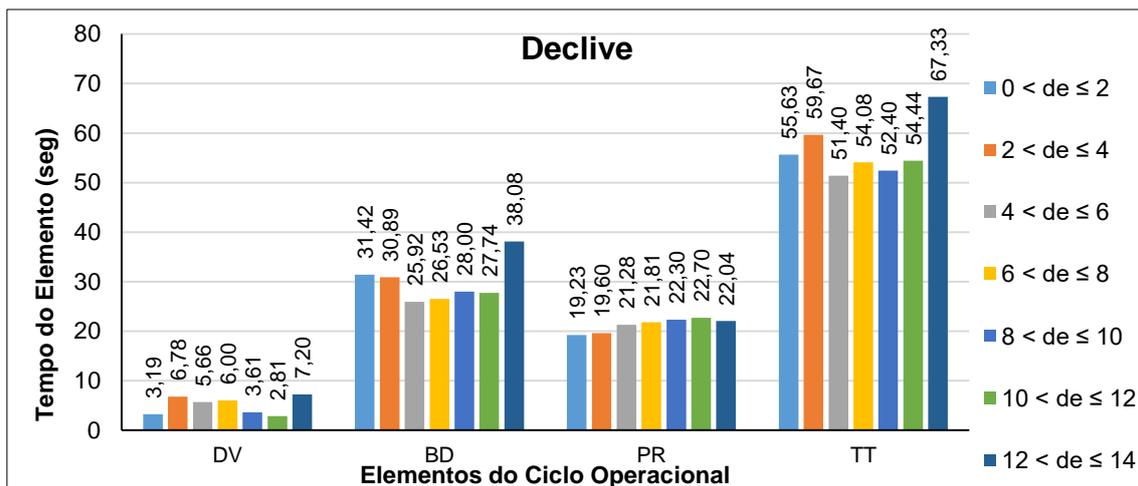


Figura 7. Tempos efetivos médios consumidos pelo *harvester* em cada elemento do ciclo nas determinadas classes de declive. Onde: DV: deslocamento vazio da máquina; BD: busca, e derrubada; PR: processamento das árvores; TT: tempo total.

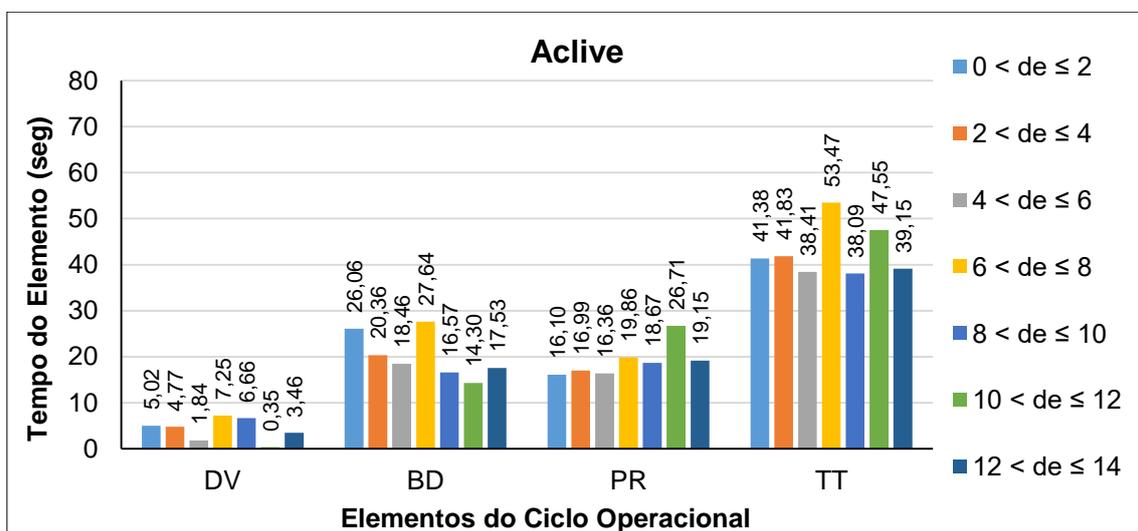


Figura 8. Tempos efetivos médios consumidos pelo *harvester* em cada elemento do ciclo nas determinadas classes de active. Onde: DV: deslocamento vazio da máquina; BD: busca, e derrubada; PR: processamento das árvores; TT: tempo total.

Observa-se que o active passa a influenciar na atividade de busca e derrubada logo na classificação de 0 a 2º e posteriormente 6 a 8º, já no processamento o maior tempo despendido foi na classe de 10 a 12º.

Quanto à disponibilidade mecânica do *harvester*, durante o período analisado, esta foi de 87,93%, superior ao encontrado por Oliveira (2013), com a cultura de Eucalipto, com 7 anos de idades, espaçamento 2,5 x 2,5 m, declividade média de 6%, para o *harvester* (80,1%). No entanto, a disponibilidade encontrada foi inferior ao trabalho de Silva et al. (2010), que apresentou 90,3%,

com trator florestal *harvester* para cultura de *Pinus* no sistema de toras curtas com idade variando de 0 a 35 anos no espaçamento de 2,5 x 2,0 m.

Em relação à eficiência operacional, esta foi de 76,52%, valor menor ao encontrado por Silva (2010), 77,85 %, e superior daquela observada por Cechin (2000), em povoamentos de *Pinus sp*, com idade de 18, 19 e 20 anos, no espaçamento 2,5 x 2,5 m apresentando 68%.

A produtividade nominal ou capacidade produtividade média do *harvester* foi de 14,36 m³ cc h⁻¹, justifica-se este valor baixo no presente estudo em virtude do levantamento ser realizado em áreas de desbaste, que possui uma produtividade menor.

Os valores de disponibilidade mecânica, eficiência operacional, produtividade nominal e efetiva são demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3. Disponibilidade mecânica, eficiência operacional, produtividade nominal e efetiva.

Máquina	Disponibilidade Mecânica (%)	Eficiência Operacional (%)	Produtividade	
			Nominal (m ³ cc h ⁻¹)*	Efetiva (m ³ cc he ⁻¹)**
<i>Harvester</i>	87,93	76,52	14,36	10,99

*Metros cúbicos com casca por hora nominal; **Metros cúbicos com casca por hora efetiva.

A eficiência operacional corresponde a proporção do tempo em que a máquina está ativamente executando suas atividades. Desta maneira pode-se obter uma análise de sensibilidade demonstrando que quanto maior a eficiência operacional menores são os custos de produção considerando um custo de R\$ 18,74 m³ colhido e carregado (Figura 9).

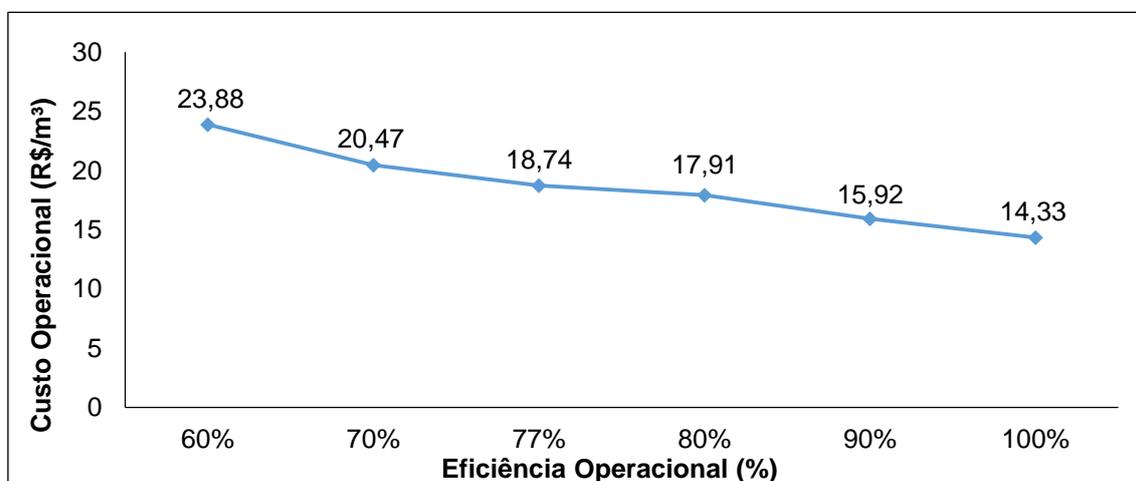


Figura 9. Análise de sensibilidade sobre a eficiência operacional e o custo operacional.

Quando a produção possui eficiência operacional de 60%, os custos por m³ apresentaram-se maiores, a partir desse valor houve um decréscimo nos custos operacionais conforme simulado o aumento da eficiência. Quando comparado as eficiências de 60% e 80% a diferença do custo foi de R\$ 5,97 em cada m³ colhido e carregado.

Os custos operacionais do trator *harvester* foram de R\$ 205,67 he⁻¹ e de R\$ 18,74 m⁻³, ou seja, a cada hora efetiva trabalhada há um custo de R\$ 205,67 e a cada m³ derrubado e processado o custo é de R\$ 18,74.

Os valores dos custos fixos e variáveis por hora efetiva de trabalho são demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4. Custos fixos e variáveis do trator florestal *harvester* por hora efetiva.

Custos fixos (CF)	(R\$.he⁻¹)
Depreciação	19,96
Juros e seguros	40,23
Pessoal operacional	52,08
Total	112,27
Custos variáveis (CV)	
Combustíveis	36,00
Lubrificantes e graxa	7,20
Óleo hidráulico	23,40
Rodados	5,00
Manutenção	12,00
Administrativo	9,80
Total	93,40
Custo operacional	205,67

A Figura 10 ilustra a distribuição percentual dos componentes dos custos operacionais, sendo que pessoal operacional, juros e seguros, e combustível representaram 62,36% dos custos totais, três valores que compõem os maiores custos operacionais.

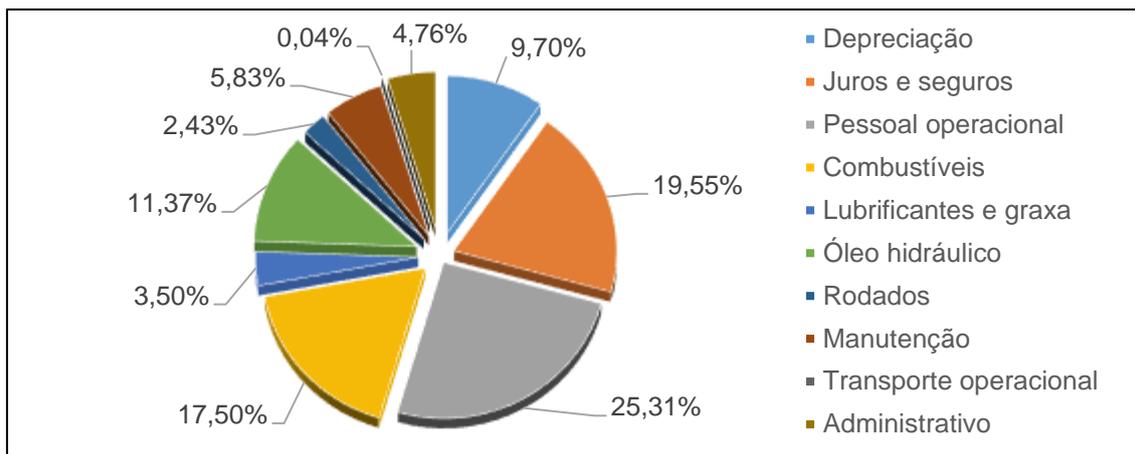


Figura 10. Proporções dos custos no custo total do *harvester*.

O custo operacional total do *harvester* foi de R\$ 205,67 por hora efetiva, valor superior ao relatado por Oliveira (2013a), em povoamentos de Eucalipto localizado no município de Telêmaco Borba, região dos Campos Gerais, estado do Paraná com uma idade de corte de 7 anos, no espaçamento 2,5 x 2,5 m, para trator florestal *harvester* máquina-base: Marca John Deere, modelo 903J, que foi de R\$ 191,70/he⁻¹.

Em uma análise dos custos operacionais apresentados os mesmos são descritos em nove origens, sendo três os custos fixos, esses mensais com mínima chance de redução, porém, para os custos variáveis convém a redução nos gastos do consumo de combustível em que muitos momentos a máquina se encontrava parada contudo ligada sem operação. Outra tentativa de redução dos custos é a melhor utilização dos lubrificantes, graxas e óleo hidráulico, pois a empresa não apresenta controle das trocas.

3.1.2. Extração com *forwarder*

Dentre as atividades do ciclo operacional (Figura 11), a atividade que demandou maior quantidade de tempo foi a manobra e carregamento com 32,33% do tempo total, seguido pela manobra e descarregamento com 21,09%, enquanto a viagem vazio e viagem carregado representaram ambos 5,12% do tempo total. As interrupções ocuparam 36,97% do tempo total dos ciclos.

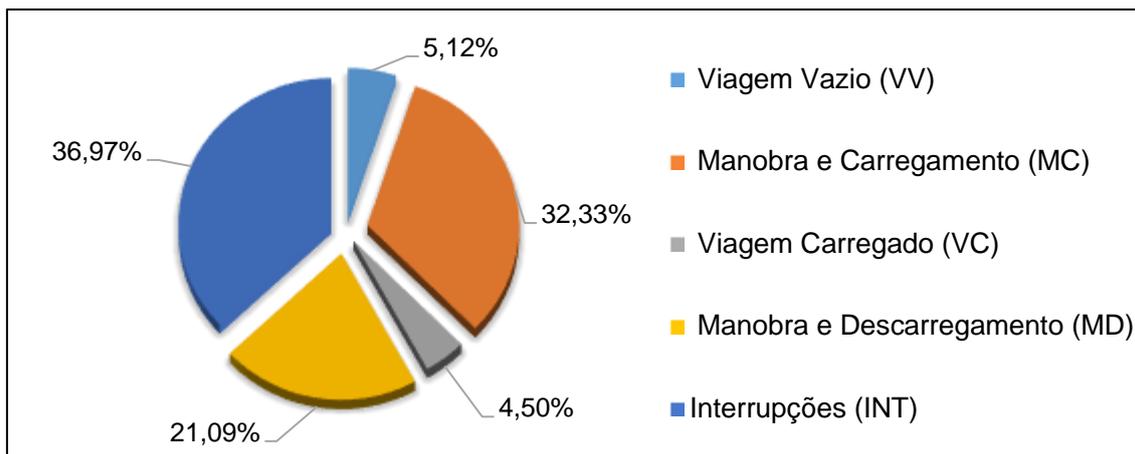


Figura 11. Distribuição percentual do ciclo operacional do *forwarder* no sistema de colheita de toras curtas.

Bantel (2006) avaliando o “baldeio” de toras de eucalipto em florestas de primeira e segunda rotação também observou que o carregamento e descarregamento foram responsáveis pela maior parte do tempo do ciclo operacional do *forwarder*. Minette et al. (2004), avaliando a atividade de “baldeio” de toras por um *forwarder* em diferentes subsistemas de colheita, verificaram que o carregamento e descarregamento ocuparam juntos em torno de 56% do tempo total, resultado semelhante ao encontrado no presente estudo, onde manobra e descarregamento consumiram 53% do tempo total do ciclo.

O elevado tempo de interrupções pode ser atribuído a operações de manutenção preventiva (Figura 11), que é a manutenção que visa o trabalho da máquina em seu estado ótimo de mecânica, assim otimizando o uso do equipamento.

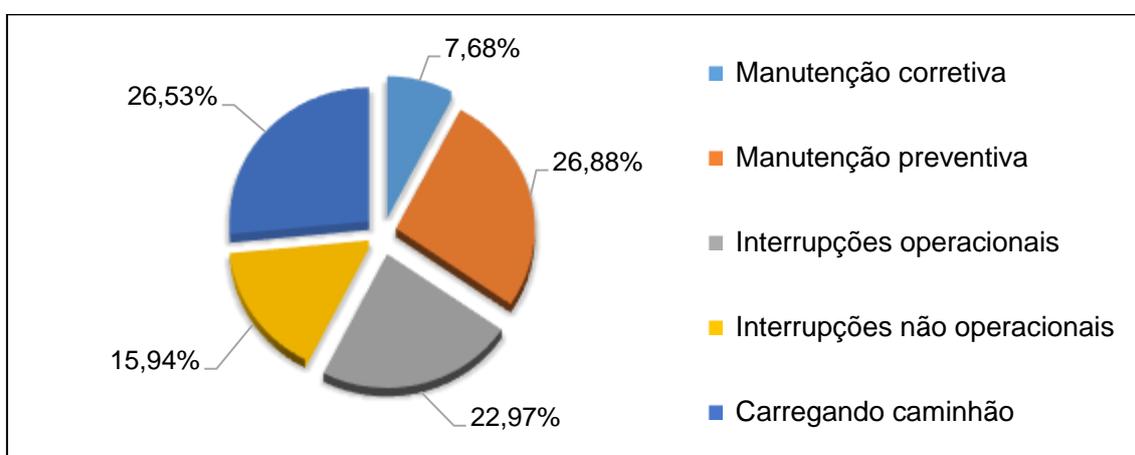


Figura 12. Distribuição percentual das interrupções do *forwarder* no sistema de colheita de toras curtas.

A manutenção preventiva foi responsável por 26,88% das interrupções, ocasionadas principalmente pela lubrificação da máquina. Linhares et al. (2012), citam que investir em manutenção preventiva juntamente com inspeções, são medidas necessárias para se reduzir as paradas corretivas, que são indesejáveis, por não apresentarem previsibilidade e onerar os custos.

Com relação ao carregamento de caminhões, este representou 26,53%, sendo explicadas principalmente por motivos de manutenção do carregador, e a necessidade de carregamento direto da caixa de carga do *forwarder* para a carroceria do caminhão. As interrupções operacionais e não operacionais, consumiram 22,97% e 15,94% respectivamente. A manutenção corretiva (7,68%) visa corrigir o equipamento quando este apresenta problemas mecânicos.

Observa-se na Figura 13 que todos os elementos do ciclo operacional, exceto a viagem vazio foram diretamente influenciados pela distância de extração.

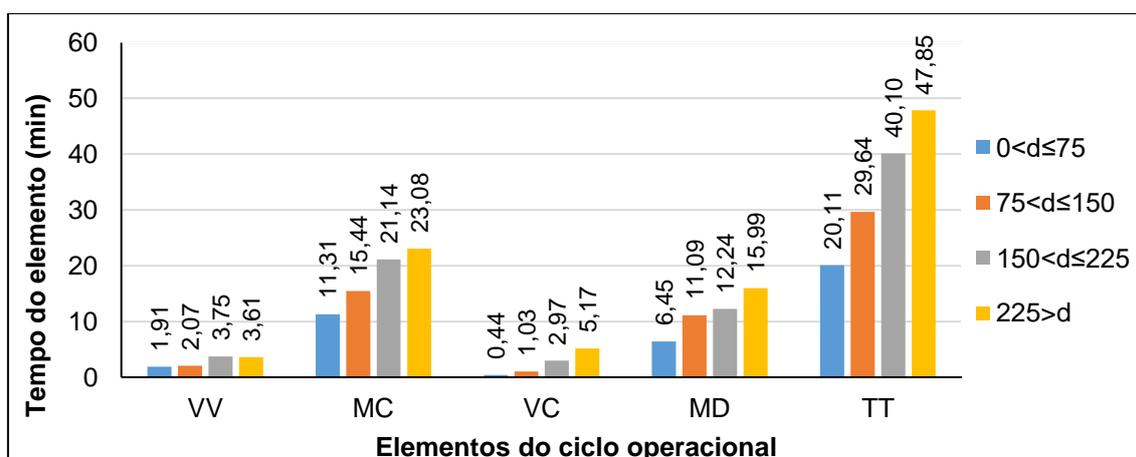


Figura 13. Tempos médios do ciclo operacional consumidos pelo *forwarder* nas diferentes classes de distância de extração.

Para o tempo total efetivo da operação de extração, constatou-se haver uma diferença significativa com a distância de extração, mostrando a sua influência no tempo do ciclo operacional e assim na produtividade do trator florestal *forwarder*.

Outro fator influente no ciclo operacional e na produtividade do *forwarder* é a declividade do terreno, sendo esta influente na operação acima de 10° (Figura 14).

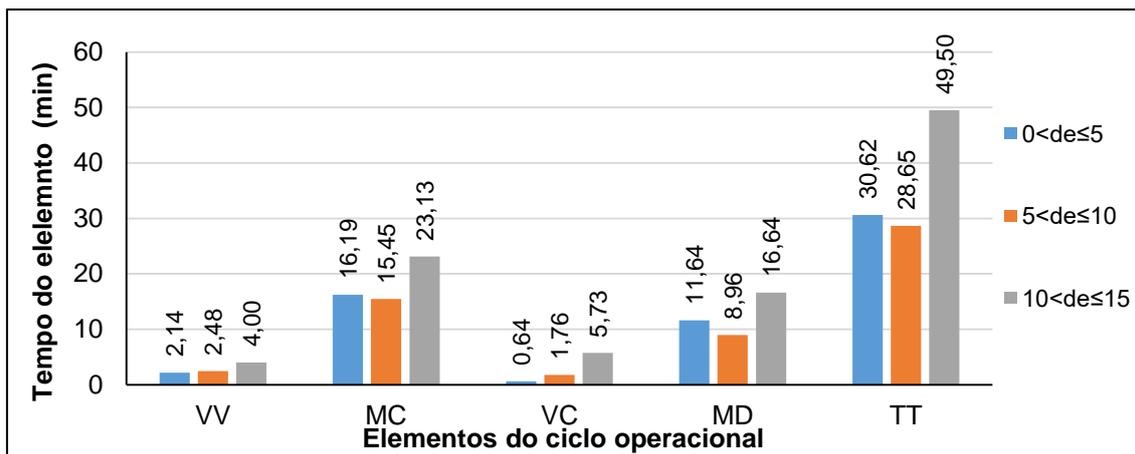


Figura 14. Tempos médios do ciclo operacional consumidos pelo *forwarder* nas diferentes classes de declividade do terreno.

No tempo total do ciclo operacional há uma tendência de maiores tempos do ciclo operacional em declividades acima de 10°, assim influenciando diretamente na produtividade do trator florestal *forwarder*.

A disponibilidade mecânica do *forwarder* foram de 87,20%. A eficiência operacional foi de 63,0%, estando abaixo dos 70,0% que é recomendado por Machado (1989).

Para o sistema de colheita de toras curtas estudado, o *forwarder* apresentou médias de produtividade nominal e efetiva de 24,90 m³cc/h e 15,70 m³cc/he (Tabela 5). A baixa produtividade encontrada no presente estudo é explicada além do baixo comprimento das toras, pelo estudo ser realizado em áreas de desbaste, onde a produtividade tende a ser menor quando comparada a áreas de corte raso.

Tabela 5. Disponibilidade mecânica, eficiência operacional, produtividade nominal e efetiva.

Máquina	Disponibilidade Mecânica (%)	Eficiência Operacional (%)	Produtividade	
			Nominal (m ³ cc h ⁻¹)*	Efetiva (m ³ cc he ⁻¹)**
<i>Forwarder</i>	87,20	63,00	24,90	15,70

*Metros cúbicos com casca por hora nominal; **Metros cúbicos com casca por hora efetiva.

A eficiência operacional influencia de maneira direta sobre os custos de produção das máquinas de colheita (Figura 15).

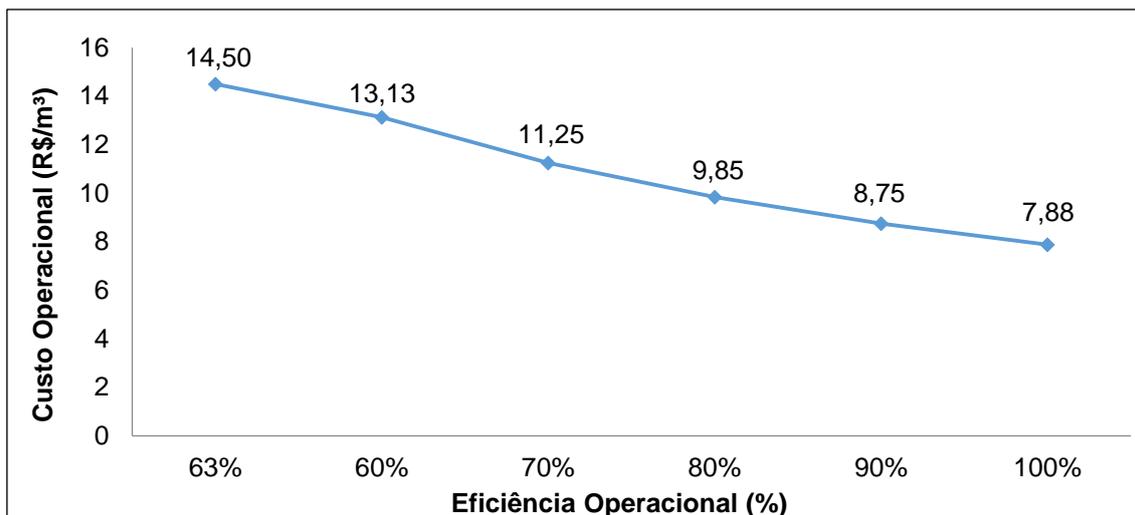


Figura 15. Análise de sensibilidade sobre a eficiência operacional e o custo operacional.

Os custos operacionais do *forwarder* foram de R\$ 227,69/he e de R\$ 14,50/m³, ou seja, a cada hora efetiva trabalhada há um custo de R\$ 227,69 e a cada m³ baldeado o custo é de R\$ 14,50.

Tabela 6. Custos fixos e variáveis do trator florestal *forwarder* por hora efetiva trabalhada.

Custos fixos (CF)	(R\$.he-1)
Depreciação	R\$ 32,00
Juros e seguros	R\$ 28,85
Pessoal operacional	R\$ 12,50
Total	R\$ 73,35
Custos variáveis (CV)	
Combustíveis	R\$ 68,47
Lubrificantes e graxa	R\$ 13,69
Óleo hidráulico	R\$ 34,24
Rodados	R\$ 6,75
Manutenção	R\$ 20,00
Transporte operacional	R\$ 0,35
Administrativo	R\$ 10,84
Total	R\$ 154,34
Custo operacional	R\$ 227,69

Os custos operacionais do *forwarder* são divididos em custos fixos, que são aqueles que acontecem mesmo sem produção, e custos variáveis, que acontecem somente que há produção. Os valores dos custos fixos e variáveis por hora efetiva de trabalho são demonstrados na tabela 6.

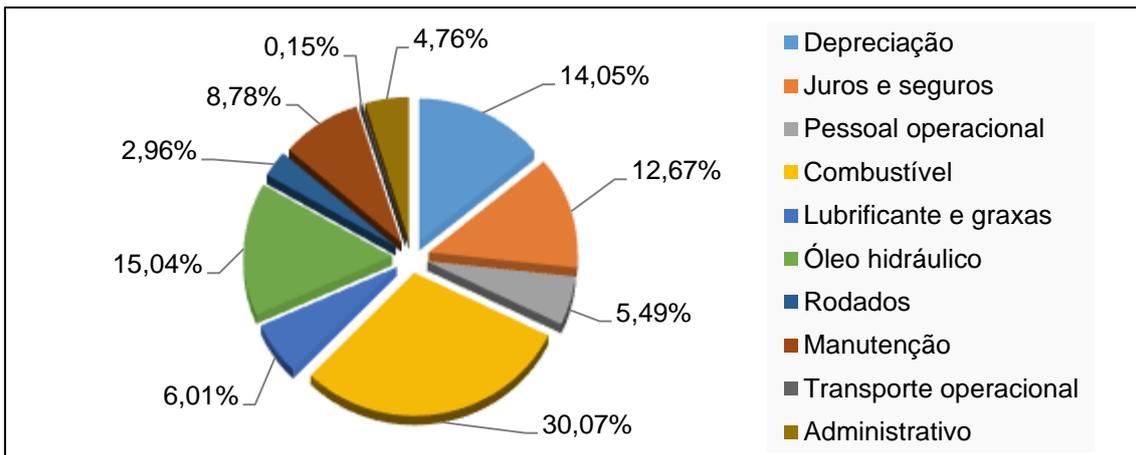


Figura 16. Proporções dos custos no custo total do *forwarder*.

As proporções destes custos no custo total são apresentadas na Figura 16. Os custos mais expressivos do *forwarder* são o de combustível, devido ao alto consumo demandado pela atividade da máquina, o de óleos hidráulicos, pela alta proporção de óleo utilizado pela máquina, e o custo de depreciação explicado pelo alto valor de aquisição da máquina.

3.2. Análise da qualidade das operações

Os resultados mostraram um resultado razoável para a derrubada com *harvester*, onde tocos acima do limite desejado (10 cm) representaram 75,7% e 24,3% ficaram abaixo dos 10 cm.

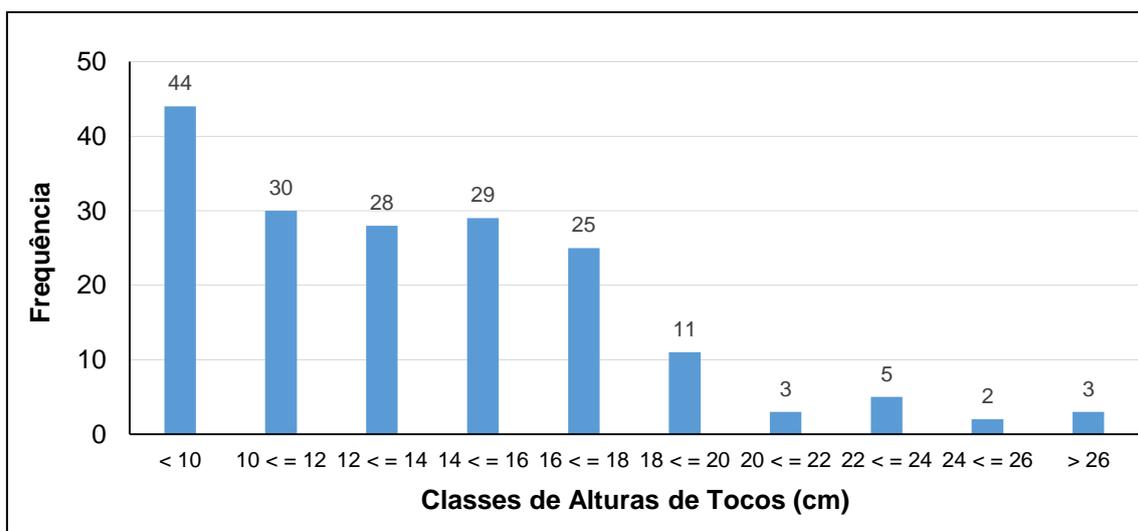


Figura 17. Histograma de frequência das diferentes classes de altura de tocos.

A maior altura encontrada foi de 37 cm e a menor de 2,5 cm. Houve maior ocorrência de tocos na classe de < 10 cm, com 44 tocos, seguido pelas classes de 10 a 12, 14 a 16, e 12 a 14, com 30, 29 e 28 tocos respectivamente, e a classe com menor frequência foram as classes de 24 a 26 cm, com uma ocorrência de 2 tocos (Figura 17).

As ocorrências de certa proporção de tocos acima dos padrões podem ser explicadas por motivos de danos que podem ser ocasionados no contato do sabre da máquina com pedras ou solo em locais com declividade acentuada onde o corte tende a ser mais alto e em locais pedregosos.

A ocorrência de tocos acima dos padrões de qualidade desejados nas empresas acarreta em dificuldades no replantio, além da perda de madeira e, assim em uma perda econômica, diminuindo as receitas. Esta perda é ocasionada na tora de maior valor econômico (primeira tora) onde se encontra a madeira de melhor qualidade (livre de nós), e com os maiores diâmetros.

4. CONCLUSÃO

O sistema de colheita empregado na operação de primeiro desbaste nos povoamentos de *Pinus taeda* L. da empresa apresentou:

- Para o *harvester*, maior tempo foi consumido com as atividades de busca e derrubada, representando 37,90% do ciclo operacional, o que implica na necessidade de medidas que possibilitem a otimização das operações.
- As interrupções do *harvester* tomaram 30,7% do ciclo operacional, dentre os motivos destaca-se as não operacionais que representaram 47,49% do tempo, mostrando a necessidade de um planejamento mais eficaz das operações para obter-se uma maior produtividade efetiva e menores custos de produção.
- Na declividade de 12° a 14° o ciclo de busca e derruba do *harvester* foi o mais afetado em tempo.
- No aclave o ciclo que gastou maior tempo foi busca e derruba do *harvester* na classe de 0° a 2°, contudo no processamento o maior tempo foi na classe de 10 a 12°.
- A disponibilidade mecânica do *harvester* foi de 87,93%, eficiência operacional de 76,52% e custo total da operação de R\$ 18,74/m³.

- O *forwarder* apresentou alta quantidade de interrupções no seu ciclo, com uma baixa eficiência operacional por ser uma máquina nova, assim tendo altos custos de produção.
- Para o tempo total efetivo da operação constatou-se diferença significativa com a distância de extração mostrando influência no tempo do ciclo operacional.
- Em declividade superior a 10° o ciclo operacional e a produtividade do *forwarder* são diretamente afetadas.
- A disponibilidade mecânica do *forwarder* foi de 87,2%, eficiência operacional de 63,0% e custo total da operação de 14,50/m³.
- O custo total da colheita florestal é de R\$ 37,88/m³.
- Tocos acima do limite desejado (10 cm) representaram 75,7%, ou seja, perda econômica do melhor sortimento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - Associação Brasileira de Produtos de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico**, 2013 ano base 2012. Brasília, 2013.

AKAY, A.E.; ERDA, O.; SESSIONS, J. Determining productivity of mechanized harvesting machines. **Journal of Applied Sciences**, v.4, n.1, p.100-105, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA). **Relatório Estatístico 2011/2012**. 2012. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2012.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2012.

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

BARNES, R. M. **Motion and time study: design and measurement of work**. 6.ed. New York: John Wiley & Sons, 1968, 799p.

CECHIN, F. N. Análise da eficiência e do desempenho operacional das máquinas e dos equipamentos utilizados no corte raso de povoamentos florestais na região do planalto norte de Santa Catarina. 2000. 136 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

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

DAVEL, M. **Manejo de plantaciones: Boletín Técnico**. Argentina: Centro de Investigación Extension Forestal Andino Patagónico, Universidad Nacional de la Patagonia, 2009. 16 p.

DUARTE, R. C. G. **Sistema de corte florestal mecanizado**. 1994. 21 f. Monografia (Exigência para conclusão do curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

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

FONTES, J. M.; MACHADO, C. C. **Manutenção mecânica**. In: MACHADO, C. C. (Ed.). Colheita florestal. Viçosa: UFV, p. 243-291. 2002.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Dados e estatísticas**. Disponível em: <<http://www.iba.org/pt/dados-e-estatisticas>>. Acesso em 15/08/2016.

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

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

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2008. p. 43-65.

LIGNE, D. **New technical and alternative silvicultural approaches to pre-commercial thinning.** 2004. 140 f. Doctoral Thesis. Department of Silviculture, Swedish University of Agricultural Sciences. Umea, Sweeden.

LINHARES, M.; et al. **Eficiência e desempenho operacional de máquinas harvester e forwarder na colheita florestal.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012.

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

MACHADO, C. C. **Exploração florestal**, 6 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1989. 34 p.

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

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

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

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

OLIVEIRA, D. Análise operacional e custos de sistema de colheita de madeira em povoamentos de Eucalipto. 2013, 99 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro Oeste UNICENTRO, Irati/PR.

PETTY, A.; KARHA, K. Kembra supports and the profitability of small-sized wood harvesting from early thinnings in Finland. In: SUADICANI, K.; TALBOT, B. **The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations, Working Papers No 30.** Horsholm: University of Copenhagen, Forest & Landscape Denmark, 2008. 92 p.

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

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

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

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

SILVA, E. N. et al. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de pinus sp. com *harvester*. **Revista Árvore**, v. 15, n. 4, p. 32-41 2010.