

**DESEMPENHO OPERACIONAL E
CUSTOS DO *HARVESTER* NO DESBASTE
DE *Pinus taeda***

IRATI

2016

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

**DESEMPENHO OPERACIONAL E
CUSTOS DO *HARVESTER* NO DESBASTE
DE *Pinus taeda***

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MARIO RODOLFO BOFF BURGIM

IRATI - PR

2016

MARIO RODOLFO BOFF BURGIN

**DESEMPENHO OPERACIONAL E CUSTOS DO HARVESTER NO DESBASTE
DE *Pinus taeda***

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

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes
Orientador

Prof^a. Dr^a. Andrea Nogueira Dias
Co-orientadora

IRATI – PR

2016

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

BURGIN, Mario Rodolfo Boff.

B956 Desempenho operacional e custos do *Harvester* no desbaste de *Pinus taeda* /
Mario Rodolfo Boff Burgin. – Irati, PR : [s.n], 2016.
70 f.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Andrea Nogueira Dias

Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

Área de concentração em Ergonomia, Colheita e Transporte Florestal.

Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR.

1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Ergonomia. 3. Colheita. 4. Transporte florestal – madeira. 5. Produtividade - declividade. 6. Desbaste misto. I. Lopes, Eduardo da Silva. II. Dias, Andrea Nogueira. III. UNICENTRO. IV. Título.

CDD 585.2

TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa Nº 95

Mario Rodolfo Boff Burgin

“Desempenho operacional e custos do *harvester* no desbaste de *Pinus taeda*”

Dissertação aprovada em 29/08/2016, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:



Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert
Universidade Federal do Paraná
Primeiro Examinador



Dr. Nilton César Fiedler
Universidade Federal do Espírito Santo
Segundo Examinador



Dr. Gabriel de Magalhães Miranda
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Terceiro Examinador



Dr. Eduardo da Silva Lopes
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR
2016

A

DEUS,

AGRADEÇO.

Aos meus queridos e amados pais
Genei Boff Burgin e Oscar Burgin,
pelo enorme apoio e imenso amor
doado e ao meu grande irmão
Elton Giovane Burgin.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente em minha caminhada.

À minha família e aos meus familiares, em especial aos meus pais Oscar Burgin e Genei Boff Burgin, e meu irmão Elton Giovane Burgin, pela oportunidade e incentivo para realizar este sonho.

À minha noiva Cintia da Conceição Costa, pelo companheirismo, amparo, amor, paciência, carinho e dedicação em todos os momentos desde o início desta caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes, pela valiosa orientação, amizade, estímulo, compreensão e confiança depositada no desenvolvimento e conclusão do trabalho.

À Prof^a. Dra. Andrea Nogueira Dias, pela co-orientação, amizade e boa vontade, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e ao Departamento de Engenharia Florestal, pelo acolhimento e possibilidade de realização do programa de mestrado.

Aos gerentes, supervisores e operadores da área de colheita florestal da empresa REMASA, pela oportunidade de desenvolver a pesquisa a campo.

Aos meus velhos amigos que se fazem presentes nestes momentos, Ricardo Murilo Malheiros e Diego Oro, e aos novos amigos Edson Serpe, Anderson Paini e sua namorada Luana Posser, Marcos Leandro Garcia, João Paulo de Lara, Marçal Akira, Cristian Reinnelli, Silvio Carolo, Josmar Viana e todos os demais colegas da pós-graduação e do futebol brasino, que foram fundamentais nesta trajetória.

Agradeço a CAPES pela bolsa de estudos e todos aqueles que de certa forma foram presentes neste período de Mestrado e fazem parte deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Setor de florestas plantadas	4
3.2 Plantios de Pinus no Brasil	4
3.3 Desbaste em plantios florestais.....	6
3.3.1 Conceito e aplicação do desbaste	6
3.3.2 Efeitos do desbaste	7
3.3.3 Tipos de desbaste	8
3.3.4 Intensidade do desbaste.....	10
3.4 Sistema de colheita da madeira aplicado ao desbaste.....	11
3.4.1 Sistema de toras curtas (<i>Cut-to-length</i>).....	11
3.5 Mecanização na execução do desbaste.....	12
3.5.1 <i>Harvester</i>	13
3.5.2 <i>Forwarder</i>	14
3.6 Fatores de influência na produtividade das máquinas.....	15
3.6.1 Diâmetro das árvores.....	15
3.6.2 Volume individual.....	16
3.6.3 Volume por hectare	17
3.6.4 Declividade do terreno	17
3.6.5 Espaçamento	18
3.6.6 Sortimento e comprimento da madeira	19
3.6.7 Experiência do operador	19
3.7 Modelagem na estimativa da produtividade.....	20
3.8 Estudo de tempos e movimentos	21
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1 Caracterização da área de estudo.....	23
4.2 Sistema de colheita de madeira	24
4.3 Descrição dos métodos de desbaste.....	25

4.4 Seleção da área experimental	27
4.5 Análise técnica.....	28
4.5.1 Estudo de tempos e movimentos	28
4.5.2 Determinação do grau de disponibilidade mecânica (DM).....	30
4.5.3 Determinação do grau de disponibilidade técnica (DT).....	30
4.5.4 Determinação da eficiência operacional (EO)	30
4.5.5 Determinação da produtividade (PR).....	31
4.5.6 Determinação do rendimento energético (RE).....	31
4.6 Análise de Custo	32
4.6.1 Custo operacional.....	32
4.6.2 Custo de produção (CPR).....	36
4.7 Estimativa da produtividade da máquina.....	37
4.8 Análise estatística	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 Análise Técnica	39
5.1.1 Ciclo operacional da máquina	39
5.1.2 Disponibilidade mecânica e técnica e eficiência operacional	44
5.1.3 Produtividade	45
5.2 Consumo específico e rendimento energético	48
5.3 Análise dos custos operacionais e de produção.....	49
5.4 Estimativa da produtividade do <i>harvester</i>	53
6. CONCLUSÕES	58
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
8. ANEXOS	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo.....	23
Figura 2. <i>Harvester</i> utilizado no corte do povoamento submetido ao desbaste.....	25
Figura 3. Esquema de execução do desbaste combinado (sistemático e seletivo).	26
Figura 4. Distribuição percentual do ciclo operacional do harvester na execução do corte florestal nas declividades do terreno.	39
Figura 5. Distribuição percentual do tempo efetivo do ciclo operacional do harvester no corte florestal em ambas declividades do terreno.....	41
Figura 6. Distribuição percentual das causas das interrupções do <i>harvester</i> na execução do corte florestal em ambas as declividades do terreno.	42
Figura 7. Percentual de madeira por sortimento processada pelo <i>harvester</i> na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.	47
Figura 8. Percentual de volume processado pelo <i>harvester</i> na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.	48
Figura 9. Distribuição percentual dos custos operacionais do harvester na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.	51
Figura 10. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do <i>harvester</i> na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.....	52
Figura 11. Estimativa da produtividade efetiva do <i>harvester</i> no corte de povoamento de pinus no primeiro desbaste na declividade de 0° a 12°.....	55
Figura 12. Estimativa da produtividade efetiva do harvester no corte de povoamento de pinus no primeiro desbaste na declividade de 12,1° a 24°.....	55
Figura 13. Variação da produtividade estimada em função da declividade do solo e volume individual para o <i>harvester</i> no sistema de toras curtas.	56
Figura 14. Distribuição dos resíduos referentes aos modelos ajustados.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características métricas do povoamento florestal estudado.	24
Tabela 2. Caracterização dos produtos obtidos na operação de desbaste.....	27
Tabela 3. Formas de relevo e limites de declividade para avaliação das áreas.	27
Tabela 4. Atividades parciais do ciclo operacional do <i>harvester</i>	29
Tabela 5. Parâmetros estatísticos do estudo piloto para cálculo da quantidade mínima de amostragem referentes às etapas de colheita de madeira em ambas as declividades avaliadas.	29
Tabela 6. Modelos utilizados para estimativa da produtividade do <i>harvester</i> (m ³ .h ⁻¹).	37
Tabela 7. Teste de normalidade (alfa = 5%).....	38
Tabela 8. Tempo percentual do ciclo operacional do <i>harvester</i> no corte florestal em ambas as declividades do terreno.	43
Tabela 9. Disponibilidade mecânica, técnica e eficiência operacional do <i>harvester</i> nas classes de declividade do terreno.....	44
Tabela 10. Produtividade do <i>harvester</i> na execução do desbaste nas classes de declividade do terreno.	46
Tabela 11. Consumo de combustível, consumo específico e rendimento energético do <i>harvester</i> na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.	49
Tabela 12. Custos fixos e variáveis do <i>harvester</i> na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.	50
Tabela 13. Custos operacionais e de produção do <i>harvester</i> na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.....	53
Tabela 14. Coeficientes e estatísticas das equações ajustadas para estimativa da produtividade do <i>harvester</i>	54

RESUMO

Mario Rodolfo Boff Burgin. Desempenho operacional e custos do *harvester* no desbaste de *pinus taeda*.

Esta pesquisa objetivou avaliar o desempenho operacional do trator florestal *harvester* no corte de povoamentos de *Pinus taeda* submetidos ao regime de desbaste em duas declividades do terreno, visando auxiliar o planejamento das operações, aumento da produtividade e redução dos custos de produção. O estudo foi realizado em uma empresa florestal localizada na região sul do estado do Paraná, em povoamentos de *Pinus taeda* com 10 anos de idade, submetido ao primeiro desbaste misto (sistemático e seletivo), nas classes de declividade do terreno de 0° a 12° e 12,1° a 24°. A análise técnica foi realizada por meio de um estudo de tempos e movimentos pelo método de multimomento, analisando as atividades parciais do ciclo operacional, suas interrupções operacionais e não-operacionais, e determinando as disponibilidades mecânica e técnica, eficiência operacional, produtividade e rendimento energético. A análise de custos foi realizada pela determinação dos custos operacionais e de produção. A produtividade do *harvester* foi estimada por meio de equações de regressão, em função de declividade do terreno e do volume individual das árvores, selecionando-se o melhor modelo estatístico para predição da produtividade da máquina. Os resultados mostraram que a atividade parcial que consumiu o maior tempo do ciclo operacional do corte foi o processamento das árvores, com média de 35,2% em ambas as declividades do terreno. A produtividade do *harvester* diminuiu com o aumento da declividade do terreno, atingindo uma produtividade média de 21,64 m³ cc he⁻¹ e 19,40 m³ cc he⁻¹ nas classes de 0° a 12° e 12,1° a 24°, resultando em um custo de produção de R\$ 8,65/m³ e R\$ 10,15/m³, respectivamente. A produtividade da máquina diminuiu com o aumento da declividade do terreno, bem como aumentou com o incremento do volume individual das árvores. As variáveis declividade do terreno e volume individual por árvore estimou a produtividade do *harvester*, com um coeficiente de determinação de 0,98, com 10,49% de erro padrão da regressão, demonstrando a influencia destas variáveis na produtividade da máquina.

Palavras-chave: Colheita de madeira, declividade, desbaste misto, produtividade.

ABSTRACT

Mario Rodolfo Boff Burgin. Operating performance and *harvester* costs in thinning *Pinus taeda*.

This research aimed to evaluate the operating performance of the harvester in cutting loblolly *Pinus taeda* subjected to thinning regime in two terrain slope, aiming to help the planning of operations, increasing productivity and reducing production costs. The study was carried out in a forestry company located in the southern state of Paraná, in 10 years old *Pinus taeda* submitted to the first mixed thinning (systematic and selective), covering the land slope classes from 0° to 12° and 12.1° to 24°. Technical analysis was conducted from a study of time and movement by multimomento method by analyzing the operating cycle and its operational interruptions and non-operational partial activities, and determining the mechanical availability and technical, operational efficiency, productivity and energy efficiency. The cost analysis was performed by the determination of operating and production costs. It's been estimated by regression equations, the harvester's productivity in of function of the declivity and individual volume of trees by selecting the best statistical model for machine productivity prediction. The results showed that partial activity that's consumed the longest time of the cutting operating cycle was the processing of trees, averaging 35.2% in both land slopes. The Harvester's productivity decreased along the increasing slope, reaching an average of 21.64 m³ cc h⁻¹ and 19.40 m³ cc h⁻¹ in classes from 0° to 12° and 12.1 to 24, making a production cost of R\$ 8.65/m³ and R\$ 10.15/m³, respectively. The machine's productivity decreased along the steepness of the terrain increasing, as well as increased as the volume of individual trees. The variables steepness and individual volume per tree estimated the productivity, with a determination coefficient of 0.98 with 10.49% standard error of the regression, demonstrating the influence of these variables on the machine's productivity.

Keywords: Wood harvesting, declivity, mixed thinning, productivity.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os plantios florestais são considerados como uma das principais atividades do agronegócio, visando à produção de madeira e derivados, tornando-se de grande importância econômica e social para o país. Com isso, há uma necessidade de aperfeiçoamento das técnicas e operações de suprimento de madeira, tendendo a alcançar altos índices de rendimento e produção.

A utilização de tecnologias modernas nas diversas etapas do processo produtivo vem sendo empregada por diversas empresas do setor florestal brasileiro, desde a produção das mudas até a entrega da madeira nos pátios industriais. No entanto, para que o setor florestal continue se desenvolvendo de forma sustentável é necessária a otimização dos processos produtivos que são altamente dispendiosos do ponto de vista econômico.

E dentre as atividades do setor florestal, a colheita da madeira é considerada uma das atividades mais importantes, devido à sua elevada participação no custo de produção, sendo responsável por mais de 50% do custo final da madeira. Portanto, em função disso, deve-se realizar o planejamento adequado das atividades, considerando os aspectos técnicos, econômicos, ambientais, ergonômicos e sociais.

Atualmente, existe uma grande variedade de máquinas e combinações de sistemas de colheita da madeira, sendo que, atualmente o modelo mais empregado no Brasil, aplicado ao desbaste de florestas plantadas de pinus é o sistema de toras curtas (*Cut-to-length*), composto principalmente pelas máquinas *harvester* e *forwarder*, sendo a primeira responsável pela derrubada e processamento da madeira em toras, enquanto a segunda realiza a extração da madeira na forma de baldeio do interior do povoamento até à margem da estrada. Nesse contexto, o *harvester* é a máquina fundamental utilizada na derrubada e processamento, que em alguns casos, consiste no descascamento, desgalhamento e corte em toras de diferentes comprimentos.

É importante ressaltar que a execução da colheita de madeira em povoamentos submetidos ao desbaste apresenta elevados custos e grande complexidade, quando comparados ao corte raso. Tal fato deve-se à dificuldade de deslocamento e execução das operações pelas máquinas, devido aos espaços reduzidos existentes no interior do povoamento, além da influência de diversas variáveis operacionais, como declividade

do terreno, espaçamento, volume e diâmetro das árvores, volume por hectare, sortimento, comprimento da madeira e habilidade do operador, dentre outros.

Por isso, para o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, torna-se importante a realização de estudos visando obter a produtividade e custos reais das máquinas nas diversas condições operacionais, bem como entender o comportamento das variáveis nas operações florestais, possibilitando contribuir para a melhoria da gestão das operações, aumento da eficiência e produtividade e redução dos custos das operações.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Esta pesquisa teve por objetivo avaliar o desempenho operacional e custos do trator florestal *harvester* no corte de povoamentos de *Pinus taeda* submetido ao primeiro desbaste em duas condições de declividade do terreno, visando auxiliar no planejamento das operações, aumento da produtividade e redução dos custos de produção.

2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar as atividades parciais do ciclo operacional da máquina na execução do desbaste, determinando os tempos produtivos e improdutivos e suas respectivas causas;
- b) Determinar as disponibilidades mecânica e técnica, a eficiência operacional, a produtividade, o rendimento energético, os custos operacionais e de produção da máquina na execução do desbaste; e
- c) Ajustar modelos para estimativa da produtividade da máquina na execução do desbaste em função de algumas variáveis operacionais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Setor de florestas plantadas

O setor de florestas plantadas representa um dos principais indicadores de interesse para a sociedade brasileira em termos econômicos, sociais e ambientais, devido à geração de impostos, às exportações e investimentos, aos empregos gerados e as contribuições ao meio ambiente (BRACELPA, 2015).

Atualmente, o Brasil possui em torno de 7,74 milhões de hectares de área com florestas plantadas, sendo 5,56 milhões com plantios do gênero *Eucalyptus* (71,9%) e 1,59 milhões com plantios de *Pinus* (20,5%) (IBÁ, 2015).

Do ponto de vista econômico, o setor tem sido responsável, anualmente, por aproximadamente 5,5% do Produto Interno Bruto (PIB), representando um valor bruto de produção da ordem de R\$ 60,6 bilhões. Já as exportações somaram em torno de R\$ 28,5 bilhões, equivalente a 3,8% das exportações brasileiras, conforme a Indústria Brasileira de Árvores.

O setor de florestas plantadas também é responsável por aproximadamente 4,2 milhões de empregos diretos e indiretos, sendo que em 2014, o número de empregos mantidos de forma direta foi de 610 mil, com renda de R\$ 11,6 bilhões. Por fim, do ponto de vista ambiental, as atividades do setor de florestas plantadas colaboram de forma expressiva para a preservação e a recuperação de ecossistemas, ao proteger, aproximadamente, 5,43 milhões de hectares de áreas naturais, além da proteção de uma área significativa de habitats naturais (IBÁ, 2015).

3.2 Plantios de Pinus no Brasil

As distintas espécies de *Pinus* foram introduzidas no Brasil por volta de 1936, pelo Instituto Florestal de São Paulo (KRONKA *et al.*, 2005). Em 1948, segundo Shimizu (2006), por meio do Serviço Florestal do Estado de São Paulo, foram introduzidas para ensaios, as espécies americanas conhecidas nas origens como "pinheiros amarelos". Dentre essas espécies, o *Pinus taeda*, que teve como objetivo

substituir a madeira da *Araucaria angustifolia* que se encontrava em rápido processo de exaustão.

Os plantios do gênero *Pinus* foram acelerados a partir da década de 1960, com a criação da política de incentivos fiscais, onde áreas foram ocupadas, predominantemente, com *Pinus taeda* e *Pinus elliotti var. elliotti*, formando assim, a base para atividades industriais na época (SHIMIZU, 1997; FERREIRA *et al.*, 2001)

O estado do Paraná, segundo IBÁ (2015) lidera o *ranking* de área plantada de *Pinus* no Brasil, com 42,4% da área total, correspondendo a 673.769 mil hectares, seguido por Santa Catarina, com 34,1% e Rio Grande do Sul com 11,6% da área plantada em todo o território brasileiro.

O *Pinus taeda* têm sido muito utilizado para suprir a demanda de madeira empregada pelos setores moveleiros e da construção civil, devido à falta de madeira nativa tradicionalmente utilizada pelo setor. A utilização desta madeira tem sido intensa na região Sul do Brasil, destacando as espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

O *Pinus taeda* apresenta boa adaptabilidade ao planalto das regiões sul e sudeste, podendo ser plantado em solo bem drenado, onde não haja déficit hídrico. Isto inclui as partes serranas do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, bem como as partes mais chuvosas do sul dos estados de São Paulo e Minas Gerais (SHIMIZU, 2006).

Segundo Shimizu (2006), as características que corroboram para o plantio de *Pinus taeda* são as seguintes:

- Fibra longa, apropriada para fabricação de papel de alta resistência para embalagens e papel de imprensa;
- Madeira de tonalidade clara, variando de amarelada a branca;
- Rusticidade e tolerância, o que possibilita o plantio em solos marginais para a agricultura, valorizando a terra imprópria para a agricultura convencional, com a produção adicional de madeira, formação de cobertura protetora do solo, reconstituição de ambiente favorável à recomposição natural da vegetação nativa;
- Desenvolvimento em ambientes degradados e colabora com a redução, por absorção, dos índices de carbono da atmosfera.

3.3 Desbaste em plantios florestais

3.3.1 Conceito e aplicação do desbaste

O desbaste é uma técnica muito utilizada na produção de florestas plantadas, onde o objetivo principal é o aumento do crescimento individual das árvores remanescentes do povoamento. É um tratamento de manejo que consiste na supressão planejada de parte das árvores que crescem num determinado povoamento florestal (DAVEL, 2009; RIBEIRO *et al.*, 2002), onde a remoção das árvores é realizada para a regulação da competição (OLIVEIRA, 2009; FINGER e SCHNEIDER, 1999).

Para Lamprecht (1990) é uma técnica que visa uma regulação espacial das árvores no interior do plantio, enquanto Cozzo (1995) afirma que o desbaste constitui em uma tecnologia de precisão e que deve ser empregada em um período cronológico e com intensidade adequada.

Segundo Oliveira (2009) e Schneider (2002), a manipulação da competição entre as árvores no plantio é o objetivo principal do desbaste, proporcionando a condução do desenvolvimento das árvores remanescentes para atingir maior valor comercial. O desbaste busca ainda melhorar o padrão do povoamento, principalmente em qualidade, por meio da retirada de indivíduos com má formação de fuste, baixo crescimento e menor qualidade (SCOLFORO, 1997), bem como o direcionamento para a permanência de árvores com elevada capacidade produtiva (DIAS, 2000).

Embora, em muitos casos, haja ao final da rotação uma redução do volume de madeira, tal redução é compensada pela adoção desta técnica com a obtenção de um produto diferenciado e por estimular a produção comercial pelo aumento da dimensão do produto final (OLIVEIRA, 2009; SCHNEIDER e FINGER, 1994).

No entanto, Couto (1985) afirmam que o aumento da produção das árvores que possuem melhor rendimento e maior dimensão, bem como o estímulo ao crescimento das árvores remanescentes são os objetivos principais do desbaste, permitindo a obtenção de um material de melhor qualidade.

Huuskonen e Hynynen (2006) afirma que o melhor momento de intervenção e a intensidade do desbaste são os aspectos mais importantes para a sua aplicação, sendo tais fatores essenciais para alcançar os objetivos do manejo no plantio florestal.

Crechi *et al.* (2005) afirmam que a percentagem de árvores a serem retiradas do povoamento está ligada diretamente com a intensidade do desbaste aplicado, enquanto Davel (2009) afirma que o desbaste deve ser aplicado no momento em que o plantio demonstra uma maior competição entre os indivíduos, pois a competição ocorre devido à falta de espaço, que normalmente é percebida pelo fechamento das copas das árvores e dificuldade de entrada de luz no dossel inferior do povoamento.

Deste modo, o desbaste em povoamentos florestais deverá ser aplicado de acordo com os objetivos de produção e as necessidades para o bom desenvolvimento do plantio (DAVIS e ROBERTS, 1991). Sendo assim, o desbaste é considerado um dos tratamentos silviculturais de elevada importância no povoamento, permitindo, se bem aplicado, a maximização quanto ao crescimento das árvores remanescentes.

3.3.2 Efeitos do desbaste

3.3.2.1 Fisiológicos

Segundo Finger (1993) e Ribeiro *et al.* (2002), após a realização do desbaste, as árvores remanescentes do povoamento passam a dispor de mais espaço, reduzindo a competição por luz, nutrientes e umidade, melhorando assim, as condições de sobrevivência e crescimento das árvores. Consequentemente, diminuem a mortalidade natural, favorecendo o crescimento e desenvolvimento da copa das árvores, crescimento dos rebentos dos ramos, folhas e raízes.

3.3.2.2 Ecológicos

Em povoamentos de pinus, o desbaste pode ser leve, moderado ou forte. No desbaste leve são retiradas todas as árvores mortas e doentes (em torno de 20% do volume), enquanto no desbaste moderado são removidas as árvores doentes e dominadas (em torno de 40% do volume). Estas duas intensidades de desbaste podem não afetar as condições ecológicas do povoamento quanto ao aumento de temperatura e redução da transpiração no solo. Nos desbastes fortes são retiradas as árvores doentes, dominadas e algumas dominantes e codominantes (60% do volume), podendo alterar as condições ecológicas do povoamento em termos de aumento da temperatura interior, da quantidade de água que atinge o solo e a redução da transpiração do povoamento.

Com isso, maior quantidade de água no solo e temperaturas mais elevadas contribui para a melhoria das condições de vida dos (micro) organismos do solo, acelerando a decomposição da matéria orgânica e provocando o aparecimento impulsivo de uma variável vegetação no dossel inferior do povoamento (RIBEIRO *et al.*, 2002).

3.3.2.3 Efeito na madeira

Segundo Nogueira *et al.* (2008), o diâmetro é a variável que apresenta maior efeito visível na madeira, principalmente sobre as dimensões individuais nas árvores remanescentes, aumento na conicidade, diminuição da percentagem de fuste aproveitável e o fator de forma. Embora menos visível, os desbastes também retardam a desrama natural, visto que os ramos recebem maior intensidade de luz e permanecem vivos por mais tempo (RIBEIRO *et al.*, 2002).

Conforme Harris (1981), após o desbaste, é observado um acelerado crescimento das árvores remanescentes, podendo ocasionar a diminuição no comprimento da fibra, na densidade da madeira e na sua resistência. Nesse contexto, Malan (1995) associou o desbaste ao aumento da área de madeira juvenil, a queda da densidade e de fibras mais curtas na madeira.

3.3.3 Tipos de desbaste

O desbaste em plantios florestais pode ser classificado conforme os custos de operação, com os tipos de árvores que serão removidas ou permanecerão no povoamento e o formato da remoção das árvores (FINGER e SCHNEIDER, 1999).

Lageson (1997) classifica o desbaste como “desbaste por baixo” ou “desbaste pelo alto”, levando-se em conta as árvores que permanecerão no povoamento ou que serão retiradas. Estes tipos de desbastes são determinados pela relação entre a média do Diâmetro na Altura do Peito (DAP) das árvores eliminadas e das árvores remanescentes, definindo assim, a relação de desbaste (RD).

Spinelli (2004), por sua vez, classifica o desbaste em: Comercial ou Pré-Comercial, onde o valor dos produtos obtidos do povoamento não proporcionam subsídios aos custos das operações de corte e extração da madeira, visando somente atender aos aspectos do manejo e procurando atingir o benefício futuro do povoamento.

Ligné *et al.* (2005) classificam o desbaste de acordo com aspectos econômicos que envolvem a execução da operação, classificando-os em: Pré-comercial (*Pre-commercial Thinning ou PCT*), onde o desbaste é realizado em plantios muito jovens e a madeira possui baixo valor comercial.

Por fim, Muller *et al.* (2006) classificam o desbaste conforme a forma de remoção das árvores do povoamentos em: sistemático, seletivo e misto.

3.3.3.1 Sistemático

É o desbaste onde é realizada a remoção de todas as árvores de uma determinada linha do plantio, em intervalos preestabelecidos. Vale ressaltar que não é levada em conta a classe das copas, muito menos a qualidade das árvores que serão retiradas, sendo único critério variável a intensidade do desbaste (MULLER *et al.*, 2006).

Este método de desbaste pode ser aplicado em povoamentos altamente homogêneos, onde as árvores apresentam poucas diferenças entre si. É o tipo de desbaste de menor custo e mais simples de execução, no entanto, caso não haja uma homogeneidade da floresta, a sua aplicabilidade acarreta em perdas de indivíduos superiores.

3.3.3.2 Seletivo

Consiste na retirada das árvores de acordo com o propósito final do povoamento, seguindo características preestabelecidas (intervalos preestabelecidos de acordo com o manejo de cada povoamento, sempre levando em conta o propósito a que se destina a produção). Este tipo de desbaste resulta em maiores custos, porém permite a obtenção de indivíduos com melhor resultado ao final da rotação, em termos de produção e qualidade da madeira. As árvores são selecionadas anteriormente ao corte, sendo o desbaste dividido em dois tipos: “desbaste seletivo por baixo” e o “desbaste seletivo pelo alto” (SIXEL, 2008).

O "Desbaste Seletivo Por Baixo" consiste na retirada das árvores dominadas (inferiores) ou defeituosas (bifurcadas, tortas, etc.). Nada mais é do que uma antecipação à mortalidade natural das árvores que compõem o povoamento florestal. O "Desbaste Seletivo Pelo Alto" consiste na retirada de árvores dos estratos médio e

superior, a fim de liberar espaço para as dominadas e suprimidas, cujo método visa permitir que as árvores do estrato inferior atinjam valor comercial viável ao seu manejo.

Para definir a melhor época para aplicar a intervenção, é imprescindível o acompanhamento do crescimento da floresta, onde a realização do desbaste ocorre no período em que a competição entre as árvores começa a provocar o decréscimo do incremento individual (SIXEL, 2008).

3.3.3.3 Misto

Consiste em qualquer combinação entre as características dos dois desbastes anteriores, onde primeiramente é aplicado o desbaste sistemático e, consecutivamente, o seletivo até alcançar à percentagem de remanescentes desejada.

3.3.4 Intensidade do desbaste

A intensidade do desbaste é considerada de grande importância, pois influencia o diâmetro das árvores do povoamento, sendo que o incremento do diâmetro aumenta com a diminuição da densidade do plantio (DAVEL, 2009; ARANDA, 2003; BURKES *et al.*, 2003). Com isso, possibilita a produção de madeira com maiores dimensões e maior valor agregado no final da rotação (SCHNEIDER *et al.*, 2008).

Crechi *et al.* (2005) relatam que a intensidade do desbaste constitui a percentagem de árvores a ser retirada, devendo variar de acordo com os objetivos de produção, enquanto Schneider (2002) afirma que a intensidade do desbaste depende da densidade ótima ou ideal, que permite um crescimento potencial máximo para uma determinada espécie. Reinstorf (1970) constata que o desbaste pesado resulta em uma menor quantidade de árvores no povoamento e, comparado com povoamentos submetidos a desbastes leves, resultam em um crescimento em diâmetro superior.

Quando é efetuado o desbaste de maneira uniforme em todo o povoamento, pode-se propiciar uma densidade próxima da ideal, enquanto que quando a capacidade produtiva do local for elevada, mais pesado pode ser o desbaste, pois maior será a capacidade de recuperação do crescimento, sendo o contrário em áreas com baixa capacidade produtiva (SCOLFORO, 1997).

3.4 Sistema de colheita da madeira aplicado ao desbaste

Para o emprego de um sistema de colheita da madeira são necessários a realização de estudos que visem diminuir os custos de produção e conhecer a capacidade produtiva das máquinas, bem como entender sobre as possíveis variáveis que interferem no rendimento das máquinas, possibilitando o uso de técnicas que melhorem a eficiência operacional, a maximização da produtividade e a redução dos custos (SILVA *et al.*, 2003).

A escolha do sistema de desbaste mecanizado a ser empregado depende de vários fatores, tais como: solo, relevo, condições climáticas, tamanho e uso da madeira, incremento do talhão, regime de manejo e sistema de colheita da madeira (MACHADO *et al.*, 2000). Malinovski *et al.* (2008) mencionaram os aspectos operacionais como o uso final da madeira, o tipo e intensidade de desbaste.

Lopes (2007) ressalta que a seleção de máquinas e o desenvolvimento de sistemas de colheita da madeira mecanizados aplicados ao desbaste é um grande desafio dos gestores florestais, visando a redução dos custos e da dependência da mão de obra na execução das operações.

Segundo a FAO (1974) citada por Malinovski (2007), o sistema de colheita da madeira, tanto no regime de corte raso quanto de desbaste, pode ser classificado conforme a forma da madeira no momento da extração, sendo os principais, definidos em: sistema de toras curtas (*cut-to-length*), sistema toras longas ou fuste (*tree-length*) e sistema de árvores inteiras (*full-tree*).

3.4.1 Sistema de toras curtas (*Cut-to-length*)

Trata-se do principal sistema de colheita de madeira utilizado no Brasil, sendo que todas as atividades complementares ao corte (desgalhamento, destopamento, traçamento, descascamento e empilhamento) são realizadas no local de derrubada da árvore (MACHADO, 2014), com produção de toras de até 6 m de comprimento. O sistema se realizado de forma mecanizado, é composto basicamente por duas máquinas: *harvester*, que realiza o corte e processamento da madeira, e *forwarder*, que realiza a extração da madeira na forma de baldeio, do interior para a margem do talhão.

O sistema de toras curtas pode ser empregado em povoamentos submetidos ao regime de corte raso ou desbaste, sendo neste último caso, uma das melhores alternativas, permitindo a eliminação seletiva e sistemática das árvores do povoamento (INDERFOR E MFAF, 2005).

Este sistema de colheita pode ser desenvolvido por métodos semi-mecanizados e mecanizados, sendo que o mecanizado é o mais usual quando aplicado em desbastes comerciais, em virtude da elevada capacidade de produção e maior produtividade das máquinas, apesar de seu elevado custo operacional e investimento (SPINELLI, 2004).

As principais vantagens do sistema de colheita de toras curtas, conforme Blinn *et al.* (2000) e Seixas (2008) são: a possibilidade de trabalhar de maneira eficaz em florestas de menor porte, com tráfego reduzido de máquinas no interior do talhão; a facilidade de deslocamento da máquina e execução das operações de corte e processamento das árvores no interior do povoamento; a redução da remoção de nutrientes no interior do povoamento; menores danos ao povoamento remanescente devido a biomassa residual ser deixada no talhão; a necessidade de menor espaço para estocagem de madeira; não necessidade de abertura de trilhas de arraste; a possibilidade de uso de máquinas em terrenos sensíveis e áreas mais úmidas, em decorrência da capacidade de transitar sobre uma camada de resíduos.

As principais desvantagens deste sistema de colheita da madeira, segundo Makkonen (1989) e Spinelli (2004), é o elevado custo de produção, ocasionado pela maior manipulação da madeira durante a execução das operações. Já Vidrine *et al.* (1999), Ledoux e Huyler (2001) relatam a complexidade da manutenção, as limitações para trabalhar com madeira de maior densidade e dimensões, além do alto custo de investimento inicial na aquisição das máquinas.

3.5 Mecanização na execução do desbaste

O processo de mecanização da colheita florestal em nosso país teve início a partir dos anos 90, devido à grande demanda pelos produtos florestais e a abertura do mercado pelo governo brasileiro à importação de equipamentos e máquinas de países com maior tradição florestal (MOREIRA *et al.*, 2004).

Atualmente, o aumento da demanda por produtos florestais, escassez e aumento dos custos de mão-de-obra e necessidade de maior rendimento das operações, as

empresas florestais intensificaram a mecanização do setor florestal, tornando-a uma peça importante na busca do aumento da produtividade e do controle mais efetivo dos custos (BRAMUCCI e SEIXAS, 2002).

A execução da colheita da madeira de forma mecanizada, na realização dos desbastes passou a ser uma necessidade. Entretanto, máquinas passaram a trabalhar em espaços pequenos e com muitas limitações operacionais (SPINELLI *et al.*, 2009). O mesmo autor ainda cita que os desbastes são operações que apresentam grande dificuldade de execução, devido à eliminação de algumas árvores, enquanto as árvores remanescentes limitam a mobilidade das máquinas no interior da floresta, além do elevado custo de produção e baixo valor das árvores removidas.

As principais máquinas utilizadas na colheita de madeira e que podem ser utilizadas no desbaste são:

3.5.1 *Harvester*

Esta máquina denominada de colhedor florestal e/ou, processador florestal, possui uma avançada tecnologia, pela capacidade de operar em situações adversas e em condições variadas. Em florestas com espaçamentos abertos, com árvores de volume entre 0,25 e 0,35 m³, são encontradas as situações ideais de operação, não sendo indicada o uso no corte em florestas com produções abaixo de 150 m³.ha⁻¹. São máquinas adequadas para operações com toras entre 2 e 6 metros de comprimento (BURLA, 2008).

O *harvester* dispõe de uma capacidade de execução simultânea, realizando as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento, descascamento, destopamento e empilhamento da madeira (MACHADO, 2014). É a principal máquina empregada para realizar as atividades de corte dentre as diversas alternativas dos sistemas de toras curtas.

O *harvester* é uma das principais máquinas empregadas no desbaste e em corte seletivo na Europa, América do Norte e no Brasil, onde, geralmente, é utilizada em corte raso, tanto para o gênero *Pinus* quanto *Eucalyptus* (BURLA, 2008).

O *harvester* possui dois tipos de sistemas de rodados, podendo ser de esteira ou pneu. A preferência pela utilização do tipo de rodados a ser empregado implica, principalmente, pelo local onde a máquina irá operar (MACHADO, 2014). Geralmente,

existe uma preferência pelo *harvester* de esteiras, devido ao menor grau de compactação do solo. Logo, o *harvester* com rodados de pneus proporciona uma maior velocidade à máquina e melhor mobilidade, onde este pode atingir uma área com maior grau de declividade do que o de esteira.

Segundo Thees *et al.* (2011), a operação com o *harvester* é restringida pela topografia, na grande maioria dos casos. O *harvester* de esteira pode atuar em terrenos de até 50% de declividade. Já outros modelos com chassi articulado e sistemas de esteiras independentes podem operar em terrenos com até 70% de declividade. Logo, o *harvester* articulado de pneu, atualmente, está sendo utilizado por empresas florestais brasileiras na operação de corte em áreas com até 40% de declividade, podendo ainda utilizar acessórios (correntes ou esteiras removíveis) para recobrir os pneus, para melhorar a sua locomoção em terrenos acima dos 40% de declividade.

3.5.2 Forwarder

Segundo Machado (2014), o *forwarder* é conhecido como trator florestal autocarregável articulado que realiza a extração da madeira do interior do talhão na forma de baldeio. É uma máquina com grua hidráulica articulada e telescópica, acoplada a uma garra para realização do carregamento e descarregamento da madeira. Possui compartimento de carga de volume variável, adaptada com estruturas laterais (fueiros) que permitem o empilhamento das toras, apoiadas sobre uma plataforma (LIMA e LEITE, 2014).

Este trator florestal foi projetado para ser utilizado, principalmente, no sistema de toras curtas, efetuando a retirada de madeira da área de corte para a margem do talhão ou pátio intermediário, na forma de baldeio. A máquina possui *chassi* articulado com tração do tipo 4 x 4, 6 x 6, ou 8 x 8, com capacidade de carga em torno de 10 a 20 toneladas e potência do motor na ordem de 70 a 180 kW. Pode possuir sistemas de esteiras ou de rodados de pneus em *tandem*.

Conforme a Forests and Rangelands (2011), o *forwarder* pode executar o serviço em terrenos declivosos com uma inclinação máxima de até 30% de declividade. No entanto, a máquina locomovendo-se no sentido do declive, pode trabalhar em declividade de até 60%, com o apoio de cabos de aço.

3.6 Fatores de influência na produtividade das máquinas

Nas operações de colheita da madeira existem diversos fatores técnicos, econômicos, ergonômicos e sociais que interferem diretamente na capacidade operacional das máquinas e, conseqüentemente, no custo final da madeira (LOPES, 2001; MACHADO, 2014).

Bramucci (2001) cita a existência de poucas pesquisas sobre a real influência das variáveis e da capacidade produtiva das máquinas em determinadas condições de trabalho. Normalmente, as estimativas de custos e de produtividade são obtidas a partir de trabalhos realizados em outros países ou de fabricantes, que se mostram bastante frágeis, pois refletem dados obtidos em condições diferentes, ficando evidente a necessidade da realização de estudos para as condições brasileiras.

Dentre os principais fatores cita-se: características do povoamento (diâmetro dos galhos, volume da copa, densidade da madeira, volume por hectare, diâmetro, altura, retidão do fuste, alinhamento do plantio, volume individual das árvores); declividade do terreno, capacidade de suporte do solo, regime pluviométrico, experiência do operador, distância de extração, regime de manejo (desbaste ou corte raso).

Além disso, Malinovski e Camargo (2001) afirmam que as máquinas utilizadas também são consideradas variáveis operacionais que podem influenciar na produtividade das operações, podendo-se citar: tipo de rodados (esteiras ou pneus), qualidade das peças de reposição, situação dos elementos de desgaste (elementos que funcionam em condições de deslizamento ou rolamento).

3.6.1 Diâmetro das árvores

O diâmetro médio das árvores é uma variável que influencia diretamente a produtividade das máquinas de colheita de madeira, especialmente na etapa do corte florestal. Conforme aumenta-se o diâmetro médio das árvores, aumenta-se a produtividade da máquina, diminuindo, conseqüentemente, os custos de produção (BURLA, 2008).

Bramucci e Seixas (2002) analisando dados de quatro empresas florestais que utilizavam *harvester* na colheita e processamento de madeira de eucalipto, encontraram um acréscimo na produtividade das máquinas em função do aumento do DAP até

aproximadamente 24 cm, observando então, uma grande disposição de queda a partir deste valor.

Analisando o efeito do DAP sobre o custo e a produtividade da colheita de madeira em sistema de toras curtas, Holtzschler e Lanford (1997) encontraram uma elevada correlação entre os fatores, onde, à medida que aumentava o diâmetro médio das árvores, aumentava a produtividade da máquina e, por conseguinte, diminuía o custo unitário por volume.

Portanto, um plantio com árvores de pequeno diâmetro médio precisa de um maior tempo de processamento da máquina por metro cúbico, disponibilizando, portanto, uma pequena produção de madeira e, conseqüentemente, acarretando elevados custos por unidade produzida (SANTOS e MACHADO, 1995).

3.6.2 Volume individual

O volume individual da árvore (VMI) é considerado uma das principais variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita da madeira, sendo tal comportamento relatado por diferentes autores (BRAMUCCI e SEIXAS, 2002; BURLA, 2008)

De modo geral, a produtividade da máquina está diretamente relacionada ao tamanho da árvore, sendo que Akay *et al.* (2004), relatam que, à medida que aumenta o volume da árvore, aumenta-se a produtividade da máquina, sendo ainda este comportamento relatado por Moreira (2000), que analisou diversos sistemas de colheita de madeira, constatando a tendência de aumento da produtividade nas máquinas com o aumento do volume médio das árvores.

Eliasson (1999) construiu um modelo estatístico para simulação de colheita florestal com *harvester*, onde observou que a capacidade produtiva em volume de madeira por hora cresceu proporcionalmente ao aumento do volume individual das árvores. A FERIC (*Forest Research Institute of Canada*) em trabalhos desenvolvidos sobre o desempenho de *harvesters*, concluiu que o fator com maior significância que afetou a produtividade do *harvester* foi o volume médio por árvore.

Silva *et al.* (2010) estudando o corte mecanizado de *Pinus sp.* no sistema de toras curtas utilizando um *harvester* de esteira, concluíram que a produtividade da máquina aumentou conforme o incremento do volume médio por árvore, sendo que esta

variável foi que melhor explicou a produtividade final da máquina. Lopes *et al.* (2007) também estudando o corte de *Pinus taeda* em sistema de toras curtas com *harvester* de esteira, constatou que a maior produtividade da máquina foi obtida em talhões com maior volume médio por árvore.

3.6.3 Volume por hectare

O volume por hectare (V/ha) é uma variável de grande influência na produtividade das máquinas de colheita da madeira, estando fortemente relacionado com o volume individual das árvores (BRAMUCCI, 2001). Entretanto, Burla (2008) descreve que o volume por hectare envolve, além do volume individual das árvores, a densidade da floresta e o espaçamento, de uma forma direta e que afeta as máquinas na execução das operações de colheita da madeira.

Em função da forte relação entre o volume por hectare e o volume individual das árvores, é natural a influência dessa variável sobre a produtividade das máquinas. Bramucci e Seixas (2002) estudando o *harvester* no processamento e no corte de madeira, encontraram comportamentos das curvas de regressão bastante semelhantes entre os volumes individuais das árvores e o volume por hectare.

3.6.4 Declividade do terreno

A declividade do terreno é considerada outro importante fator de influência na produtividade das máquinas de colheita da madeira, sendo considerada uma variável limitante nesta operação.

Nas condições de terreno de maior declividade, maiores são as limitações para o deslocamento das máquinas, aumentando-se assim, como no caso do *harvester*, o tempo de execução de processamento da madeira, por conseguinte, diminuindo a produtividade (AKAY *et al.*, 2004).

Simões e Fenner (2010), avaliando a influência do relevo na produtividade e custos de um *harvester* de esteiras, em plantios de *Eucalyptus grandis* em primeiro corte aos sete anos de idade, concluíram que o aumento gradativo da declividade acarretou aumento no tempo do ciclo operacional e na redução da produtividade da máquina.

Stampfer e Loschek (1999) citados por Burla (2008), avaliando a influência da declividade do terreno e do volume individual das árvores sobre a produtividade de um *harvester* de esteiras, constataram que houve uma redução na produtividade com o aumento da declividade do terreno.

Robert (2013), estudando a operação de corte com um *harvester* de esteira em um povoamento de eucalipto em três diferentes níveis de declividade, concluiu que a declividade não influenciou significativamente a produtividade da máquina, justificado pelo uso de rodados com semiesteiras, que permitiu melhor desempenho da máquina na condição de terreno adversa.

3.6.5 Espaçamento

O espaçamento é uma das variáveis que influenciam a produtividade das máquinas de colheita da madeira, especialmente no desbaste, pois o *harvester* necessita se deslocar entre uma árvore e outra para execução da operação de corte. Por isso, quanto maior a distância entre as árvores, maior será o tempo necessário de deslocamento e, conseqüentemente, maior o tempo do ciclo operacional e menor a produtividade (MALINOVSKI *et al.*, 2006).

Martins *et al.* (2009) avaliando um *harvester* na colheita de eucalipto com diferentes espaçamentos (6,0; 7,5; 9,0; 12,0 e 18,0 m²/árvore), relataram que 8,5% da capacidade operacional do *harvester* é explicada pelo espaçamento e, conseqüentemente, o custo da operação com *harvester* foi menor nas áreas com maior espaçamento.

De acordo com Bramucci (2001), a diminuição da capacidade produtiva do *harvester* em função da densidade da floresta pode estar relacionada com a dificuldade na movimentação da máquina em plantios onde os espaçamentos são menores e onde não há um correto alinhamento. A maior dificuldade de movimentação deve ser levada em conta no momento de planejamento do plantio, sendo que, do ponto de vista da produtividade do *harvester*, a densidade do plantio deve ser em torno de 800 a 1200 árvores/ha.

3.6.6 Sortimento e comprimento da madeira

O sortimento das toras a serem produzidas influencia a produtividade das máquinas de colheita da madeira, sendo que, quando realizado o traçamento de somente um tipo de sortimento e com menor comprimento, haverá maior quantidade de secções, acarretando aumento no tempo de execução da operação e redução na produtividade (MACHADO, 2014).

O processamento de toras de maior comprimento proporciona ainda inúmeras vantagens quando comparado às toras de menor dimensão. Andrade (1998) concluiu em seu estudo que no processamento de toras com comprimento de 2,40 m, o custo foi de 3,9% maior em relação às toras de maior comprimento (5,50 m).

Spinelli *et al.* (2002), analisando a produtividade de um *harvester* no processamento de toras de 2 e 4 m, concluíram que a produtividade é maior quanto maior for o comprimento das toras processadas.

Em um estudo comparando a produtividade do *harvester* em declividades até 33°, Salmeron e Ribeiro (1997) observaram em toras com comprimento de 2,2 m obtiveram uma produtividade de 13,39 m³.ha⁻¹ e em toras de 5,7 m uma produtividade de 19,17 m³.ha⁻¹. Já Machado e Lopes (2000), estudando o corte de madeira de eucalipto com comprimento de cinco e seis metros, observaram uma redução de até 11,1% nos custos de transporte e um aumento de até 10% no desempenho dos veículos, concluindo que o comprimento da madeira influenciou significativamente a produtividade e o custo da madeira processada.

3.6.7 Experiência do operador

A experiência do operador é outro fator importante que afeta a produtividade e os custos das operações de colheita de madeira. Segundo Lopes *et al.* (2008), para se alcançar um maior desempenho na operação, torna-se necessária a capacitação dos operadores, principalmente, pelo aumento da tecnologia e complexidade das máquinas florestais.

Moraes (2012), avaliando a influência do treinamento no desempenho de operadores, afirma ser um fator indispensável para qualificação do operador, possibilitando-o a alcançar um melhor rendimento na execução do trabalho.

Além disso, neste contexto, a qualidade produtiva e operacional do operador possui uma estreita relação com sua experiência, onde então, Malinovski *et al.* (2006), qualificaram o operador nos seguintes níveis de desempenho: nível baixo (operador em treinamento), nível médio (operador já passou do período de treinamento) e nível alto (operado experiente).

3.7 Modelagem na estimativa da produtividade

O uso de modelos determinísticos de produção para correção das características específicas das operações de colheita de madeira tornou-se uma ferramenta importante, podendo auxiliar na definição da viabilidade da mecanização nas operações florestais de acordo com as limitações e as características do povoamento (LEITE, 2012).

A aplicação de modelos matemáticos para estimativa da produtividade das máquinas utiliza basicamente variáveis em nível de povoamento (idade, área basal, número de árvores, volume individual, declividade do terreno, espaçamento). Seixas e Batista (2014) estimaram a produtividade de *harvesters* de pneus e de esteiras, onde utilizaram modelos lineares e parabólicos, por meio do uso de regressão linear, em função do volume médio individual das árvores. Os autores concluíram que, com a modelagem da relação entre o volume médio das árvores e a produtividade, o modelo parabólico se mostrou claramente superior ao modelo linear simples, pois a relação entre as produtividades dos tratores florestais em função do volume médio das árvores é curvilínea (modelo de parábola), onde o aumento do volume médio das árvores gerou rendimentos crescentes na produtividade.

Desenvolvendo uma equação para a estimativa da produtividade do *harvester* na colheita de eucalipto, Burla (2008) utilizou no modelo de produtividade as variáveis diâmetro médio, volume individual das árvores, volume por hectare, declividade, dentre outros, cujo modelo proposto foi: $R = \beta_0 + \beta_1 X - \beta_2 X^2$, em que R é o rendimento do *harvester* na colheita de eucalipto ($m^3 \cdot h^{-1}$); β_0 , β_1 , β_2 são os coeficientes, e X é a variável estudada.

Leite (2012), por sua vez, realizou uma modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas, ajustando um modelo de operação de dupla entrada, utilizando, simultaneamente, as variáveis volume por árvore e declividade do terreno. O autor concluiu que, a produtividade da máquina reduziu com

o aumento da declividade do terreno e aumentou com o incremento do volume da árvore.

3.8 Estudo de tempos e movimentos

O estudo de tempos e movimentos é uma das técnicas utilizadas no planejamento e otimização das atividades de colheita de madeira. Por meio desta técnica, é possível avaliar a eficiência e a produtividade do conjunto de operações empregadas, bem como as variáveis que estão colaborando para as interrupções do trabalho (ANDRADE, 1998). O estudo é utilizado para a determinação do tempo necessário para que uma pessoa qualificada e devidamente treinada, trabalhando em ritmo normal, leva para executar uma tarefa específica (BARNES, 1977). É uma técnica muito importante para análise do trabalho, em função de informações relevantes em melhorias ou modificações dos processos e métodos de trabalho, geralmente associados à produtividade.

De acordo com Fenner (2002), o estudo de tempos e movimentos tem influência direta na melhoria dos métodos operacionais e condições de trabalho, permitindo análises do processo produtivo e da relação homem-máquina. Além disso, permite o controle dos custos operacionais e de produção, que é primordial na organização e sucesso do empreendimento florestal.

Os métodos de cronometragem mais empregados no estudo de máquinas florestais são:

- Método do tempo contínuo – a medição do tempo ocorre sem a detenção do cronômetro, ou seja, de forma contínua. Este método apresenta a vantagem que as atividades são anotadas na sequência, que elas acontecem, facilitando a identificação de erros e a cronometragem das atividades;
- Método do tempo individual – a medição do tempo ocorre com a detenção do cronômetro em cada atividade parcial. A vantagem do método é que não é necessário fazer subtrações dos tempos, onde, o tempo do elemento é obtido diretamente, diminuindo assim a incidência de erros de transcrição ou análise; e
- Método de multimomentos – a medição do tempo que ocorre com a frequência de cada atividade parcial no decurso do trabalho. Este método não é indicado quando alguns elementos correspondem a uma pequena fração do tempo,

apresentando como principal vantagem, a possibilidade de permitir amostragem do trabalho em elementos de curta duração.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada na empresa Remasa Reflorestadora S.A, localizada no município de Bituruna, Estado do Paraná, entre as coordenadas de latitude $26^{\circ}17'13''$ S e longitude $51^{\circ}33'43''$ W (Figura 1).

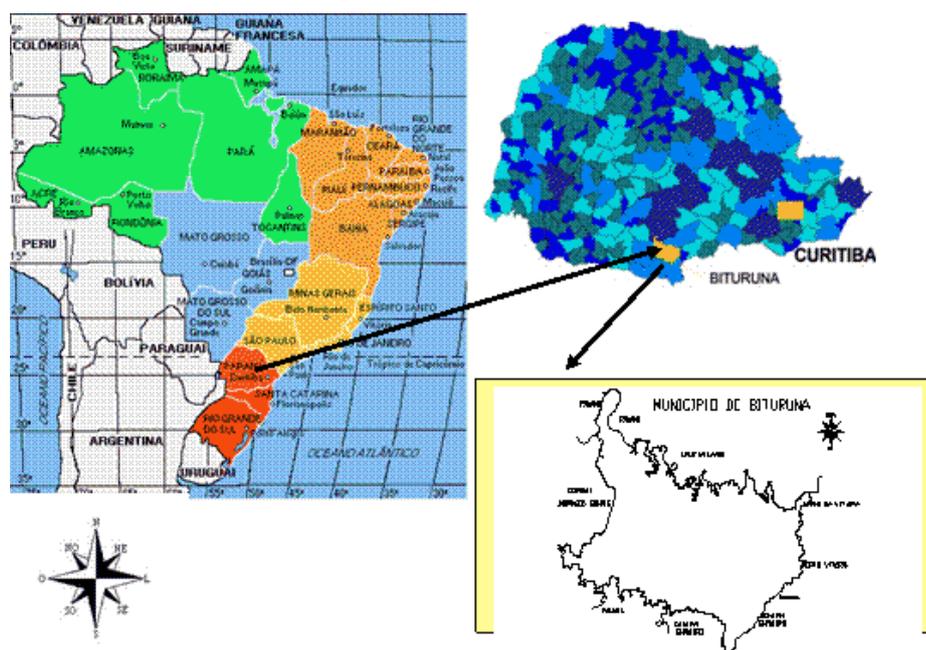


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo.

O clima da região do estudo é caracterizado como subtropical úmido mesotérmico, segundo a Classificação climática de Köppen-Geiger, com verões frescos e invernos rigorosos, geadas severas e frequentes, precipitação média anual de 1.751 mm e temperatura média anual de $16,6^{\circ}\text{C}$.

Na região, a predominância dos solos é do tipo Cambissolo, Argissolo e Neossolo Litólico, possuindo relevo variando de plano a forte ondulado e altitude entre 900 e 1200 m.

A coleta dos dados foi realizada no período de abril a maio de 2015, em plantios homogêneos de *Pinus taeda*, com idade de 10 anos, densidade inicial de 1.600 árvores por hectare e espaçamento de $2,5 \times 2,5$ m.

O inventário pré-corte permitiu verificar que havia homogeneidade quanto ao DAP, volume de madeira e número de árvores entre os talhões estudados, caracterizado na Tabela 1.

Tabela 1. Características métricas do povoamento florestal estudado.

Informação	Valor
Espécie	<i>Pinus taeda</i>
Idade do povoamento (anos)	10
Espaçamento (m)	2,5 x 2,5
Número de árvores do povoamento (árvore/ha)	1.600
Diâmetro médio das árvores (DAP) (cm)	19,74
Altura média das árvores (m)	14,47
Altura média das árvores dominantes (m)	15,82
Área basal do povoamento (m ² /ha)	52,32
Volume médio do povoamento (m ³ /ha)	249,60
Volume médio individual das árvores (m ³)	0,156

4.2 Sistema de colheita de madeira

O sistema de colheita da madeira utilizado pela empresa é de toras curtas (*cut-to-length*), onde o corte das árvores (derrubada, desgalhamento, destopamento e empilhamento) é realizado pela escavadeira adaptada, *harvester* da marca Hyundai, modelo R160 LC, equipado com cabeçote *Log Max*, modelo 5.000 D.

Na Figura 2 são apresentadas as características técnicas do *harvester* utilizada pela empresa na colheita da madeira nos povoamentos submetidos ao desbaste.

Figura 2. *Harvester* utilizado no corte do povoamento submetido ao desbaste.

Máquina	Especificações Técnicas
	<p data-bbox="1034 302 1166 331"><i>Harvester</i></p> <p data-bbox="828 338 1283 367">Marca/modelo: Hyundai R160 LC.</p> <p data-bbox="828 374 1155 403">Ano de fabricação: 2014.</p> <p data-bbox="828 409 1118 439">Vida útil: 4.600 horas.</p> <p data-bbox="828 445 1350 474">Motor: Cummins 6BT B5.9, 6 cilindros.</p> <p data-bbox="828 481 1179 510">Potência do motor: 126 hp.</p> <p data-bbox="828 517 1203 546">Peso operacional: 18.050 kg.</p> <p data-bbox="828 553 1078 582">Largura: 2690 mm.</p> <p data-bbox="828 589 1059 618">Altura: 2990 mm.</p> <p data-bbox="828 624 1243 654">Alcance máximo da grua: 12 m.</p> <p data-bbox="828 660 1155 689">Alcance da grua: 8,65 m.</p> <p data-bbox="828 696 1062 725">Rodados: esteiras.</p> <p data-bbox="828 732 1198 761">Cabeçote: Log Max 5000 D.</p>

4.3 Descrição dos métodos de desbaste

A pesquisa foi realizada na operação de colheita da madeira executada em povoamentos de *Pinus taeda* com 10 anos de idade, submetido ao primeiro desbaste comercial, tendo sido estudado a operação de corte com uso do trator florestal *harvester*.

O desbaste do povoamento foi realizado pelo método combinado, que segundo Schneider e Schneider (2008), caracterizam-se pela remoção das árvores do interior do talhão de forma sistemática e seletiva. Neste método houve a eliminação sistemática das 5ª linhas de árvores do povoamento, perfazendo 20% das árvores, de forma a criar uma trilha de acesso à máquina, e retirada de 30% das árvores dispostas em ambos os lados das linhas de operação, conforme o alcance da grua, totalizando, assim, a remoção de 50% das árvores do povoamento.

Na Figura 3 é apresentado o esquema de execução do desbaste, onde é realizado o corte das 5ª linhas de plantio (desbaste sistemático) e corte das quatro linhas paralelas, sendo duas linhas de cada lado da trilha de tráfego da máquina (desbaste seletivo).

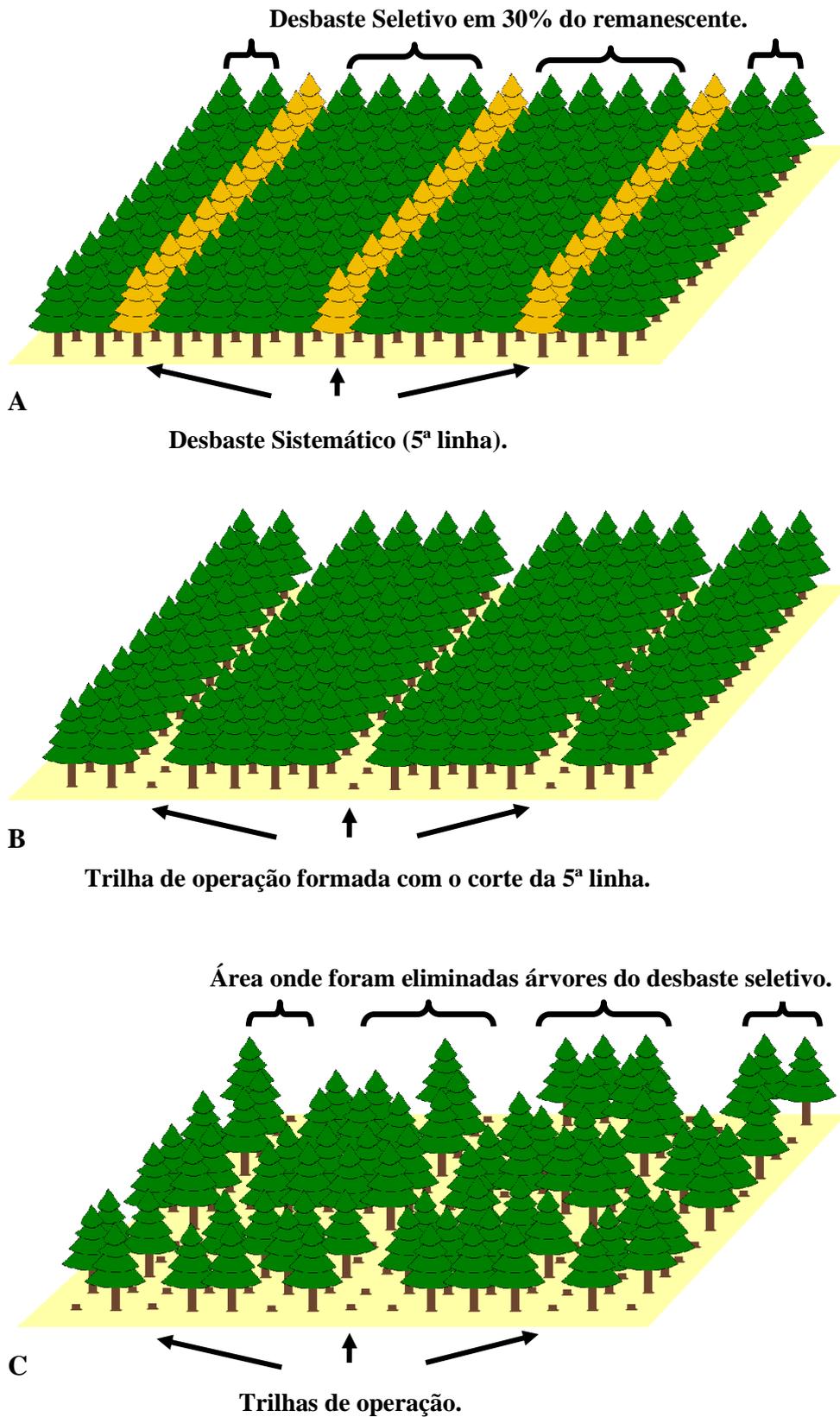


Figura 3. Esquema de execução do desbaste combinado (sistemático e seletivo).

Em que: (A) = Esquema do desbaste; (B) = Abertura da trilha de operação com o corte da 5ª linha no desbaste sistemático; (C) = Esquema final da área após passagem do desbaste sistemático e seletivo.

O desbaste foi realizado no povoamento, cuja madeira é destinada para uso em processos industriais, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização dos produtos obtidos na operação de desbaste.

Tipo de processamento	Destino	Medidas obtidas	
		Comprimento (m)	Diâmetro da ponta fina (cm)
Industrial	Celulose e	2,30	8,0 – 16,0
	Energia		
Industrial	Serraria	2,60	16,0 – 23,0

4.4 Seleção da área experimental

Para a seleção da área experimental foram levantados povoamentos em idade de realização do primeiro desbaste, conforme o planejamento da empresa. No entanto, a área deve possuir os seguintes parâmetros: floresta homogênea, uniformidade no relevo e solo em cada classe de declividade do terreno. Tais informações foram avaliadas por meio de um estudo-piloto, sendo efetuada previamente por meio da coleta dos dados.

A área experimental compreendeu talhões com diferentes condições de declividade, contemplando dois níveis de declividade (tratamentos), caracterizados na Tabela 3. As áreas foram classificadas a partir de mapas de declividade utilizados pela empresa, e conferidos em campo com auxílio de um vertex.

Os tratamentos foram definidos considerando o limite de atuação teórica da colheita mecanizada com o trator esteira, onde segundo Chudakov (1977) e Mialhe (1980) situado na declividade de até 46,5% ou 24,9°.

Tabela 3. Formas de relevo e limites de declividade para avaliação das áreas.

Relevo	Classe de Declividade (%)	Classe de Declividade (graus)
Plano a ondulado	0 a 21,2	0 a 12
Forte ondulado	21,2 a 44,5	12,1 a 24

4.5 Análise técnica

A análise técnica do *harvester* na execução do corte nos povoamento submetidos ao desbaste foi realizada com base nos seguintes parâmetros:

4.5.1 Estudo de tempos e movimentos

Para o estudo de tempos e movimentos da operação de corte florestal empregou-se o método de cronometragem de tempos “multimomento”, onde os tempos das atividades parciais foram determinados por meio da frequência em que ocorriam, sendo estabelecido intervalo de 15 segundos para anotação da atividade em execução. Foram utilizados no estudo, cronômetro centesimal, formulários de campo específicos e prancheta.

Inicialmente, foi realizado um estudo piloto de tempos e movimentos, visando a determinação do número mínimo de observações necessárias (Tabela 5), de modo a proporcionar um erro de amostragem máximo de 5%, por meio da expressão 1, proposta por Swann (1973):

$$N = \frac{4 \cdot P \cdot (100 - P)}{L^2} \quad (1)$$

Em que: N = número mínimo de observações necessárias; P = Porcentagem estimada de ocorrência de uma atividade específica (%); e, L = Limites necessários de precisão (precisão de $\pm 3\%$).

A operação de corte do *harvester* na execução do desbaste foi subdivida em atividades parciais do ciclo operacional, conforme apresentado na Tabela 4:

Tabela 4. Atividades parciais do ciclo operacional do *harvester*.

Máquina	Atividades parciais do ciclo operacional	Descrição
<i>Harvester</i>	Deslocamento da Máquina (DM)	Movimentação da máquina, caracterizado pelo acionamento da esteira, finalizando com o interrompimento do movimento da máquina.
	Busca (BU)	Movimentação do braço e cabeçote da máquina na procura de uma árvore, finalizando com a interrupção do movimento.
	Corte (CO)	Acionamento do sabre para execução do corte, finalizando com a separação da árvore do toco.
	Tombamento (TO)	Tombamento da árvore sobre o terreno, iniciando-se no momento da separação da árvore do toco até o início do seu processamento.
	Processamento (PR)	Acionamento do cabeçote para realização do processamento da árvore (desgalhamento, destopamento e traçamento), finalizando com o empilhamento da madeira.
	Interrupções (IT)	Outras atividades diversas em que a máquina estava realizando.

A coleta dos dados foi realizada no turno diurno, das 7 às 12 h e das 13 às 16h40, sem interferência nas atividades da empresa.

Tabela 5. Parâmetros estatísticos do estudo piloto para cálculo da quantidade mínima de amostragem referentes às etapas de colheita de madeira em ambas as declividades avaliadas.

Etapas do Ciclo Operacional	Classes de Declividade			
	0° – 12°		12,1° – 24°	
	n	N	n	N
Deslocamento da Máquina	732	324	1.095	486
Busca	1.583	657	1.703	620
Corte	680	303	745	319
Tombamento	1.221	510	1.212	492
Processamento	3.429	1.028	3.169	985
Interrupções	1.583	632	1.641	632

Em que: n = Número de amostragem coletadas em campo; e N = Número de amostragens necessárias no estudo piloto.

4.5.2 Determinação do grau de disponibilidade mecânica (DM)

A disponibilidade mecânica refere-se à percentagem do tempo programado para o trabalho em que a máquina estava mecanicamente apta a realizar o trabalho produtivo, desconsiderando os tempos em manutenção corretiva e/ou preventiva, e foi obtida por meio da expressão 2, proposta por Lopes (2007):

$$DM = \frac{TP - TM}{TP} \times 100 \quad (2)$$

Em que: DM = grau de disponibilidade mecânica (%); TP = tempo programado para o trabalho (hora); e, TM = tempo de permanência em manutenção (hora).

4.5.3 Determinação do grau de disponibilidade técnica (DT)

A disponibilidade técnica refere-se à percentagem do tempo em que a máquina, encontrar-se disponível para o trabalho descontadas as paradas de manutenção, executou o trabalho de forma efetiva, desconsiderando os tempos de interrupções operacionais e não operacionais, obtida pela expressão 3 (LOPES *et al.*, 2015):

$$DT = \frac{(TD - TI)}{TD} \times 100 \quad (3)$$

Em que: DT = grau de disponibilidade técnica (%); TD = tempo disponível para o trabalho, desconsiderando as paradas para manutenção (horas); TI = tempo de interrupções operacionais e não operacionais (horas);

4.5.4 Determinação da eficiência operacional (EO)

A eficiência operacional refere-se à percentagem do tempo efetivo de trabalho em relação ao tempo total programado para o trabalho, e foi determinada de acordo com a proposta de Lopes (2007) e de Birro (2002), pela expressão 4:

$$EO = \frac{Te}{(Te + Ti)} \times 100 \quad (4)$$

Em que: EO = eficiência operacional (%); Te = tempo de trabalho efetivo (hora); e, Ti = tempo de interrupções operacionais e não-operacionais (hora).

4.5.5 Determinação da produtividade (PR)

A produtividade do *harvester* foi determinada por meio do volume médio das árvores em cada classe volumétrica, cujo valor foi multiplicado pelo número de árvores processadas em cada ciclo operacional e, posteriormente, divididas pelas horas efetivamente trabalhadas, por meio do uso da expressão 5:

$$PR = \frac{Na \times Va}{he} \quad (5)$$

Em que: PR = produtividade da máquina (m³.he); Na = número de árvores cortadas em cada ciclo operacional; Va = volume médio individual das árvores (m³); e, he = horas efetivas de trabalho (hora).

4.5.6 Determinação do rendimento energético (RE)

O rendimento energético refere-se à massa de combustível necessária para produzir uma unidade de potência por unidade de tempo, e foi obtida pela razão entre o consumo específico efetivo de combustível da máquina na execução da operação, em gramas por quilowatts, fornecido durante uma hora, e a produtividade média com casca, por meio do uso da expressão 6:

$$RE = \frac{CE}{Pr} \quad (6)$$

Em que: RE = rendimento energético (g.kW⁻¹.m⁻³.cc); CE = consumo específico de combustível (g.kW⁻¹.he⁻¹); e, Pr = produtividade (m³.cc.he⁻¹).

O consumo específico de combustível que expressa o consumo de combustível por unidade de potência nominal da máquina na execução do corte florestal, foi obtido

pela multiplicação da densidade do combustível (g.L^{-1}) pelo consumo da máquina por hora efetiva (L.he^{-1}) e, posteriormente, dividido pela potência nominal da máquina (kW), conforme a expressão 7:

$$CE = \frac{D \times C}{Pt} \quad (7)$$

Em que: CE = consumo específico de combustível ($\text{g.kW}^{-1}.\text{he}^{-1}$); D = densidade do combustível (g.L^{-1}), sendo considerado $0,85 \text{ g.L}^{-1}$ para diesel (AGARWAL, 2007); C = consumo de combustível por hora efetiva (L.he^{-1}); e, Pt = potência nominal do harvester (kW).

4.6 Análise de Custo

A análise de custo do *harvester* na execução do corte florestal nos povoamentos submetidos ao desbaste foi realizada com base na determinação dos custos operacionais e de produção.

4.6.1 Custo operacional

O custo operacional foi determinado pelo método contábil, sendo os custos fixos e variáveis estimados pela metodologia proposta por FAO/ECE/KWF citado por Machado e Malinovski (1988).

Os custos fixos foram determinados pela somatória dos custos de depreciação, juros e seguros, enquanto os custos variáveis pela somatória dos custos de combustível, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, esteiras, reparos e manutenção. Foram ainda determinados os custos de pessoal (transporte e mão de obra), sendo os custos de mão de obra relacionados com salários diretos, benefícios e encargos sociais fornecidos pela empresa. Por fim, foram determinados os custos operacionais totais a partir da totalização dos custos fixos, variáveis, pessoal e administração.

4.6.1.1 Custos fixos (CF)

Os custos fixos são aqueles que não variam com as horas de operação ou produção da máquina, ocorrendo com o uso ou não da máquina no trabalho, sendo compostos pelos custos de depreciação, juros e seguros.

a) Depreciação (DP)

A depreciação corresponde ao decréscimo do valor da máquina devido ao seu uso no tempo, sendo obtido pela subtração do valor de aquisição da máquina pelo valor residual, e posteriormente, dividido pela vida útil. Para realização do cálculo de depreciação foi utilizado o método linear, obtido por meio das expressões 8 e 9:

$$DP = \frac{Va - Vr}{N \times He} \quad (8)$$

Em que: DP = depreciação linear da máquina (R\$.he⁻¹); Va = valor de aquisição da máquina + implemento (R\$); Vr = valor residual ou de venda da máquina + equipamento (R\$); N = vida útil estimada (anos); e, He = horas efetivas de uso anual (horas).

$$He = \frac{Nd \times d \times Nt(100 - TD)}{100} \quad (9)$$

Em que: He = horas efetivas de trabalho por ano (horas); Nd = número de dias trabalhados por ano; d = duração do turno de trabalho (horas); Nt = número de turnos de trabalho por dia; e, TD = demoras e dias improdutivos (%).

b) Juros e seguros (JS)

Os juros correspondem ao custo de oportunidade do capital aplicado na aquisição da máquina. Nesta pesquisa, considerou-se uma taxa de juros anual de 12%. Os custos de seguros foram determinados com uma taxa de 2% a.a., totalizando uma taxa total anual de 14% a.a., determinado pelas expressões 10 e 11:

$$JS = \frac{IMA \times i}{He} \quad (10)$$

Em que: JS = custos de juros e seguros (R\$.he⁻¹); IMA = investimento médio anual (R\$); i = taxa de juros e seguros (%); e, He = horas efetivas de trabalho anual (horas).

$$IMA = \frac{(Va - Vr) \times (N + 1)}{2 \times N} + Vr \quad (11)$$

Em que: IMA = investimento médio anual (R\$); Va = valor de aquisição da máquina + implemento (R\$); Vr = valor residual ou de revenda da máquina + implemento (R\$); e, N = vida útil estimada (anos).

c) Custos de pessoal operacional (CP)

O custo de pessoal operacional refere-se aos custos ocorridos com os operadores, estando diretamente ligados ao pagamento de salários, benefícios e encargos sociais (13º salário, fundo de garantia, alimentação, seguros, plano de saúde, vestuário e alimentação), sendo expresso pela equação 12 citado por Moreira (2000):

$$CP = \left(\frac{Sop \times ES \times M}{He} \right) \quad (12)$$

Em que: CP = custo de pessoal operacional (R\$.he⁻¹); Sop = salário mensal do operador (R\$); ES = taxa de encargos sociais (1,3%); M = meses do ano (12); e, He = horas efetivas de uso anual (h/ano⁻¹).

4.6.1.2 Custos variáveis (CV)

Os custos variáveis são considerados aqueles que estão diretamente ligados com a intensidade de uso da máquina ou quantidade produzida. Foram considerados os custos de combustível, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, pneus, esteiras ou semiesteiras, manutenção preventiva e corretiva, mão de obra, transporte pessoal e maquinário.

a) Custo de combustível (CC)

São os custos referentes ao consumo de óleo diesel pela máquina, sendo função da potência do motor, altitude, tipo de combustível e temperatura (HARRY *et al.*, 1991), sendo calculado pela expressão 13:

$$CC = Pu \times c \quad (13)$$

Em que: CC = custo de combustível (R\$.he⁻¹); Pu = preço de um litro de óleo diesel (R\$.L); e, c = consumo de óleo diesel por hora efetiva (L.he⁻¹).

b) Custo de lubrificantes e graxas (CLG)

Refere-se ao consumo de graxas e óleos lubrificantes, sendo calculados na proporção de 30% dos custos de combustíveis, conforme a expressão 14:

$$CLG = ILG \times CC \quad (14)$$

Em que: CLG = custo com lubrificantes e graxas (R\$.he⁻¹); ILG = índice de custos com óleos lubrificantes e graxas (30% dos custos com combustíveis); e, CC = custos com combustíveis (R\$.he⁻¹).

c) Custos de óleo hidráulico (COH)

O custo de óleo hidráulico refere-se à proporção de 50% do consumo de combustível, obtido pela expressão 15:

$$COH = CC \times IO \quad (15)$$

Em que: COH = custo com óleo hidráulico (R\$.he⁻¹); CC = custos com combustíveis (R\$.he⁻¹); e, IO = índice de custos com óleo hidráulico (50% dos custos com combustíveis).

d) Custos de material rodante (CP)

O custo de material rodante refere-se ao valor de aquisição do par de esteiras dividido pela sua vida útil, calculado pela expressão 16:

$$CP = \frac{Nr \times Vr}{Hr} \quad (16)$$

Em que: CP = custos das esteiras (R\$.he⁻¹); Nr = número de rodados da máquina (esteiras); Vr = valor de uma esteira da máquina (R\$.unid⁻¹); e Hr = vida útil de uma esteira (he).

e) Custos de manutenção e reparos (CRM)

O custo de manutenção e reparos correspondeu aos custos com a manutenção corretiva e preventiva, contemplando a mão de obra da oficina, peças de reposição e

outros materiais, correspondendo a 70% do valor da depreciação (SILVA *et al.*, 2010), e obtido a partir da expressão 17:

$$CMR = 0,70 \times Dp \quad (17)$$

Em que: CRM = custo de manutenção e reparo (R\$.he⁻¹); e, Dp = depreciação linear em horas efetivas (R\$.he⁻¹).

4.6.1.3 Custos administrativos (CAD)

Foram considerados como custo de administração os trabalhos de escritório e supervisão das operações de campo, que foram obtidos na empresa, em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas. Foi considerado no cálculo o percentual de 5% sobre o somatório de custos fixos e variáveis.

4.6.1.4 Custo operacional total (COT)

O custo operacional total foi calculado considerando o somatório dos custos variáveis, fixos, pessoal operacional e administrativo, calculados pela expressão 18:

$$COT = CF + CV + CP + CAD \quad (18)$$

Em que: COT = custo operacional total (R\$.he⁻¹); CF = custos fixos (R\$.he⁻¹); CV = custos variáveis (R\$.he⁻¹); CP = custo de pessoal operacional (R\$.he⁻¹); e, CAD = custos de administração (R\$.he⁻¹).

4.6.2 Custo de produção (CPR)

O custo de produção do *harvester* na execução do corte florestal nos povoamentos submetidos ao desbaste foi determinado pela razão entre os custos operacionais (R\$.he⁻¹) e a produtividade (m³.he⁻¹), obtido por meio da expressão 19:

$$CPR = \frac{COT}{PR} \quad (19)$$

Em que: CPR = custo de produção de máquina (R\$.m³); COT = custo operacional total da máquina (R\$.he⁻¹); e, PR = produtividade da máquina (m³.cc.he⁻¹).

4.7 Estimativa da produtividade da máquina

A produtividade do *harvester* na execução do corte nos povoamentos submetidos ao desbaste em ambas as classes de declividade do terreno foi estimada a partir da variável volume médio das árvores (m³). Para tal foram testados modelos lineares por meio da regressão linear.

A seleção dos modelos testados tomou como base os modelos ajustados segundo a abordagem proposta por Burla (2008), Leite (2012) e Seixas e Batista (2014), apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Modelos utilizados para estimativa da produtividade do *harvester* (m³.h⁻¹).

N	Modelo	Autor
1	$P = \beta_0 + \beta_1(Vi) + \beta_2(Vi^2) + \beta_3(Vi.D) + \beta_4(Vi^2.D) + \beta_5(D)$	Meyer
2	$P = \beta_0 + \beta_1(D^2) + \beta_2(Vi^2) + \beta_3(Vi) + \beta_4(D.Vi)$	Leite (2012)
3	$P = \beta_0 + \beta_1(Vi) + \beta_2(D)$	Parabólico

Em que: P = produtividade (m³.h⁻¹); Vi = volume individual (m³.árv⁻¹); D = declividade do terreno (ponto máximo em graus); e, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ = coeficientes do modelo.

Posteriormente, para analisar os modelos ajustados foram utilizadas as estatísticas:

- Erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$);
- Coefficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}); e
- Análise gráfica de resíduos (%), calculadas como segue:

$$R^2_{adj} = \frac{n - 1}{n - (k - 1)} \times (1 - R^2) \quad S_{yx} = \sqrt{\frac{SQ_{res}}{n - p}} \quad S_{yx}(\%) = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} \times 100$$

Em que: SQ_{res} = soma de quadrado do resíduo; n = número de observações; p = número de coeficientes do modelo; k - 1 = representa o número de variáveis explicativas mais a constante; e, \bar{Y} = média dos valores observados.

4.8 Análise estatística

O delineamento utilizado na coleta dos dados foi o inteiramente casualizado, em que as variáveis analisadas consistiram na frequência com que ocorreu cada atividade parcial dos ciclos operacionais avaliados nos diferentes tratamentos (classes de declividade), a eficiência operacional, rendimento energético e produtividades da máquina na execução do desbaste.

As análises estatísticas foram realizadas no programa *ASSISTAT 7.7*, onde os dados coletados foram comparados por meio da ANOVA, seguido do teste “t” ao nível de 95% de probabilidade.

Os valores das variáveis foram submetidos aos testes de normalidade para verificação da normalidade dos dados, e, então, havendo significância, procedeu-se com os testes subsequentes, como exemplificados na Tabela 7.

Tabela 7. Teste de normalidade (alfa = 5%).

Normalidade ($\alpha = 5\%$)				
Teste (Estatística)	Valor	V. Crítico	p-valor	Normal
Kolmogorov-Smirnov (D)	0,11596	0,17679	P > 0.15	Sim
Cramér-Von Mises (W2)	0,06156	0,12343	P > 0.15	Sim
Anderson-Darling (A2)	0,41871	0,70064	P > 0.15	Sim
Kuiper (V)	0,21702	0,29103	P > 0.15	Sim
Watson (U2)	0,05655	0,11363	P > 0.15	Sim
Lilliefors (D)	0,11596	0,17600	P > 0.15	Sim
Shapiro-Wilk (W)	0,94660	-	0.22843	Sim

Foram realizadas análises de regressões lineares, para estimativa da produtividade da máquina em função do volume individual do povoamento, nas diferentes declividades do terreno.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Técnica

5.1.1 Ciclo operacional da máquina

Os resultados do estudo de tempos e movimentos do *harvester* nas declividades do terreno estudadas podem ser vistos na Figura 4. A coleta de dados no tratamento 1 (0° a 12°) foi de 38 horas e 27 minutos, enquanto no tratamento 2 (12,1° a 24°) foi de 39 horas e 51 minutos, perfazendo um total de 9.228 e 9.565 ciclos operacionais, respectivamente, atendendo ao número mínimo do estudo piloto (3.454 e 3.534 ciclos).

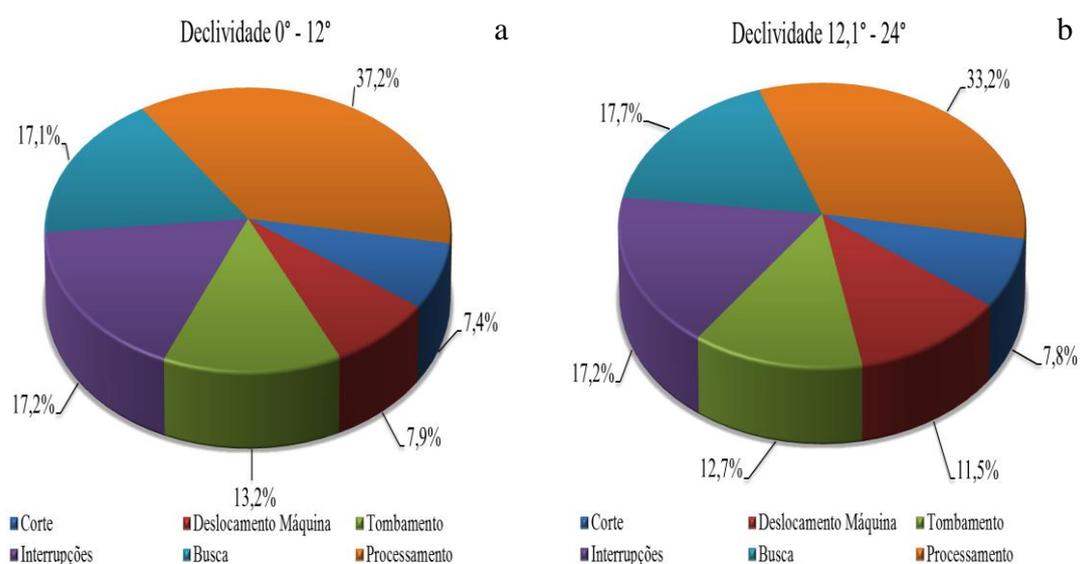


Figura 4. Distribuição percentual do ciclo operacional do harvester na execução do corte florestal nas declividades do terreno, (a) declividade 0° a 12°, e (b) declividade 12,1° a 24°.

Como pode ser verificado, o processamento (PR) da madeira foi a atividade parcial responsável pela maior parte do tempo do ciclo operacional, consumindo 37,2% e 33,2% do tempo total nas declividades de 0° a 12° e 12,1° a 24°, respectivamente.

Tais resultados deve-se ao fato da etapa de processamento envolver as atividades de desgalhamento, traçamento, destopamento e empilhamento, que juntamente com a necessidade de produção de dois tipos de sortimentos com separação das pilhas de

madeira, pode ter contribuído para o maior tempo na execução da operação. Tais resultados estão de acordo com os relatos da literatura (LOPES *et al.*, 2007; BURLA, 2008; MARTINS *et al.*, 2009; BERTIN, 2010; OLIVEIRA, 2011 e CABRAL, 2014).

Em seguida, a atividade “busca” (BU) foi que apresentou o maior tempo do ciclo operacional, representando 17,1% no tratamento 1 e 17,7% no tratamento 2, indicando, portanto, o menor tempo requerido pela máquina para execução do corte, que é contribuído pelo alcance da grua da máquina e espaçamento do povoamento. Apesar de baixa a diferença entre os tratamentos, percebeu-se uma maior dificuldade do operador em visualizar a base do fuste no terreno de maior declividade.

A atividade parcial “deslocamento da máquina” (DM) correspondeu a 7,9% do tempo no terreno de declividade de 0° a 12° e 11,5% e de 12,1° a 24°, sendo a atividade que apresentou maior diferença percentual entre os tratamentos e, portanto, sendo a mais afetada pela declividade do terreno. Esta diferença pode ter ocorrido devido ao método utilizado pelo operador, quando na maioria das vezes, o mesmo retornava ao início do eito de corte para iniciar um novo deslocamento, devido à dificuldade imposta pela declividade do terreno.

Ressalta-se que, neste ponto, havia um questionamento se a máquina, ao atingir o final do eito de corte na parte superior da encosta, deveria descer realizando o corte das árvores ou se deveria deslocar até a parte baixa do terreno e reiniciar a derrubada. A partir deste estudo, constatou-se que o tempo consumido com o deslocamento da máquina causou grande impacto no tempo total do ciclo operacional, porém sendo um procedimento necessário nestas condições operacionais.

Na Figura 5 são apresentados os tempos efetivos do ciclo operacional do corte florestal com o *harvester* em ambas as declividades do terreno, evidenciando-se a influência da declividade no tempo consumido nesta etapa do processamento das árvores. E quando foram agrupadas as classes de declividade, o tempo consumido no deslocamento da máquina aumentou em torno de 31,3% entre os tratamentos 1 e 2, indicando a influência da declividade do terreno no deslocamento da máquina.

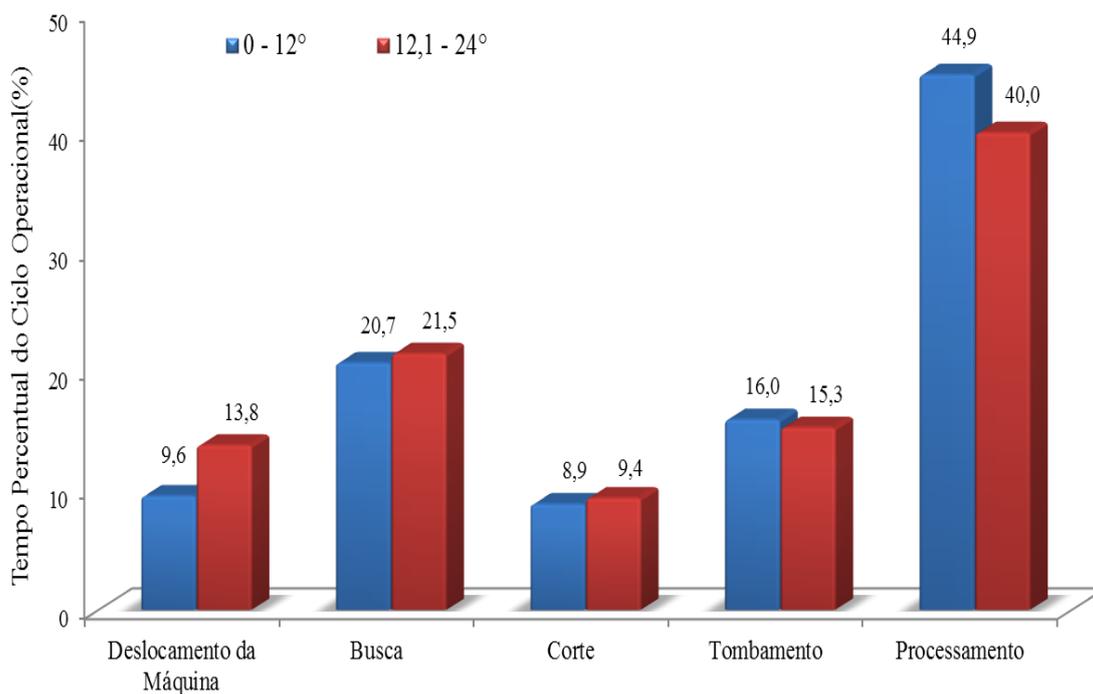


Figura 5. Distribuição percentual do tempo efetivo do ciclo operacional do harvester no corte florestal em ambas declividades do terreno.

Com isso, o maior tempo de processamento verificado no tratamento 1 ocorreu devido ao menor tempo consumido pela máquina no deslocamento, sendo que, no mesmo local, conseguia alcançar um maior número de árvores para execução do processamento. No tratamento 2, a máquina necessitava deslocar-se mais para conseguir realizar o processamento de um mesmo número de árvores.

Portanto, é possível observar que em torno de 44,9% e 40,0% do tempo total do ciclo operacional foi utilizado no processamento das árvores, perfazendo um tempo médio de 24 e 27 segundos por árvore nos tratamentos 1 e 2, respectivamente. Tais resultados foram inferiores aos obtidos por Burla (2008), que avaliando o corte com *harvester* em regime de corte raso em diferentes condições de declividade e volume por área, verificou que a etapa de processamento correspondeu a 52% do tempo total do ciclo operacional.

Na busca da árvore, o tempo despendido foi em torno de 20,7% e 21,5%, enquanto o tombamento ocupou 16% e 15,3% do tempo total do ciclo operacional nos tratamentos 1 e 2, respectivamente.

A distribuição percentual das interrupções (IT) ocorridas durante a execução da operação do corte florestal nos povoamentos submetidos ao desbaste, em ambos os tratamentos, é apresentada na Figura 6. Como pode ser visto, em ambos os tratamentos, as interrupções corresponderam a 17,2% do tempo total do ciclo operacional, perfazendo, portanto, uma eficiência operacional média de 82,7% em ambos os tratamentos.

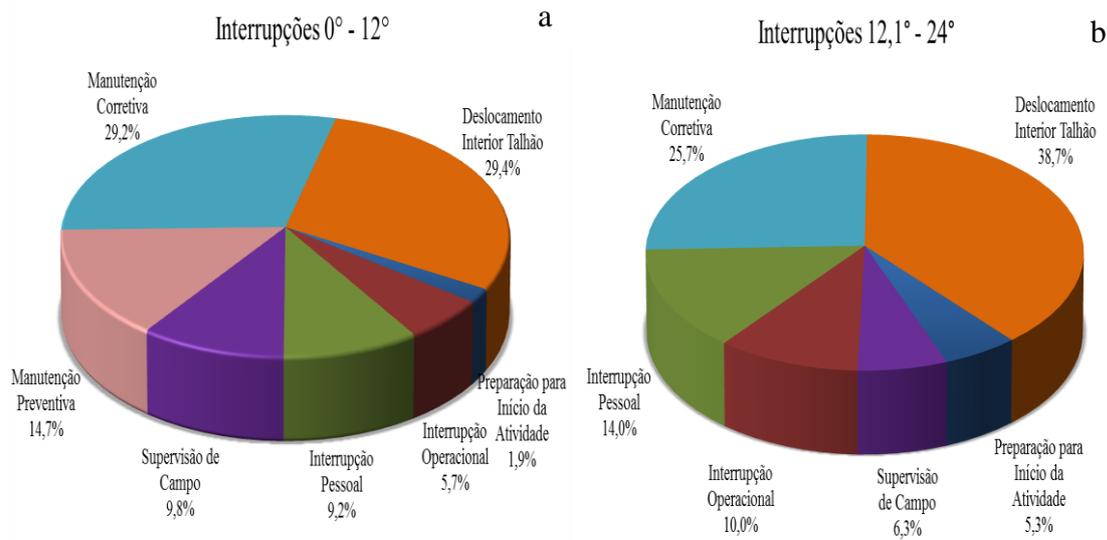


Figura 6. Distribuição percentual das causas das interrupções do *harvester* na execução do corte florestal em ambas as declividades do terreno, (a) declividade 0° a 12°, e (b) declividade 12,1° a 24°.

O deslocamento da máquina no interior do talhão foi a principal causa das interrupções operacionais, com 29,4% no tratamento 1 e 38,7% no tratamento 2. Este comportamento foi ocasionado pela necessidade de retorno da máquina no início do eito após a execução do corte das linhas de plantio, sendo necessário devido à declividade do terreno. Portanto, ficou evidente a influência negativa deste tempo no ciclo da máquina, sendo importante que nas áreas planas a máquina altere o sentido de deslocamento após a finalização de um eito de corte, reduzindo o deslocamento interno.

Outro fator que contribuiu para a ocorrência das interrupções foram as manutenções corretivas, com 29,2% e 25,7% nas declividades de 0° a 12° e 12,1° a 24°, respectivamente. O fator de maior contribuição foi a troca de corrente, afetado pela falta de peças de reposição. Além disso, a necessidade de substituição e reaperto de

mangueiras hidráulicas, que era executado somente pela equipe de manutenção, contribuiu para a ocorrência de perda de tempo até a chegada da equipe.

Portanto, o elevado tempo para execução da manutenção afetou negativamente a produtividade da máquina, demonstrando, assim, a necessidade de realização da manutenção preventiva.

As interrupções pessoais contribuíram com 9,2% e 14,0% das interrupções, nas declividades 1 e 2, respectivamente, sendo as paradas para realização das refeições e necessidades pessoais, as principais causas observadas durante a realização do estudo.

Os tempos percentuais do ciclo operacional do *harvester* no corte em ambas as declividades do terreno são apresentados na Tabela 8. Ao analisar as condições operacionais estudadas, verificou-se que nos tratamentos 1 e 2, a porcentagem do tempo do processamento foi ligeiramente superior em relação às demais atividades do ciclo operacional.

Tabela 8. Tempo percentual do ciclo operacional do *harvester* no corte florestal em ambas as declividades do terreno.

Classe de Declividade	Atividades Parciais do Ciclo Operacional					
	DM	BU	DR	TO	PR	IT
0° - 12°	7,9 b	17,1 a	7,4 a	13,2 a	37,2 a	17,2 a
12,1° - 24°	11,5 a	17,7 a	7,8 a	12,7 a	33,2 a	17,2 a
Valor t	8,93*	1,36 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,46 ^{ns}	5,45 ^{ns}	0,14 ^{ns}
CV (%)	19,85	11,88	12,16	12,19	6,42	18,09

*Médias seguidas por letras distintas indicam diferença significativa pelo teste “t”. Letras minúsculas comparam a atividade entre as classes de declividade. *significativo a 5%; ns não significativo; DM = deslocamento da máquina; BU = busca; DR = derrubada; TO = tombamento; PR = processamento; IT = interrupções; CV: coeficiente de variação.

Por meio da análise dos valores estatísticos apresentados e seguindo os princípios citados por Gomes e Garcia (2002), nota-se que em ambos os tratamentos, os coeficientes de variação foram inferiores a 10% (Tabela 8), explicado pelo menor erro experimental e maior precisão do experimento. Segundo os autores, a variabilidade de um atributo pode ser classificada por meio dos valores de coeficiente de variação (CV) como baixo ($\leq 10\%$), médio (10% - 20%), alto (20% - 30%) e muito alto ($> 30\%$).

Portanto, como já mencionado, a variação dos dados pode ser considerada baixa. Tal fato pode ser atribuído ao baixo grau de variabilidade e a homogeneidade do povoamento.

É importante ressaltar que a única atividade parcial do ciclo operacional que apresentou diferença significativa entre os tratamentos foi o deslocamento da máquina, afetado diretamente pela declividade do terreno. Observa-se nesta tabela que, o tempo consumido para deslocamento aumentou em torno de 46%, indicando a resistência oferecida pela declividade do terreno ao deslocamento da máquina.

Na classe de declividade de 0° a 12°, a máquina poderia efetuar o desbaste em uma maior superfície do talhão e alcançar um maior número de árvores estando na mesma posição, ou seja, trabalhando com um maior número de árvores por cada unidade de distância. Entretanto, com o aumento da declividade do terreno, a máquina deslocava-se um maior número de vezes para apanhar o mesmo número de árvores em relação à situação anterior.

5.1.2 Disponibilidade mecânica e técnica e eficiência operacional

As disponibilidades mecânica, técnica e eficiência operacional do *harvester*, em ambas as classes de declividade estudadas podem ser visualizadas na Tabela 9.

Tabela 9. Disponibilidade mecânica, técnica e eficiência operacional do *harvester* nas classes de declividade do terreno.

Declividade	DM (%)	DT (%)	EO (%)
0° – 12°	94,5 a	87,6 a	82,7 a
12,1° – 24°	97,5 a	84,9 a	82,7 a
Média	96,0	86,3	82,7

Médias seguidas por letras distintas indicam diferença significativa pelo teste “t” ao nível de 5% de probabilidade de erro. DM = disponibilidade mecânica; DT = disponibilidade técnica; EO = eficiência operacional. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Avaliando as duas classes de declividade do terreno, obteve-se um grau de disponibilidade mecânica média de 96,0%, estando acima do valor encontrado por Silva *et al.* (2010), que foi de 90,3% e por Simões e Fenner (2010), que foi de 90,4%. Já a disponibilidade técnica média foi de 86,3%, sendo os deslocamentos no interior do

talhão e as trocas de corrente do cabeçote processador, as principais interrupções que contribuíram para a menor eficiência técnica e mecânica, respectivamente. Com isso, obteve-se uma eficiência operacional média de 82,7% na operação com o *harvester* no corte florestal em povoamentos submetidos do desbaste, estando acima recomendado para máquinas e equipamentos de colheita da madeira.

Analisando o comportamento operacional do *harvester* nas diferentes condições de declividade do terreno, nota-se a maior disponibilidade mecânica da máquina na condição de terreno com 12,1° a 24° de declividade (97,5%). A menor disponibilidade mecânica obtida na condição de 0° a 12° de declividade (94,6%) pode ser explicada pelos problemas mecânicos ocorridos na máquina, que demandaram espera por peças de reposição, porém não tendo relação com as condições de declividade do terreno.

A eficiência operacional média do *harvester* em ambas as declividades do terreno foram superiores àquelas encontradas por Alves e Ferreira (1998) com 72,0%; Cechin (2000) com 68,0%; Lopes *et al.* (2007) com 80,3%; Silva *et al.* (2010) com 77,8% e Linhares *et al.* (2012) com 73,2%.

É importante ressaltar que, a disponibilidade mecânica, disponibilidade técnica e a eficiência operacional são critérios de medição do desempenho da máquina, cujo índice não pode ser considerado como parâmetro definitivo, sem antes avaliar a vida útil da máquina no momento de sua determinação (DOMINGOS *et al.*, 2009).

O *harvester* utilizado no estudo possuía apenas 4.600 horas de vida útil, considerando que estes indicadores são lineares decrescentes. Segundo Domingos *et al.* (2009), os valores de disponibilidade mecânica obtidos para a máquina na operação de desbaste em ambas as declividades podem ser considerados como elevados, pois, este tipo de máquina na faixa de 1.000 a 5.000 horas deve possuir, normalmente, uma disponibilidade mecânica entre 81% e 87 %, podendo decrescer, em média, de 3% a 15% a cada 10.000 horas de trabalho.

5.1.3 Produtividade

A produtividade do *harvester* na execução do desbaste nos povoamentos de pinus, em ambas as declividades do terreno, é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10. Produtividade do *harvester* na execução do desbaste nas classes de declividade do terreno.

Declividade (graus)	Número de Árvores (n)	Toras (n)	Volume Total (m ³)	Volume Médio Individual (m ³ .árvore)	Produtividade Média (m ³ .cc.he ⁻¹)
0° – 12°	3.787	15.553	594,0	0,157	21,64 a
12,1° – 24°	3.359	13.811	520,2	0,155	19,40 b
Média	3.573	14.682	557,1	0,156	20,52
Valor t					8,62*
CV (%)					11,53

Médias seguidas por letras distintas indicam diferença significativa pelo teste “t” ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os resultados mostram que, nas classes de declividade estudadas, a produtividade diminuiu com o aumento da declividade. A maior produtividade (21,6 m³ cc he⁻¹) na classe de 0° a 12° é justificada pelo fato desta condição de terreno favorecer a execução da operação, sendo um fator determinante na variação de produtividade da máquina. Este fato pode ser reforçado, quando a produtividade média em cada classe de declividade se diferenciou estatisticamente pelo teste “t”, ao nível de 5% de probabilidade.

É importante ainda mencionar que, ao longo da realização das operações, um dos principais fatores que influenciou na produtividade da máquina foi o campo visual do operador, pois, no tratamento 1 (0° - 12°), a visão geral do operador foi basicamente favorável, possibilitando, desta forma, um maior controle das atividades. Já no tratamento 2 (12,1° - 24°), o operador utilizava posturas incorretas e maior movimentação da máquina para visualização da árvore a ser derrubada, influenciando assim, na produtividade do *harvester*.

Cabral (2014) estudando o corte de pinus com um *harvester* de esteira no primeiro desbaste (com 3 sortimentos), obteve uma produtividade média de 22 m³.h⁻¹, com o volume médio das árvores de 0,14 m³. Tais resultados são semelhantes aos observados neste estudo, devido, principalmente, à semelhança nas características operacionais.

A produção média durante o estudo na condição de declividade de 0° a 12° foi de 118 m³.dia, enquanto na condição de maior declividade (12,1° a 24°) foi de 104 m³.dia, considerando um turno de trabalho de 8 horas e 40 minutos e eficiência operacional média de 82,7%. Dentre as toras processadas pelo *harvester* no tratamento 1, 17,2% foram classificados como tora e 82,8% como madeira fina destinada para celulose. Já no tratamento 2, 18,8% foram classificadas como tora e 81,2% como madeira fina para celulose, conforme Figura 7.

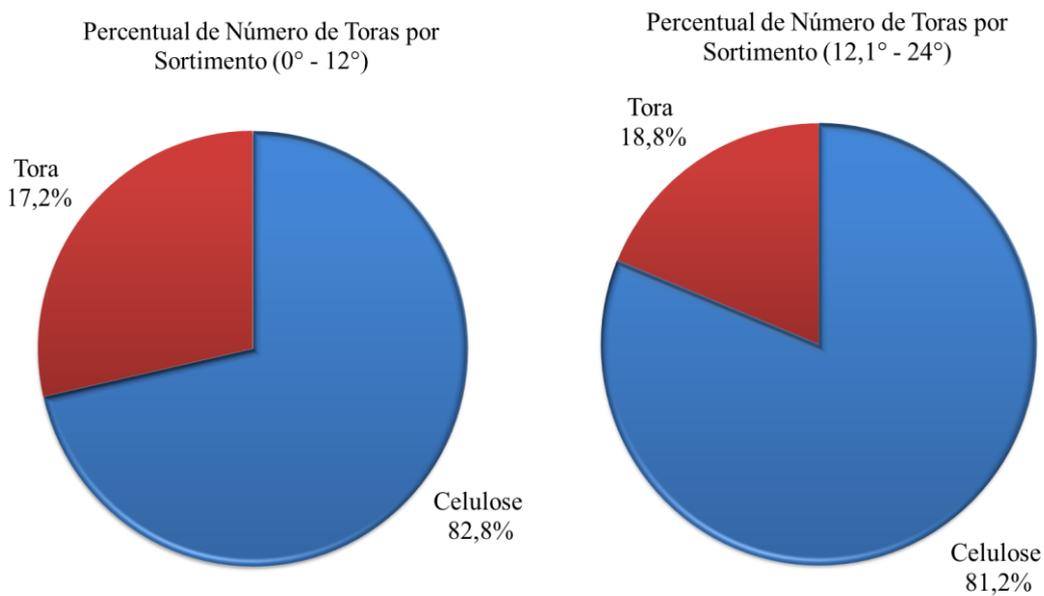


Figura 7. Percentual de madeira por sortimento processada pelo *harvester* na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.

Na Figura 8 é mostrado o volume de madeira produzido pelo *harvester* nos sortimentos para celulose e toras, em ambas as declividades do terreno. Como pode ser observado, o volume de toras produzido foi de 28,5% e celulose de 71,5%, ambos na declividade de 0° a 12°, enquanto na declividade de 12,1° a 24°, foi produzido um volume de 36,8% de toras e 63,2% de celulose.

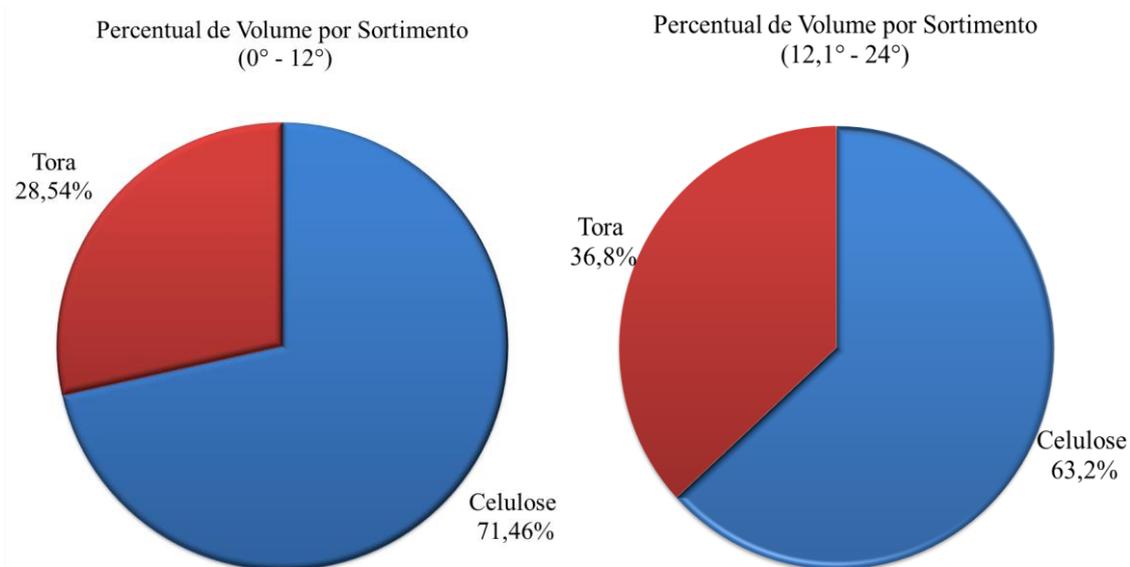


Figura 8. Percentual de volume processado pelo *harvester* na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.

5.2 Consumo específico e rendimento energético

A obtenção do consumo de combustível e rendimento energético é importante para avaliação da eficiência do motor, que transforma a energia química do combustível em trabalho útil.

Na Tabela 11 é apresentado o consumo horário de combustível, o consumo específico e o rendimento energético do *harvester* na execução do corte florestal nos povoamentos submetidos ao desbaste em ambas as declividades do terreno. Como pode ser visto, na declividade de 0° a 12°, o consumo médio da máquina foi de 12,07 L.he⁻¹, resultando em um consumo específico médio de 109,14 g.kW⁻¹.he⁻¹ e rendimento energético do corte florestal de 5,04 g.kW⁻¹.m³.cc. Já na condição de declividade de 12,1° a 24°, o consumo médio de combustível foi de 14,22 L.he⁻¹, resultando em um consumo específico médio de 128,59 g.kW⁻¹.he⁻¹ e rendimento energético médio de 6,63 g.kW⁻¹.m³.cc.

Tabela 11. Consumo de combustível, consumo específico e rendimento energético do *harvester* na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.

Declividade	Consumo médio de Combustível (L he ⁻¹)	Produção (m ³ cc he ⁻¹)	Consumo Específico (g kW ⁻¹ m ³)	Rendimento Energético (g kW ⁻¹ m ³ cc)
0° – 12°	12,07	21,64	109,14	5,04
12,1° – 24°	14,22	19,40	128,59	6,63
Média	13,14	20,52	118,87	5,83

Como pode ser verificado, à medida que se aumentou a declividade do terreno, houve redução na produtividade da máquina, aumento no rendimento energético e o consumo de combustível na ordem de 38,6% e 17,8%, respectivamente. Este resultado mostrou a influência da declividade do terreno no consumo de combustível e no rendimento energético, ocasionando assim, um maior custo operacional na produtividade do equipamento. Simões *et al.* (2010), analisando um *harvester* com potência nominal de 103 kW na colheita observou rendimento energético de 5,4 g.kW⁻¹.m³.cc, com maior consumo específico de 194,80 g.kW⁻¹.he⁻¹.

5.3 Análise dos custos operacionais e de produção

Os custos operacionais do *harvester* em ambas as declividades do terreno estudado são apresentados na Tabela 12, e detalhados no Anexo 1, considerando uma taxa de juros de 12% ao ano. O custo operacional do *harvester* na declividade de 0° a 12° foi de R\$ 187,13/he⁻¹, enquanto na condição de 12,1° a 24° foi de R\$ 196,88/he⁻¹. Tal diferença entre os tratamentos pode ser atribuída aos custos variáveis da máquina (consumos), principalmente de combustível, onde foi superior na condição de maior declividade do terreno.

Tais valores foram superiores aos observados por Cabral (2014), que estudando um *harvester* de esteiras, operando em um primeiro desbaste de *Pinus taeda*, obteve um custo operacional médio de R\$ 165,00/he⁻¹, e acima do observado por Silva *et al.* (2010), de R\$ 115,03 por hora efetiva de trabalho no corte de *Pinus* sp. com um *harvester* de esteiras. No entanto, valores menores do que os observados por Lopes *et al.* (2007), que obteve R\$ 252,27 por hora efetiva de trabalho no corte em uma floresta de *Pinus taeda* com 15 anos, utilizando um *harvester* de esteiras.

Tabela 12. Custos fixos e variáveis do *harvester* na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.

	Item (R\$ he ⁻¹)	Declividade do terreno	
		0° – 12°	12,1° – 24°
Fixo	Depreciação	31,30	31,30
	Juros e Seguros	27,75	27,75
Variável	Combustível	28,97	34,13
	Lubrificantes e Graxas	8,69	10,24
	Óleo Hidráulico	14,48	17,06
	Esteiras	8,45	8,45
	Manutenção e Reparos	35,00	35,00
	Administração	7,73	8,20
Pessoal operacional	24,76	24,76	
Custo Operacional Total	187,13	196,88	

Como pode ser constatado, dentre os custos variáveis, os custos de combustível, lubrificantes e graxas e óleo hidráulico, representaram, em média, 29,5% dos custos totais da operação. A variação nos valores (combustível, lubrificantes e graxas e óleo hidráulico) entre os tratamentos ocorreu devido ao *harvester* trabalhar em uma área com maior grau de declividade, onde foi necessário uma maior movimentação e maior exigência energética da máquina na realização do ciclo operacional.

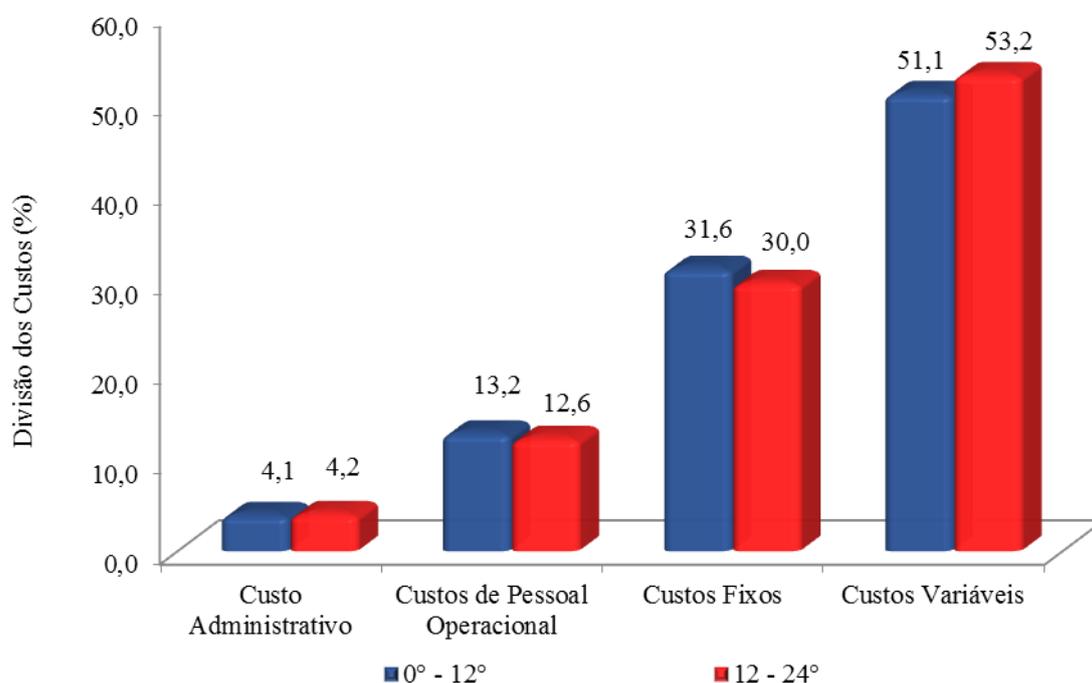


Figura 9. Distribuição percentual dos custos operacionais do harvester na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.

Como pode ser verificado, os custos variáveis (Figura 9) corresponderam com a maior parte dos custos operacionais do *harvester* em ambas as declividades do terreno, seguido dos custos fixos e de pessoal operacional.

Os valores percentuais dos itens que compuseram os custos operacionais do *harvester* são mostrados na Figura 10. O custo de manutenção e reparos foi aquele que mais contribuiu com o custo operacional total da máquina em ambas as declividades do terreno. Tal resultado foi ocasionado devido ao elevado número de quebras ocorridas com a máquina durante a operação, com necessidade de substituição de peças, como mangueiras hidráulicas, sabres e correntes.

Na Figura 10 é ilustrada a distribuição percentual dos custos operacionais do *harvester* na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.

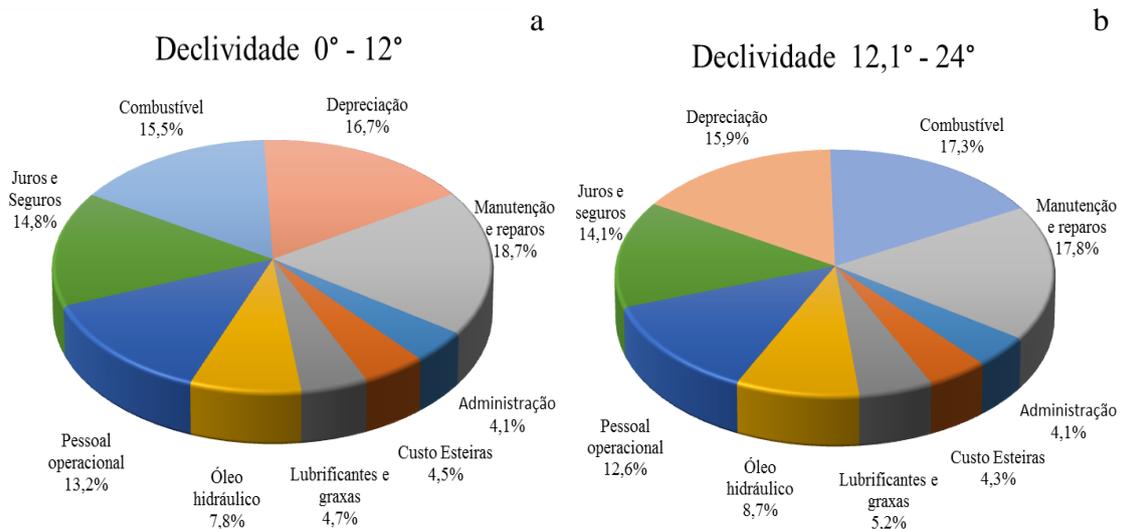


Figura 10. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do *harvester* na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno, (a) declividade 0° a 12°, e (b) declividade 12,1° a 24°.

Por isso, uma forma de diminuir tal custo poderia ser a implantação de um programa de manutenção preventiva mais eficiente, de forma a antecipar as falhas, contribuindo para a maior disponibilidade mecânica e vida útil da máquina e, conseqüentemente, maior produtividade.

Os custos de combustível e depreciação apresentaram-se como a segunda e terceira maior participação nos custos, com 16,7 e 15,5% nas classes de declividade de 0° a 12° e 17,3 e 15,9% na declividade de 12,1° a 24°, respectivamente, ficando próximos dos valores observados por Lopes *et al.* (2007), de 17,3% e 17,5% dos custos operacionais do *harvester* respectivamente.

Com isso, percebe-se que dentre tais custos, o único passível de redução imediata é o custo com manutenção, pois, sendo realizada de forma correta a manutenção preventiva, evita-se o elevado número de quebras que foram observadas na execução da operação. Algumas empresas vêm conseguindo grandes ganhos econômicos no desenvolvimento de máquinas com sistemas de filtragem de óleo hidráulico e com rotinas de análise de óleos (manutenção preditiva), aumentando o tempo entre as revisões programadas e resultando na redução dos custos de manutenção e aumento da disponibilidade mecânica.

Na Tabela 13 é apresentada a produtividade e os custos operacionais e de produção do *harvester* na execução do desbaste em ambas as declividades do terreno. Como pode ser visto, houve uma diminuição da produtividade e aumento do custo

operacional da máquina na maior declividade do terreno, acarretando, conseqüentemente, no aumento do custo de produção do corte. Tal resultado mostrou a influência da declividade do terreno na produtividade e no custo da operação de corte florestal em povoamentos submetidos ao regime de desbaste.

Tabela 13. Custos operacionais e de produção do *harvester* na execução do desbaste nas diferentes declividades do terreno.

Declividade do terreno (Graus)	Produtividade (m³.he⁻¹)	Custo Operacional (R\$.he⁻¹)	Custo de Produção (R\$.m⁻³)
0° – 12°	21,64	187,13	8,65
12,1° – 24°	19,40	196,88	10,15
Média	20,52	192,00	9,40

Como pode ser observado (Tabela 13), o custo de produção do *harvester* na execução do corte na declividade de 0° a 12° foi de R\$ 8,65/m³, enquanto na declividade de 12,1° a 24° foi de R\$ 10,15/m³. Tal resultado evidenciou a influência da declividade do terreno no custo de produção da colheita da madeira em povoamentos submetidos ao desbaste, tendo ocorrido, principalmente, ao elevado consumo de combustível e manutenção corretiva, ocorrido em ambas as declividades do terreno.

É importante ressaltar que, os valores observados foram inferiores ao relatado por Cabral (2014), que verificou um custo de produção de R\$ 16,25/m³ na realização do desbaste nas mesmas condições de trabalho, explicado pelo alto custo em mão-de-obra, comparando com a presente pesquisa.

Deste modo, a partir do custo operacional médio de R\$ 192,00 por hora efetiva de trabalho e produtividade efetiva média de 20,5 m³.cc.he⁻¹, obteve-se um custo de produção de R\$ 9,40 por m³.cc.

5.4 Estimativa da produtividade do *harvester*

Inicialmente, foram realizadas regressões lineares com todas as variáveis disponíveis e que se mostraram significativas nas regressões, e em seguida, foram feitas novas regressões sem as variáveis que não apresentaram valor-P significativo. Assim,

foram selecionados três modelos que apresentaram as melhores estimativas das produtividades reais do *harvester* (Tabela 14).

Tabela 14. Coeficientes e estatísticas das equações ajustadas para estimativa da produtividade do *harvester*.

	Equação	R² adj	Syx	Syx%
1	$P = 273,461027.V_i - 580,670903.V_i^2 - 13,841442(V_i.D) + 29,356996.(V_i^2.D) + 1,040242.D$	0,98	2,22	10,49
2	$P = 0,023051.D^2 - 280,535344.V_i^2 + 234,344893.V_i - 5,662465.(D.V_i)$	0,94	5,00	23,61
3	$P = 46,692633.V_i + 0,673648.D$	0,87	7,46	35,23

P = produtividade ($m^3 h^{-1}$); V_i = volume individual ($m^3 cc$); D = declividade do terreno (graus); R² adj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa ($m^3 cc he^{-1}$); e, Syx% = erro padrão de estimativa percentual corrigido.

Os coeficientes de determinação (R² adj) das equações variaram de 0,87 a 0,98, onde as variáveis estudadas explicaram a produtividade da máquina entre 87% e 98%. O maior coeficiente de determinação (0,98) e menor erro padrão de estimativa (2,22) foram observados na equação 1 (Meyer). Sendo assim, a equação que melhor estimou a produtividade do *harvester*, ficando acima dos obtidos por Leite (2012), que observou resultados de R² adj para a estimativa da produtividade do *harvester* em função do volume por árvore e declividade do terreno de 0,82 e 0,86 realizando regressões lineares.

Nas Figuras 11 e 12 é apresentado o comportamento da produtividade do *harvester* em função do volume individual por árvore, ficando constatada a influência desta variável na produtividade da máquina. À medida que o volume individual por árvore aumentou, a produtividade do *harvester*, estimada pela equação 1, também aumentou, atingindo uma produtividade média de $21,64 m^3.cc.he^{-1}$ na declividade de 0° a 12° e de $19,4 m^3.cc.he^{-1}$ na declividade de $12,1^\circ$ a 24° .

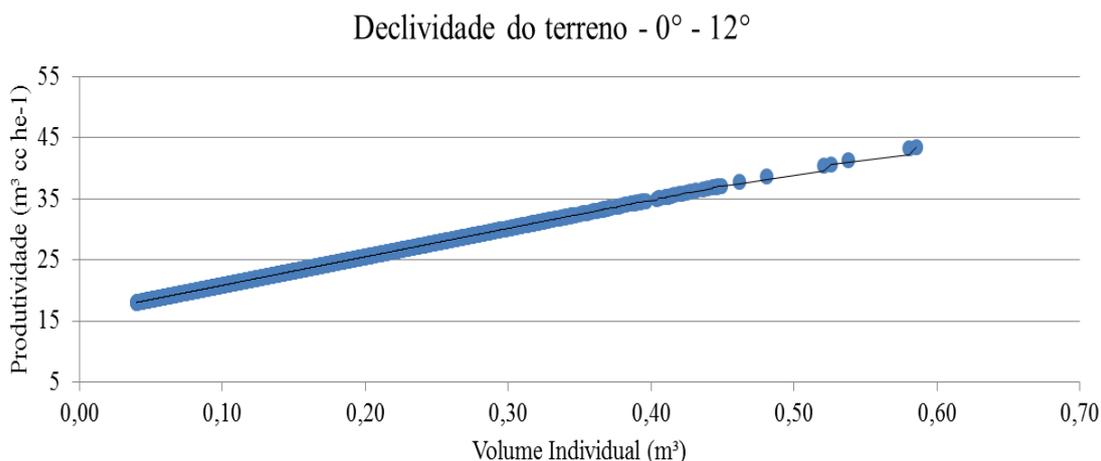


Figura 11. Estimativa da produtividade efetiva do *harvester* no corte de povoamento de pinus no primeiro desbaste na declividade de 0° a 12°.

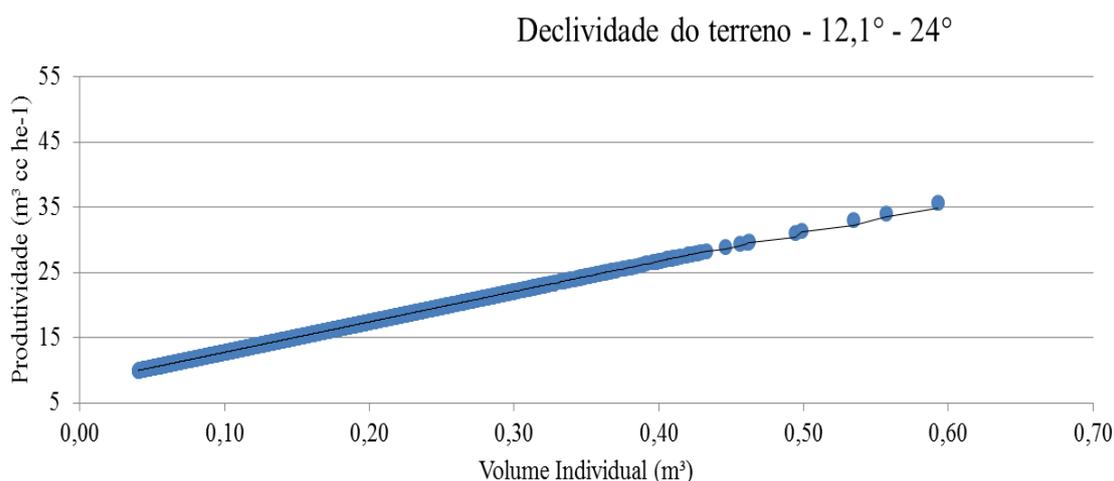


Figura 12. Estimativa da produtividade efetiva do *harvester* no corte de povoamento de pinus no primeiro desbaste na declividade de 12,1° a 24°.

Como pode ser observado nas Figuras 10 e 11, na condição de declividade de 0° a 12° e 12,1° a 24°, respectivamente, a variação da produtividade da máquina em relação ao volume individual das árvores (V_i) evidenciou a curva característica dessa relação, com aumento da produtividade proporcional ao volume das árvores até um ponto de máximo.

Os coeficientes das equações ajustadas com suas respectivas estatísticas de regressão usadas na estimativa da produtividade do *harvester* são apresentados na Tabela 14. É importante salientar que, a qualidade do ajuste (R^2 adj aumentou e S_{yx} diminuiu) melhorou de acordo com a quantidade de interações realizadas entre as

variáveis. O coeficiente de determinação (R^2 adj), basicamente, indicou o quanto o modelo foi capaz de explicar os dados coletados, e o erro padrão da estimativa (Syx) informou, de modo aproximado, a extensão do erro entre os valores das produtividades estimadas e os valores da produtividade real.

Na Figura 13 observa-se o resultado da modelagem da produtividade do *harvester* em função do grau da declividade do terreno e do volume individual, onde a produtividade reduziu com o aumento da declividade e do volume por árvore.

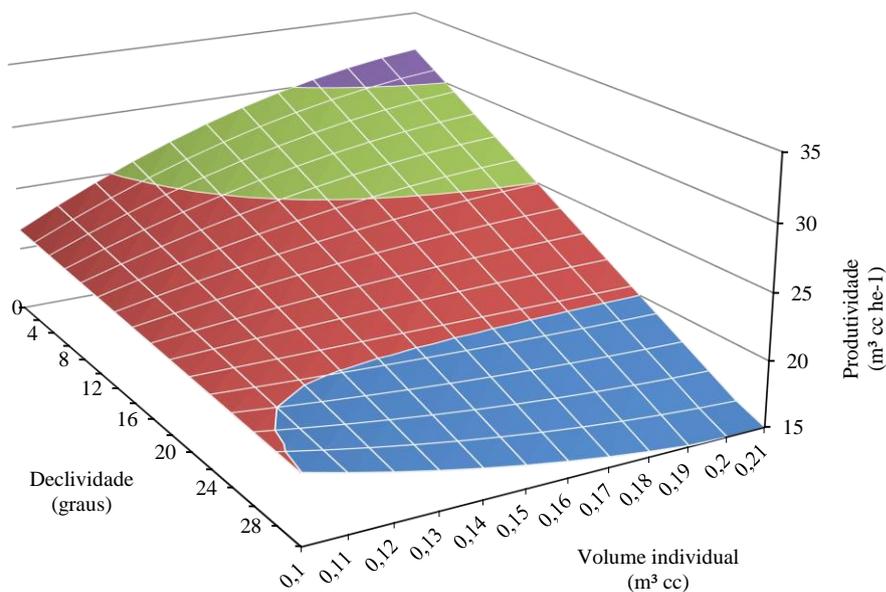


Figura 13. Variação da produtividade estimada em função da declividade do solo e volume individual para o *harvester* no sistema de toras curtas.

Em relação à variável declividade, ocorreu uma diminuição mais acentuada da produtividade, a partir dos 18°, comprovando que a declividade até este valor, não interferiu intensamente na produtividade da máquina. Leite (2012) estudando um sistema de colheita em toras curtas, com *harvester*, identificou o limite da produtividade da máquina em 10° de declividade, sendo que acima deste valor, a produtividade tende a diminuir. Valores detalhados das estimativas da produtividade estão disponíveis no Anexo 2.

A partir deste ponto, há uma tendência de redução, indicando que as árvores atingiram um tamanho que dificultava o trabalho da máquina. A partir desse ponto, a etapa do processamento torna-se mais demorado, diminuindo assim, a produtividade.

Tais resultados poderão colaborar com o planejamento da colheita utilizando o *harvester* em declividades com o grau mais elevado e em povoamentos com maior volume individual. O uso deste modelo pode gerar um mapa de rendimento do *harvester*, conseqüentemente, identifica a produtividade e os custos da máquina por situação de área.

Na Figura 14 pode-se notar que, a distribuição de resíduos apresentou melhor comportamento na equação de Meyer, sendo que, quanto mais perto do eixo das abscissas os resíduos se distribuírem, sem tendência. Sendo assim, este modelo foi o mais adequado para a estimativa da produtividade do *harvester* nas condições analisadas.

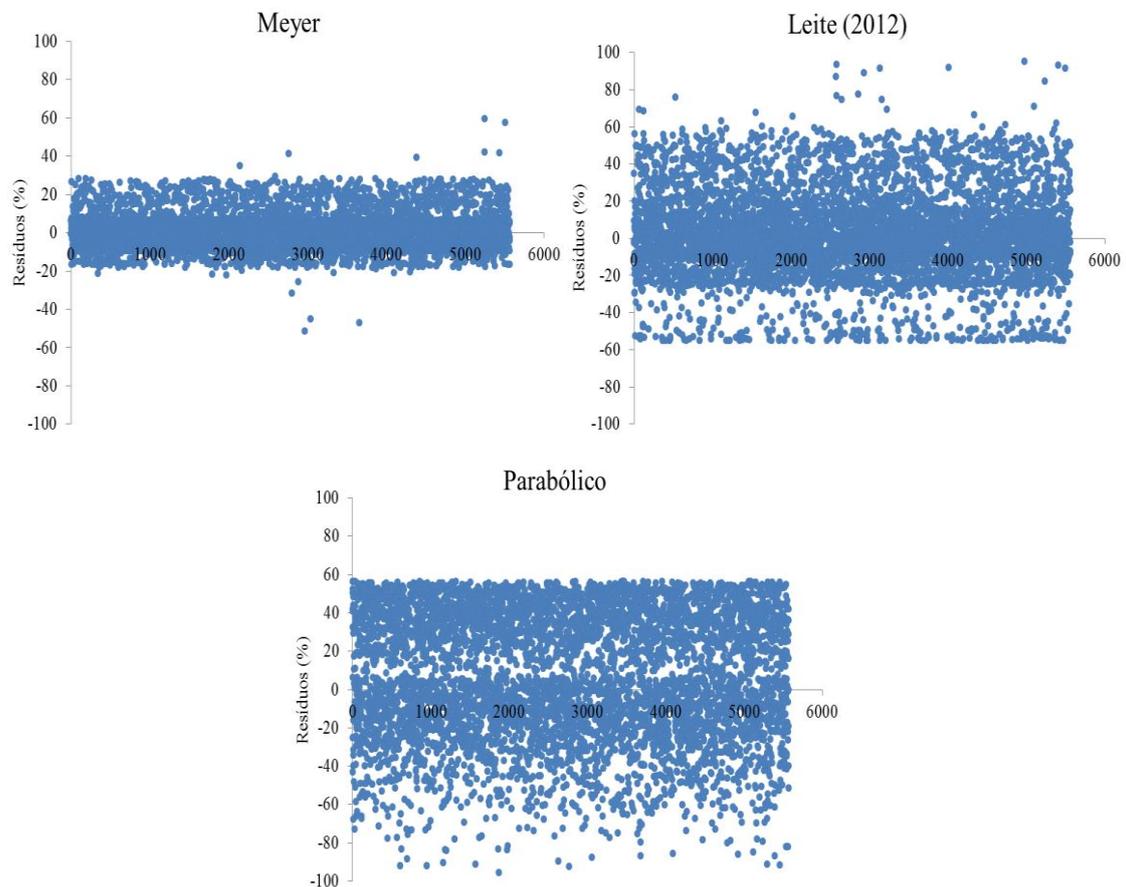


Figura 14. Distribuição dos resíduos referentes aos modelos ajustados.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões:

- a) A etapa de processamento da madeira contribuiu com a maior parte do tempo total do ciclo operacional do *harvester* em ambas as declividades do terreno, sendo ainda afetado pelo volume individual da árvore;
- b) O deslocamento da máquina foi a atividade parcial mais afetada pela declividade, ocasionada pela maior movimentação da máquina em terrenos de maior declividade no interior de povoamentos submetidos ao desbaste;
- c) O deslocamento da máquina no interior do talhão ao final dos eitos de corte foi a principal causa das interrupções operacionais, ocasionado pela dificuldade da máquina em proceder ao corte em sentido contrário em terrenos de maior declividade;
- d) A produtividade do *harvester* reduziu na condição de maior declividade do terreno, sendo uma variável importante a ser considerada no planejamento operacional;
- e) O aumento da declividade do terreno contribuiu para um maior consumo de combustível do *harvester* na execução do desbaste, devido ao maior esforço e movimentação da máquina na execução do desbaste;
- f) Os custos de combustível e manutenção contribuíram de forma significativa com o custo operacional do *harvester*, sendo os itens que merecem maior atenção dos gestores florestais;
- g) As variáveis “declividade do terreno” e “volume individual” são variáveis que afetam diretamente a produtividade do *harvester* na execução do corte, devendo ser consideradas no planejamento operacional;
- h) A equação ajustada a partir do modelo de Meyer estimou com maior precisão por meio das variáveis “declividade do terreno” e “volume individual” a produtividade do *harvester* na execução do corte do povoamento submetido ao regime de desbaste.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWAL, A. K. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. **Progress in energy and combustion science**. v. 33, n. 3, p. 233-271, 2007.

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.

ALVES, M. K. L.; FERREIRA, O. O. Avaliação da etapa de descasque de torretes de eucalipto para polpa. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 1-12, 1998.

ANDRADE, S. C. **Avaliação técnica, social, econômica e ambiental de dois subsistemas de colheita florestal no litoral norte da Bahia**. 1998. 125p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

ARANDA, U. **Dendrometría**. Madrid: Mundi Prensa. 409. p. 2003.

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

BERTIN, V. A. S. **Análise de dois modais de sistemas de colheita mecanizados de eucalipto em 1ª rotação**. Botucatu, SP: UNESP, 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciência Agrônomicas, Botucatu, 2010.

BIRRO, M.H.B. **Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com “track-skidder” em região montanhosa**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 29 f. (Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BLINN, R.; DAHLMAN, R.; MATTSON, & THOMPSON, M. 2000. **Overview of approaches to sustain forest productivity during forest road development and timber harvesting activities**. In: http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/1999/nc_1999_Blinn_002.pdf? Acessado em: 02 de fevereiro de 2016.

BRAMUCCI, M. **Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de "harvesters" na colheita de madeira**. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, 50. p. 2001.

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, dez. 2002.

BURKES, E.; WILL, R.; BARRON, G.; TESKEY, R.; BARRY, S. Biomass partitioning and growth efficiency of intensively managed *Pinus taeda* and *Pinus Elliottii* stand planting densities. **Forest Science**, v.49, n.2, p.224-234, 2003.

BURLA, E. R. **Avaliação técnica e econômica do "harvester" na colheita do eucalipto**. Viçosa, MG: 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2008.

CABRAL, O. M. J. V. **Análise operacional comparativa da colheita de madeira em dois modelos de desbaste de *Pinus taeda* L.** Irati: UNICENTRO, 2014. 109P. Dissertação (Mestrado em ciência florestal) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2014.

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.

CHUDAKOV, D. A. **Fundamentos de la teoria y el cálculo de tractores y automóviles**. Moscow: Mir, 435. p. 1977.

COUTO, H. T. Z. **Manejo de florestas e suas utilizações em serraria**. In: seminário internacional de utilização da madeira de eucalipto para serraria, 1985, São Paulo. Anais. Piracicaba: IPEF; IPT; IUFRO; ESALQ, p. 20-30. 1995.

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

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

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

DAVIS, C.; ROBERTS, K. **Plantation Silviculture**. In: World forestry congress proceedings, 1991. Paris: IUFRO, p. 155-166. 1991.

DIAS, A. N. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetida a desbastes**. Viçosa, MG: 2000. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

DOMINGOS, A.; LOPES, J.; COSCELLI, G. Estudo da Eficiência de Disponibilidade Mecânica em Frotas Agrícolas. **Agrimotor**, São Paulo, n.47, p.10-12, 2009.

ELIASSON, L. Simulation of thinning with a single-grip harvester. **Forest Science**, v. 45, n. 1, p. 26-34, fev. 1999.

FAO. **Logging and log transport in manmade forests in developing countries**. Roma: 1974. 90p. (Forest Paper - FAO, 18).

FENNER, P. T. **Métodos de cronometragem e a obtenção de rendimentos para as atividades de colheita de madeira**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas. Universidade Estadual Paulista, 14. p. 2002.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da.; REISSMANN, C. B.; BELLOTE, A. F. J.; MARQUES, R. **Nutrição de pinus no sul do Brasil: diagnóstico e prioridades de pesquisa**. Documentos EMBRAPA Florestas, Paraná, n.60, p.1-23. 2001.

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

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. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.9, n.1, p. 79-87. 1999.

Forests and Rangelands - **Forest operations equipment catalog** - Feller Buncher. Disponível em: <
<http://www.forestsandrangelands.gov/catalog/equipment/fellerbuncher.shtml>> Acessado em: 23 de novembro de 2015.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: ESALQ, 309. p. 2002.

HARRIS, J. M. **Effect of rapid growth on wood processing**. 170 IUFRO Word Congress. Japão, p. 117–125. 1981.

HARRY, G. G.; FONTES J. M.; MACHADO, C. C.; SANTOS, S. L. **Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de máquinas florestais**. In: Simpósio Brasileiro sobre Exploração e Transporte Florestal, 1991, Belo-Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFV/SIF, p. 57-75. 1991.

HOLTZSCHER, M. A.; LANFORD, B. L. Tree diameter effects on cost and productivity of cut-to-length systems. **Forest Products Journal**, Madison, v. 47, n. 3, p.25-30, Mar. 1997.

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

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

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Anuário estatístico do IBÁ, 2015, ano base 2014**. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf> Acesso em: 18 de dezembro de 2015.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura de *Pinus* no Brasil**. Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS). 2005.

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

LAMPRECHT, H. **Silvicultura en los Trópicos: Los Ecosistemas Forestales en los Bosques Tropicales y sus Especies Arbóreas, Posibilidades y Métodos para un Aprovechamiento Sostenido**. Eschborn: GTZ, 335. p. 1990.

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

LEITE, E. S. **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas**. 109 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

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

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa,: UFV - Imprensa Universitária, p. 43-73. 2014.

LINHARES, M.; JÚNIOR, C. R. S.; CAMPOS, F.; YAMAJI, F. M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas harvester e forwarder na colheita florestal. **Revista da Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012.

LOPES, E. S. **Aplicação do programa SNAP III (Scheduling and Network Analysis Program) no planejamento da colheita e do transporte florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 150 f. (Tese de Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

LOPES, E. S. **Análise Técnica e Econômica de um Sistema de Colheita Florestal**. 2007. 124 p. Tese Doutorado (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

LOPES, E. S.; CRUZINIANI, E.; DIAS, A. N.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do corte de madeira de pinus com cabeçote *harvester* em diferentes condições operacionais. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 305-313, 2007.

LOPES, E. S.; CRUZINIANI, E.; ARAUJO, A. J.; SILVA, P. C. Avaliação do treinamento de operadores de *harvester* com o uso de simulador de realidade virtual. **Árvore**, v. 32, n. 2, p. 291-298, 2008.

LOPES, E. S.; DINIZ, C. C. Produtividade do trator florestal chocker skidder na extração de madeira em terrenos declivosos. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 625-634, 2015.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Ciência do trabalho florestal**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 65. p. 1988.

MACHADO, C. C. **Exploração florestal**: Viçosa, MG. UFV, Imprensa Universitária, Pt.6, 34. p. 1989.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Cerne**. Lavras, v. 6, n. 2, p. 124-129, 2000.

MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 3 ed., Viçosa: Editora UFV. 468. p. 2014.

MAKKONEM, I. Choosing wheeled short wood *Forwarder*, Technical Note No. 136. Quebec: **FERIC** - Chaire, p. 12. 1989.

MALAN, F. S. **Eucalypts improvement for lumber production**. In: Seminário internacional e utilização da madeira de eucalipto para serraria, São Paulo. Anais... Piracicaba: IPEF; IPT; IUFRO; ESALQ, p. 1-19. 1995.

MALINOVSKI, J.R., CAMARGO, C.M.S. A Eucaliptocultura no contexto brasileiro, **Revista Madeira**, Brasília, nº 59, Set., 2001. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=11&subject=Eucaliptocultura&title=A%20Eucaliptocultura%20no%20Contexto%20Brasileiro>. Acessado em: 07 de junho de 2015.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R.; YAMAJI, F. M. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. **Floresta**, v. 36, n. 2, p. 169-182p, 2006.

MALINOVSKI, R. **Otimização da Distância de Extração de Madeira com Forwarder**. 2007. 94 p. Tese Doutorado - Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, São Paulo, 2007.

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

MARTINS, R. J.; SEIXAS, F.; STAPE, J. L. Avaliação técnica e econômica de um *harvester* trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 83, p. 253-263, 2009.

MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. Vol. 2. São Paulo: EDUSP, Vol. 2, 367. p. 1980.

MORAES, A. C. **Análise do treinamento de operadores de máquinas de colheita de madeira**. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

MOREIRA, F. M. T. **Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação**. Viçosa: UFV, 2000. 148p. Dissertação Mestrado. 2000.

MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; KATIA, R. S. Avaliação operacional e econômica do “feller-buncher” em dois subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Árvore**: Viçosa, MG, v. 28, n. 2. p. 199-205, 2004

MULLER, P.; ANGELI, A. **Implantação e Manejo de Florestas Comerciais, Documentos Florestais No 18**. Piracicaba: IPEF, 14. p. 2006.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; REIS, G. G.; MOREIRA, A. M. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus Taeda* L. **Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.5, p. 855-860. 2008.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E.; FIEDLER, N. Avaliação Técnica e Econômica do *Forwarder* na Extração de Toras de Pinus. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.37, n.84, p. 525-533. 2009.

OLIVEIRA, D. **Análise operacional e custos de sistemas de colheita de madeira em povoamentos de eucalipto**. Irati: UNICENTRO, 2011. 101P. Dissertação (Mestrado em ciência florestal) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2011.

REINSTORF, L. O. **The influence of stand density on growth of *Pinus elliottii***. 1970. 62f. Dissertação (Mestrado) – University of Stellenbosch, Stellenbosch, 1970.

RIBEIRO, N.; SITOIE, A. A.; GUEDES, B. S.; STAISS, C. **Manual de silvicultura tropical**. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane, FAO. 130. p. 2002.

ROBERT, R. C. G. **Análise Técnica e Econômica de um Sistema de Colheita Mecanizada em Plantios de *Eucalyptus* spp. em Duas Condições de Relevo**

Acidentado. 2013. 112 p. Tese Doutorado (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

SALMERON, A.; RIBEIRO, R.S. **Colheita mecanizada de eucaliptos em regiões acidentadas.** In: Seminário de atualização sobre sistemas de colheita e transporte florestal, 10., 1997, Curitiba. 1997. Anais... Curitiba: UFPr, FUPEF,. p. 165-181. 1997

SANTOS, S. L. M.; MACHADO, C. C. Análise técnico-econômica do processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador. **Árvore**, v. 19, n. 3, p. 346-357, 1995.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Determinação de regimes de desbaste para povoamentos de *Pinus elliottii* E. do planalto ocidental no Estado de Santa Catarina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.4, n.1, p. 43-59. 1994.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal: planejamento da produção florestal.** Santa Maria: UFSM, p. 492. 2002.

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

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

SEIXAS, F., RUMMER R.; STOKES, B. **A colheita de madeira nos Estados Unidos: a busca do manejo sustentado em equilíbrio com o meio ambiente.** In: IX Seminário de atualização sobre sistemas de colheita de madeira e transporte florestal, Curitiba. Livro de apresentações, p. 73-94. 1996

SEIXAS, F. **Extração florestal.** In: MACHADO, C.C. Colheita Florestal. 2. ed. Viçosa: UFV, p. 97-145. 2008.

SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Comparação técnica e econômica entre *harvesters* de pneus e com máquina base de esteiras. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 185-191, 2014.

SHIMIZU, J. Y. **Silvicultura de Pinus para o sul do Brasil.** REMADE, v.6, n.37, p.32-5, 1997.

SHIMIZU, J. Y. **Pinus na Silvicultura Brasileira.** REMADE, Ed. Especial n.99, 2006.

SILVA, G. F.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L.; RODRIGUES, F. L.; SANTOS, H. N. Problemas com o uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima, em regulação florestal. **Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p.677-688, 2003.

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

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Influência do relevo na produtividade e custos do harvester. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 85, p. 107-114. 2010.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com harvester. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 88, p. 611-618. 2010.

SIXEL, R.M.M. **Sistemas de Manejo Florestal. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**. Acesso em: 26 novembro de 2015.

SPINELLI, R.; OWENDE, P. M. O.; WARD, S. M. Productivity and cost of CTL harvesting of *Eucalyptus globulus* stands using excavator – based harvesters. **Forest Products Journal**, v. 52, n. 1, 57-67, p. 2002.

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

SPINELLI, R.; WARD, S. M.; OWENDE, P. M. A harvest and transport cost model for *Eucalyptus spp.* Fast-growing short rotation plantations. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, 2009.

STAMPFER, K.; LOSCHEK, J. Harvester operations increase productivity of cable extraction systems. **Österreichische Forstzeitung** (Arbeit im Wald), v. 110, n. 2, p. 4-6, 1999.

SWANN (1973) SWANN, Ken. **Techniques for production efficiency**. London: MacMillan, 192. p. 1973.

THEES, O.; FRUTIG, F.; FENNER, P. **Colheita de madeira em terrenos acidentados – Recentes desenvolvimentos técnicos e seu uso na Suíça**. In: Anais XVI Seminário

de Atualização sobre Sistema de Colheita de Madeira e Transporte Florestal. Campinas, SP , p. 125-146. 2011.

VIDRINE, C.; DEHOOP, C.; LANFORD, B. Assessment of site and stand disturbance from Cut-to-length harvesting. In: Tenth biennial southern silvicultural research conference, Shreveport. **Proceedings**. Shreveport: US FOREST SERVICE, p.16-18. 1999.

8. ANEXOS

Anexo 1. Premissas utilizadas nos cálculos dos custos operacionais e de produção do *harvester* na execução do corte em povoamentos submetidos ao desbaste.

Itens	0° – 12°	12,1° – 24°
	Valores	
Número de turnos de trabalho (n)	1	1
Dias úteis de trabalho por mês (dias/mês)	24	24
Dias úteis de trabalho por ano (dias/ano)	288	288
Número de operadores por máquina	1	1
Salário base do operador (R\$)	3.409,00	3.409,00
Encargos sociais (%)	1,3	1,3
Quilometro transporte de pessoal (Km)	40	40
Custo transporte pessoal	1,5	1,5
Taxa de juros anuais (%)	12	12
Taxa de seguros anuais (%)	5	5
Preço do óleo diesel (R\$)	2,4	2,4
Abrigo	7,5	7,5
Taxa administrativa (%)	2,5	2,5
Valor Residual	232.800	232.800
he (hora efetiva de uso anual)	2.147,472	2.147,472
N (vida útil econômica)	9,3	9,3
Valor de aquisição da máquina e cabeçote (R\$)	776.000,00	776.000,00
Vida útil da máquina e cabeçote (horas)	20000	20000
Valor residual	30	30
Eficiência operacional	82,7	82,7
Produtividade (m ³ .cc.he ⁻¹)	21,64	19,40
Preço de uma esteira (R\$)	42.234,87	42.234,87
Vida útil das esteiras (horas)	10.000	10.000
Consumo de óleo diesel (L.he ⁻¹)	12,07	14,22
Índice de lubrificante de graxa	30	30
Índice de óleo hidráulico	50	50
Valor de revenda da máquina + cabeçote (R\$)	150.000,00	150.000,00
TD (demoras e dias produtivos)	21	21

Anexo 2. Valores estimados da produtividade do *harvester* em relação ao volume individual por árvore e a declividade da área.

Produtividade Vi (m ³ .árv ⁻¹)	DECLIVIDADE em graus												
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
0,10	21,5	21,4	21,3	21,2	21,1	21,0	20,9	20,8	20,7	20,6	20,5	20,4	20,3
0,11	23,1	22,8	22,5	22,3	22,0	21,8	21,5	21,3	21,0	20,8	20,5	20,3	20,0
0,12	24,5	24,1	23,7	23,3	22,9	22,5	22,1	21,7	21,3	20,9	20,5	20,1	19,7
0,13	25,7	25,2	24,7	24,2	23,6	23,1	22,6	22,1	21,5	21,0	20,5	19,9	19,4
0,14	26,9	26,3	25,6	25,0	24,3	23,7	23,0	22,4	21,7	21,1	20,5	19,8	19,1
0,15	28,0	27,2	26,5	25,7	24,9	24,2	23,4	22,7	21,9	21,2	20,4	19,7	18,9
0,16	28,9	28,0	27,2	26,4	25,5	24,7	23,8	23,0	22,1	21,3	20,4	19,6	18,7
0,17	29,7	28,8	27,8	26,9	26,0	25,1	24,1	23,2	22,3	21,3	20,4	19,5	18,5
0,18	30,4	29,4	28,4	27,4	26,4	25,4	24,4	23,4	22,4	21,4	20,4	19,4	18,4
0,19	31,0	29,9	28,9	27,8	26,8	25,7	24,6	23,6	22,5	21,5	20,4	19,4	18,2
0,20	31,5	30,4	29,2	28,1	27,0	25,9	24,8	23,7	22,6	21,5	20,4	19,4	18,1