

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CARLA KRULIKOWSKI RODRIGUES

VARIÁVEIS DE INFLUENCIA NA OPERAÇÃO DE COLHEITA DE MADEIRA  
MECANIZADA

CURITIBA  
2015

CARLA KRULIKOWSKI RODRIGUES

VARIÁVEIS DE INFLUENCIA NA OPERAÇÃO DE COLHEITA DA MADEIRA  
MECANIZADA

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Florestal, do Curso de Pós-Graduação em Gestão Florestal do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Renato Cesar Gonçalves Robert.

CURITIBA  
2015

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Gráfico do logaritmo da produtividade em relação ao volume individual das árvores.....	15
<b>Figura 2.</b> Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função do volume de madeira por hectare.....	16
<b>Figura 3.</b> Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função da densidade de plantio .....	17
<b>Figura 4.</b> Rendimento operacional e custo de produção do <i>Harvester</i> em função das variáveis testadas .....	18
<b>Figura 5.</b> Produtividade do <i>skidder</i> de cabo nas diferentes declividades e distâncias de extração.....	20
<b>Figura 6.</b> Estimativa da produtividade do <i>clambunk skidder</i> em função da distância de extração .....	22

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1.</b> Limites de distância de transporte e declividade de terreno para diferentes sistemas de colheita. ....	19
---	----

## SUMÁRIO

Resumo.....	i
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS .....	4
3 MÉTODO.....	5
4 DESENVOLVIMENTO .....	6
4.1 Conceito de colheita de madeira.....	6
4.2 Principais máquinas e equipamentos.....	6
4.3 Sistemas de colheita de madeira .....	9
4.4 Variáveis de influência estudadas.....	11
4.4.1 Características do povoamento florestal.....	12
4.4.2 Declividade do terreno .....	18
4.4.3 Largura do eito de trabalho.....	21
4.4.4 Distância de extração .....	21
4.4.5 Sortimento .....	22
4.4.6 Operador.....	23
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	25
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	27

## RESUMO

O presente trabalho se trata de uma monografia compilada sobre o tema variáveis de influência nas operações de colheita da madeira, que teve por objetivo apresentar uma revisão de literatura para verificar os trabalhos realizados no Brasil, sobre a caracterização da influencia das variáveis sobre a produtividade e custos nas operações de colheita de madeira mecanizada, visando o planejamento das atividades. A busca se resumiu em trabalhos acadêmicos como dissertações, teses e artigos científicos. Os trabalhos encontrados serviram para descrever a situação atual da pesquisa sobre este tema. Visto que foram encontrados trabalhos que avaliaram a influencia na produtividade das máquinas em relação as características do povoamento, como diâmetro, volume individual das árvores, volume por hectare, altura das árvores e densidade do povoamento, como também foram encontrados trabalhos que verificaram a influencia da declividade do terreno, largura do eito, distância de extração, sortimento e experiência do operador. A compilação destes trabalhos pode direcionar futuras pesquisas na área, para o avanço do conhecimento e também, para auxiliar as empresas no planejamento e na otimização dos recursos disponíveis.

**Palavras-chave:** Mecanização, Produtividade, Custos, Planejamento.

# 1 INTRODUÇÃO

A colheita de madeira de florestas plantadas tem como objetivo o preparo de madeira e de seus derivados, tornando a atividade de grande importância social, econômica e ambiental para o país. Em 2014, o setor florestal brasileiro atingiu a margem de 7,74 milhões de hectares de florestas plantadas, com a maioria da espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, estimando-se que contribuiu com uma arrecadação de tributos em torno de R\$ 10,2 bilhões e com a geração de 4,2 milhões de empregos, sendo diretos, indiretos e resultantes do efeito-renda (IBÁ, 2015).

No setor florestal, a colheita da madeira, é a etapa mais importante do ponto de vista econômico, devido a sua participação no custo final do produto e aos riscos de perda envolvidos (DUARTE, 1994). Segundo Tanaka (1986), a colheita florestal é definida como um conjunto de operações realizadas no povoamento florestal, que visa preparar e transportar a madeira até o pátio da indústria. Tal atividade compreende cinco atividades básicas: corte e processamento, extração, carregamento, transporte e descarregamento (MACHADO, 2014).

A alta demanda por produtos florestais, juntamente com a necessidade de maiores rendimentos nas operações, baixa disponibilidade de mão de obra, alto custos sociais, necessidade de executar o trabalho de forma mais ergonômica e com maior eficiência, fizeram com que as empresas aderissem a mecanização no setor florestal, a fim de garantir o abastecimento contínuo das fábricas, com qualidade e segurança (BURLA, 2008).

No Brasil, a mecanização da colheita da madeira se iniciou na década de 70, quando a indústria nacional desenvolveu o seu primeiro trator florestal, o *forwarder*, destinado à extração de madeira. Na década de 80, houve a introdução do *feller-buncher* na operação de derrubada das árvores (MALINOVSKI, 1999), mas foi na década de 90, que houve uma intensificação da colheita mecanizada, com a abertura do mercado brasileiro à importação de máquinas e equipamentos de países que possuíam tais tecnologias e maior tradição na colheita florestal (BRAMUCCI, 2001).

Atualmente, os principais sistemas de colheita de madeira utilizados no Brasil são o sistemas de toras curtas (*Cut to length*) e o sistema de árvores inteiras (*Full tree*). Tais sistemas foram influenciados pelos países exportadores. Os países Nórdicos e Europeus, tais como Suécia, Irlanda e Finlândia, adotaram o sistema de toras curtas, onde utilizam os *harvesters* para efetuar o corte, o desgalhamento e traçamento dentro do talhão, e o *forwarders* para efetuar o baldeio da madeira para a beira da estrada (KARJALAINEN et al., 2001). Já os países Norte-Americanos utilizam os sistemas de árvores inteiras (*Full tree*), com a adoção de *feller-bunchers*, para cortar as árvores e organizá-las em feixes, seguida de *skidders*, responsáveis por arrastar as árvores até a beira da estrada onde são desgalhadas e traçadas por um processador (MALINOVSKI, 1999).

Para realizar a introdução de novas máquinas e sistemas é de extrema necessidade a realização de uma análise operacional, pois a falta desta análise com um foco estatístico pode levar a mal interpretação de maquinários ou sistemas (MENDONÇA FILHO; PEREIRA FILHO, 1990). Simões e Fenner (2010) dizem que os estudos realizados para identificar as variáveis de influencia sobre a produtividade das operações florestais são extremamente importantes para otimizar os recursos disponíveis e reduzir os custos operacionais.

De acordo com Burla (2008), diversos fatores influenciam na capacidade operacional das máquinas de colheita de madeira e conseqüentemente no custo de produção, tais como: as características das árvores e do povoamento, tipo de terreno, habilidade do operador e as especificações técnicas das máquinas e equipamentos. Para Minette et al. (2008), estudar detalhadamente e identificar estas variáveis possibilitam estimar a produtividade, que podem auxiliar no planejamento do processo de produção.

Malinovski et al. (2006) em seu trabalho encontraram 37 variáveis que influenciam na produtividade de 10 diferentes tipos de máquinas de colheita de madeira, nas cinco operações que compõe a atividade. De acordo com os autores, as principais variáveis que influenciam nas operações de colheita de madeira, são: topografia, características do povoamento (espécie, diâmetro

médio individual, diâmetro de galhos, volume individual por árvore, volume por hectare, espaçamento, manejo aplicado, tipos de sortimentos, densidade e qualidade da malha viária, distância média de extração, tipo de solo e umidade, época do ano, pluviosidade, planejamento das operações, e qualidade das operações.

Segundo Bramucci (2001), no Brasil, existem poucos estudos sobre a capacidade produtiva das máquinas e equipamentos nas diversas condições operacionais, sendo que muitas empresas utilizam estimativas de produtividade e custo fornecidos por fabricantes ou de trabalhos publicados em países que possuem realidades diferentes. Para Nascimento et al. (2011), há uma carência de dados confiáveis para a realização do planejamento de colheita de madeira, tanto na escolha do sistema como de máquinas mais adequadas.

Portanto, este trabalho teve como objetivo compilar os trabalhos que já foram realizados no Brasil sobre as diversas condições de trabalho, e identificar as variáveis que influenciam na capacidade produtiva das máquinas e no custo de produção.

## 2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral realizar uma revisão de literatura sobre as principais variáveis estudadas, nas diversas condições brasileiras, que influenciam nas operações de colheita da madeira pelo método mecanizado.

Especificamente objetiva-se:

- a) Levantar os trabalhos científicos publicados que tiveram por objetivo avaliar as variáveis de influencia nas operações de colheita da madeira;
- b) Identificar as principais variáveis que afetam na produtividade e nos custo da colheita de madeira mecanizada;
- c) Caracterizar a atual situação das pesquisa dentro deste tema.

### **3 MÉTODO**

O presente estudo foi realizado utilizando a técnica de pesquisa bibliográfica, que abrange uma parte da bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, com a finalidade de colocar o pesquisador em contato direto com o que já foi escrito sobre determinado assunto.

O trabalho foi realizado com a busca de trabalhos científicos que possuíam palavras-chaves, como: colheita de madeira, variáveis de influência, produtividade e custos, em dissertações, teses e artigos científicos em ferramentas de buscas da internet, no portal de periódicos da CAPES, em acervos de universidades brasileiras, e em sites de revistas na área florestal.

## **4 DESENVOLVIMENTO**

### **4.1 Conceito de colheita de madeira**

Tanaka (1986) define colheita de madeira como um conjunto de operações realizadas no maciço florestal, tendo em vista a preparação e o transporte da madeira até o pátio da indústria, por meio de técnicas e medidas pré estabelecidas, até transformá-la em produto final. Para Conway (1982) a colheita da madeira são as operações executadas desde o preparo das árvores para o corte até o transporte para o seu local de consumo.

De acordo com Kantola e Harstela (1994) *apud* Malinovski (1999) pode-se dizer que a colheita de madeira é o elo de ligação entre os recursos florestais e as indústrias madeireiras ou aos usuários da madeira. A colheita de madeira é composta pelas etapas: corte e processamento, extração, carregamento, transporte e descarregamento (MACHADO, 2014). Dependendo da situação, a colheita de madeira envolve o planejamento da operação, a medição, o recebimento no pátio da indústria e a comercialização da madeira.

Destaca-se que a colheita da madeira é considerada a operação final do ciclo de produção florestal, onde são obtidos os principais produtos, considerados os mais valiosos, e o planejamento da operação garante a rentabilidade do negócio (ARCE et al., 2004). Desta maneira, considera-se que os processos de colheita e transporte da madeira é a etapa mais importante do ponto de vista econômico, visto que esta operação pode chegar a mais de 50% do custo final da madeira posto fábrica (WADOUSKI, 1997).

### **4.2 Principais máquinas e equipamentos**

Em 1960, iniciou-se o processo de mecanização das operações florestais no Brasil, através do uso de máquinas e equipamentos do setor agrícola e industrial, tais como motosserras, tratores agrícolas com guinchos e guas. De acordo com Malinovski (1999), em 1980, houve a introdução do

*feller-buncher*, e segundo Machado (2014) a introdução também de tratores adaptados para a realização do arraste de árvores.

Somente em 1990 houve a modernização da colheita de madeira no Brasil, por meio da abertura do mercado brasileiro à importações, na qual foram adquiridas máquinas e equipamentos de países escandinavos e norte-americanos. A partir deste momento, as empresas florestais começaram a utilizar tratores florestais como *harvesters*, *forwarders*, *feller-bunchers*, *skidders* e processadores, que conseqüentemente trouxe melhorias na produtividade, na redução de custos e melhores condições de trabalho (MALINOVSKI, 1999; MACHADO, 2014).

Machado (2014) descreve que existem diversas máquinas e equipamentos disponíveis no mercado para atender as diversas necessidades que compõe a atividade de colheita de madeira. As mais utilizadas no Brasil são:

#### **a) *Harvester***

O trator colhedor florestal, denominado *harvester*, é utilizado em diversos sistemas de toras curtas, adequado para realizar o traçamento de toras com 2,0 à 6,0 m de comprimento, ou em sistemas de toras longas, em empresas que comercializam multiprodutos, utilizando-o como um processador na beira da estrada. Esta máquina é responsável por executar diversas atividades, como: derrubada, desgalhamento, traçamento, descascamento (opcional) e pré-extração através do enleiramento da madeira (MACHADO, 2014). Podendo ser encontradas no mercado em diversas marcas e modelos.

O *harvester* é uma máquina autopropelida, constituída por um conjunto motriz de alta mobilidade e boa estabilidade, um braço hidráulico e um cabeçote processador. Pode ser constituída por rodados de esteira ou de pneus em *tandem*, que quando configurado com pneus pode ter trações do tipo 4x4, 6x6 e 8x8. Porém, algumas empresas adotam o *harvester* com rodados de esteira para minimizar os efeitos do tráfego das máquinas sobre o solo (MACHADO, 2014).

Alguns modelos de *harvester* são adaptações de retroescavadeira, constituído por uma cabina fechada, com ar condicionado e proteção para a

queda de galhos e árvores, esta cabina permite um giro de 180° e boa visibilidade ao operador. A máquina pode apresentar uma potencia nominal que varia de 157 a 300 hp e um peso nominal que pode variar de 24 a 35,6 t. O cabeçote pode ser informatizado, disponibilizando informações de sortimentos, previamente programados (MACHADO, 2014).

### **b) *Feller buncher***

O trator florestal derrubador-acumulador, *feller buncher*, é responsável pelo corte, possuindo a capacidade de acumular e tombar mais de uma árvore por ciclo operacional, deixando-as empilhadas no chão. Pode ser composto por uma máquina com rodados de pneus ou esteira, e com um implemento de corte que pode ser de três tipos: disco, sabre e tesoura (MACHADO, 2014).

O procedimento de corte consiste em fixar a árvore por duas garras na altura do DAP, para em seguida realizar o corte próximo ao solo. Após o corte o braço acumulador segura uma árvore no cabeçote, reabrindo as garras para a realização de uma nova operação de corte. Depois de cortadas as árvores, os feixes são dispostos no solo em um ângulo de 45 a 90 graus ao longo da linha de plantio, para em seguidas serem extraídas pelo *skidder* até a margem do talhão.

### **c) *Forwarder***

O trator florestal autocarregável, *forwarder*, é responsável pela extração da madeira, em forma de toras, do interior do talhão até a margem ou pátio intermediário, na forma de baldeio, ou seja, sobre uma plataforma. A máquina pode ser equipada com rodados de pneus em eixos *tandem* ou esteiras, com uma tração 4x4, 6x6 ou 8x8, com uma potencia que varia de 134 a 204 hp, possuindo chassi articulado, que facilita na manobrabilidade da máquina. Equipada com uma plataforma de carga e uma grua hidráulica, que realiza o carregamento das toras, para a realização do baldeio. A grua pode possuir uma capacidade de carga que varia de 0,35 a 1 m<sup>2</sup>, um alcance de 6,85 a 7,8 m, e capacidade de carga de 10 a 19 t.

#### **d) Skidder**

O *skidder*, trata-se de um trator florestal articulado que tem a finalidade de arrastar árvores do interior até a margem do talhão ou pátio intermediário. Os rodados podem ser de pneus, esteira ou semiesteiras. A tração pode ser de 4x4 ou 6x6, com uma potência que pode variar de 134 a 230 hp e com um peso operacional que varia de 10 a 16 t. A sua cabina é fechada, com ar condicionado e contém uma estrutura que permite grande mobilidade dentro da área de corte (MACHADO, 2014).

O skidder pode ser de três tipos básicos: com cabo, com garra e com garra e grua. O rendimento operacional é influenciado diretamente pela distância de arraste e pelo volume médio das árvores que compõe o feixe.

### **4.3 Sistemas de colheita de madeira**

Segundo Sant'Anna (1992), sistema de colheita da madeira compreende o conjunto de atividades inter-relacionadas e dependentes entre si e que influenciam o produto final obtido. Malinovski (1984) menciona que a palavra sistema possui o significado de planificação, método e ordenamento das atividades desenvolvidas.

Salmeron (1981) define sistema como um conjunto de operações que podem ser realizadas em um só local ou em vários locais distintos, que devem estar integrados perfeitamente, a fim de garantir o fluxo constante de madeira, evitando pontos de estrangulamento e utilizando o máximo potencial das máquinas e equipamentos. Isto quer dizer que, um sistema pode ser definido como toda a cadeia de produção, composto por atividades parciais, que vai desde a derrubada das árvores até a madeira posta no pátio das indústrias consumidoras (MACHADO, 2014).

A escolha por um sistema de colheita de madeira pelas empresas, pode ser influenciado por algumas variáveis como: topografia, rendimento volumétrico dos povoamentos, tipos dos povoamentos, uso final da madeira, das máquinas, dos equipamentos e dos recursos disponíveis (FIEDLER, 1995).

De acordo com a FAO (1977) os sistemas de colheita de madeira são classificados quanto ao comprimento das toras e à forma como são extraídas

do talhão até o local de processamento (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998; MACHADO, 2014). Os principais sistemas são:

#### **a) Toras curtas (*cut-to-length*)**

Conforme descrito por Machado (2014), neste sistema, todas as operações do corte, tais como a derrubada, desgalhamento (opcional), destopamento, traçamento e pré extração, são realizadas no interior do talhão, sendo em seguida, as toras extraídas para a margem do talhão ou pátio intermediário. O comprimento das toras pode variar de um a seis metros. Este sistema, quando mecanizado, geralmente é composto por *harvester* e *forwarder*.

A vantagem deste sistema está no menor impacto ambiental que ele pode acarretar, em termos de compactação e exportação de nutrientes, devido os resíduos da colheita permanecerem na área (MALINOVSKI et al., 2008). Machado (2014) destaca que este sistema é indicado para ser utilizado em povoamentos onde as árvores possuem volume individual inferior a 0,5 m<sup>3</sup>, pois facilita o manuseio das toras, sendo indicado principalmente para a realização das operações de desbaste.

Como desvantagem, este sistema apresenta dificuldade em ser aplicado em terrenos acidentados, apresentando maiores custos operacionais, devido ao maior manuseio da madeira dentro do talhão e a limitação de não poder utilizar os resíduos da colheita de madeira como fonte energética (MACHADO, 1989).

#### **b) Toras longas ou fuste (*Tree-length*)**

No sistema de toras longas, as árvores são derrubadas e semiprocessadas, ou seja, desgalhada e destopada, no interior do talhão, sendo em seguida, o fuste arrastado para a margem do talhão, carreador ou pátio intermediário, onde são processadas, com a realização do traçamento e empilhamento da madeira (MACHADO, 2014).

As vantagens deste sistema é a permanência dos resíduos da colheita na área, o que garante a permanência de nutrientes no solo. Outra vantagem é o melhor desempenho das máquinas em relevos acidentados, além disso,

apresenta maior eficiência quando o volume individual das árvores é maior que 0,5 m<sup>3</sup>, e conseqüentemente, apresenta maior produtividade se comparado ao sistema de toras curtas (MACHADO, 2014). Porém, Machado (1989) menciona que deve-se elaborar um planejamento mais criterioso das operações, a fim de evitar pontos de estrangulamento. Além disso, este sistema possui como desvantagem a dificuldade de aproveitar a biomassa residual da colheita.

### **c) Árvores inteiras (*full-tree*)**

No sistema de árvores inteiras as árvores são derrubadas no interior do talhão, sendo em seguida arrastadas até a margem do talhão, carreador ou pátio intermediário, onde é efetuado o processamento da madeira, ou seja, o desganhamento, destopamento, traçamento e empilhamento (MACHADO, 1989).

De acordo com Machado (2014) este sistema apresenta como vantagem a possibilidade de deixar a área livre dos resíduos da colheita, garantindo o baixo risco de incêndio, que conseqüentemente, facilita a operação de preparo de solo, além de poder aproveitar os resíduos como material para fonte energética. Este sistema também apresenta maior produtividade se comparados aos descritos anteriormente; sendo indicado para ser executado em áreas de declividade acentuadas.

Como desvantagem o sistema pode acarretar maiores impactos ambientais, como por exemplo a compactação do solo causada pela atividade de arraste das árvores, onde são utilizadas máquinas de grande porte. Além disso, o solo fica exposto após a realização da colheita, podendo proporcionar a sua erosão, e a perda de nutrientes devido a retirada dos resíduos da colheita de madeira da área (FAO, 1977).

## **4.4 Variáveis de influência estudadas**

A colheita de madeira mecanizada é influenciada por diversas variáveis, que afetam na capacidade operacional das máquinas, na produtividade e no custo de produção da madeira (SEIXAS, 1998). De acordo com Bramucci

(2001), existem poucos dados sobre a influência dessas variáveis na capacidade produtiva das máquinas em condições de trabalho variadas.

As estimativas de produtividade e de custos, geralmente são realizadas em cima de dados fornecidos pelos fabricantes ou de trabalhos realizados em países, que possuem condições diversas, necessitando da realização de trabalhos em condições específicas no Brasil (BRAMUCCI; SEIXAS, 2002). A seguir são apresentados trabalhos realizados nas diversas condições brasileiras de colheita de madeira para detectar a influencia das diversas variáveis, tais como: características do povoamento florestal, relevo, largura do eito, distância de extração, sortimento e experiência do operador (SEIXAS, 1998; LOPES et al., 2010).

#### **4.4.1 Características do povoamento florestal**

Segundo Lima e Leite (2014), o tipo de floresta a ser colhida é um dos principais fatores a serem considerados no planejamento operacional, na seleção do sistema de colheita de madeira e no método a ser utilizado (mecanizado, semimecanizado ou manual). As principais informações relacionadas ao povoamento florestal a serem levantadas são: diâmetro médio a altura do peito, altura média, volume por hectare e árvore, número de árvores por hectare, tamanho do talhão e alinhamento do plantio.

##### **4.4.1.1 Diâmetro das árvores a serem colhidas (DAP)**

O diâmetro médio das árvores a 1,3 m de altura, também denominado como diâmetro a altura do peito (DAP), é considerado como um dos fatores que influenciam na produtividade de equipamentos florestais (ELIASSON, 1999; GINGRAS, 1998). O aumento do diâmetro das árvores está diretamente relacionado com os tempos gastos com o abate e processamento.

Para Malinovski et al. (2006) o diâmetro das árvores é uma variável que influencia na escolha de máquinas e equipamentos, pois estes tem um intervalo de diâmetro ótimo de operação, que quando muito grande atinge o

limite do implemento e força o seu trabalho, e quando muito pequeno, subestima a capacidade operacional da máquina.

Bramucci (2001) ao ajustar modelos para estimar a produtividade do *harvester* em relação ao DAP das árvores, encontrou um coeficiente de determinação de 0,34, na atividade sem descascamento, e 0,57, com descascamento. Além disso, o autor afirma que a produtividade aumentou até aproximadamente aos 24 cm, apresentando uma queda na produtividade em diâmetros maiores. Isto mostra que ocorre um aumento do rendimento da máquina com o incremento do diâmetro (DAP) até atingir a capacidade máxima da máquina, onde ela não apresenta força mecânica e hidráulica suficiente para continuar processando.

Burla (2008) ao avaliar o *harvester* em povoamentos de eucalipto na região do centro-nordeste mineiro, verificou que o DAP apresentou um comportamento semelhante ao descrito na literatura, onde o rendimento foi crescente com o aumento do DAP, porém para este autor a máquina não atingiu o seu limite de trabalho, que conseqüentemente causaria no decréscimo do rendimento operacional da máquina. Além disso, vale destacar que o ajuste obtido pelo autor para estimar o rendimento da máquina apresentou um coeficiente de determinação de 0,72, mostrando a alta relação desta variável para o uso no planejamento da colheita de madeira.

#### **4.4.1.2 Volume individual das árvores**

Diversos autores relataram que existe uma direta relação da produtividade das máquinas florestais com o volume médio individual das árvores, acarretando na redução dos custos de produção com o aumento do volume individual das árvores (SANTOS; MACHADO, 1995; HOLTZSCHER; LANFORD, 1997; MALINOVSKI et al., 2006; MARTINS et al., 2009).

Burla (2008) afirma que o volume médio individual é o principal fator de influencia na produtividade de um *harvester*. Bramucci (2001) ao avaliar a produtividade do *harvester*, verificou que o volume médio por árvore, influenciou 55% na capacidade produtiva da máquina, sendo esta em conjunto

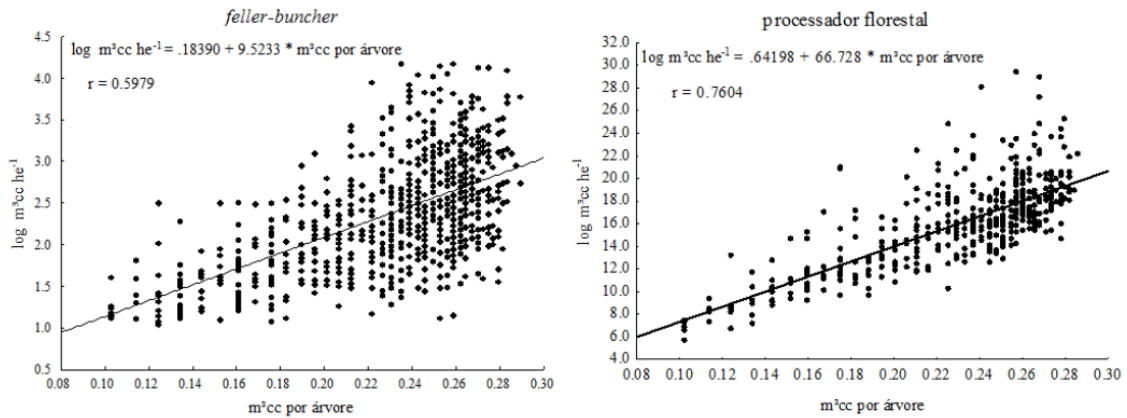
com outras variáveis, apresentaram 80% de relação com a capacidade produtiva.

Santos, Machado e Leite (1995) ao avaliar a influencia do volume individual por árvore nos elementos do ciclo operacional do *forwarder*, na produtividade e nos custos, verificou que a medida que aumentava o volume por árvore, o tempo de carregamento diminuiu até atingir um volume de 0,3 m<sup>3</sup>, estabilizando-se a partir de então. Além disso, a produtividade aumentou em função do volume, e conseqüentemente os custos diminuíram.

Rocha et al. (2009) ao avaliar a produtividade e os custos de um sistema de árvores inteiras, composto por um *feller-buncher*, um *skidder*, uma garra traçadora e um carregador florestal, na operação de colheita de madeira em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, no norte do Estado de Goiás, verificou que para o *feller-buncher*, o deslocamento total e o volume explicaram 43% da produtividade da máquina, para o *skidder*, a relação foi de 58%, para a garra traçadora, as variáveis treinamento, período diurno e o volume, juntos, explicam 81% da produtividade, enquanto que o carregador, o número de manobras e o volume explicaram 81%.

Simões, Fenner e Esperancini (2014) ao modelar a influencia do volume individual por árvore na produtividade, em um sistema de toras curtas composto por um *feller buncher* e um processador, em povoamento de *Eucalyptus grandis* de 72 meses, verificou que houve um aumento da produtividade do *feller-buncher* de forma linear em função do volume individual das árvores, explicando aproximadamente 60% do resultado obtido. Já para o processador florestal essa relação ficou próxima de 76 % (Figura 1).

O rendimento da máquina, relacionado com o volume por árvore, aumenta com o incremento do volume, assim como com o diâmetro a altura do peito (DAP), até atingir um certo valor, que corresponde ao limite da máquina. Santos e Machado (1995), ao estudar o processador mecânico no desgalhamento e traçamento do eucalipto, verificou que a produtividade aumentava com o aumento do volume por árvore, até atingir um ponto máximo, com um volume de 0,34 m<sup>3</sup>, apresentando uma queda após este valor.



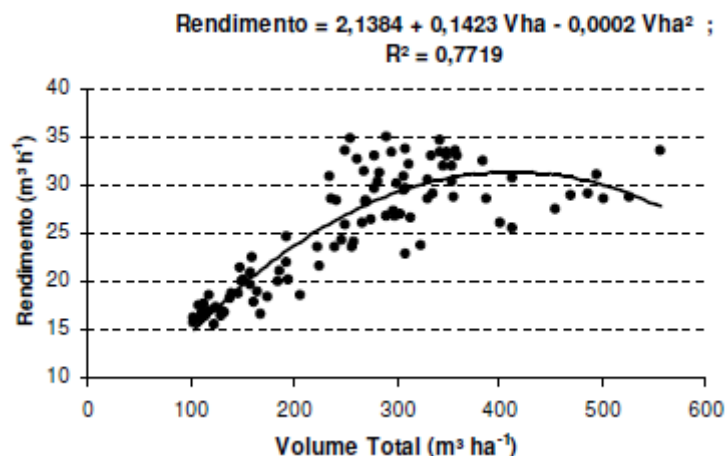
**Figura 1.** Gráfico do logaritmo da produtividade em relação ao volume individual das árvores. Fonte: Simões, Fenner e Esperancini (2014).

#### 4.4.1.3 Volume de madeira por hectare

Diversos estudos realizados com sistemas de colheita da madeira pelo método mecanizado, mencionam que a produtividade do povoamento está diretamente relacionada a eficiência de várias máquinas, sendo mais eficiente aquelas que operarem em povoamentos com maior produtividade volumétrica por hectare (MOREIRA, 2000).

O volume de madeira por hectare está diretamente correlacionado com o volume individual das árvores. Bramucci (2001) ao estudar a produtividade do *Harvester*, verificou que as curvas de regressão da produtividade e volume de madeira por hectare são semelhantes as curvas da produtividade em relação ao volume individual por árvore. Entretanto, os coeficientes de determinação apresentaram-se menores, pois esta variável, está relacionada com a densidade da floresta, o que tornou a relação menos direta.

Burla (2008), em seu estudo com *Harvester* em povoamento de eucalipto, encontrou em seu ajuste do rendimento com a variável volume por hectare, um coeficiente de determinação de 0,77, apresentando um crescimento do rendimento com o aumento do volume total até aproximadamente 400 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, e uma queda após este valor (Figura 2).



**Figura 2.** Rendimento do *Harvester* na colheita do eucalipto, em função do volume de madeira por hectare. Fonte: Burla (2008).

#### 4.4.1.4 Altura das árvores

Esta é uma variável pouco estudada pelos pesquisadores. Devido a homogeneidade dos povoamentos florestais, através do melhoramento genético, este fator é pouco variável.

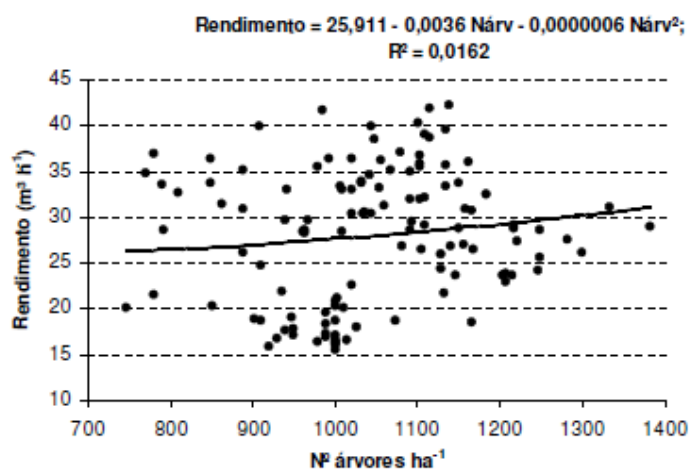
Bramucci (2001) em seu estudo com *harvester* verificou que existe uma tendência de estabilizar a produtividade a partir de 40 metros de altura, pois a altura não influencia nos limites operacionais da máquina como acontece com o diâmetro. O mesmo resultado foi verificado por Burla (2008), que afirma que o *harvester* não apresenta limite máximo desta variável. Porém, o autor menciona que a altura está diretamente relacionada com o volume individual da árvore, que quando analisada esta variável juntamente com o volume, apresentou um ajuste que foi crescente até determinado valor, seguida de um ponto de queda.

#### 4.4.1.5 Densidade de plantio

A densidade do plantio está diretamente relacionada ao volume individual das árvores, quanto mais densa é a população, menores são os volumes médios por árvore. Bramucci (2001) verificou que florestas densas e com baixo volume individual, influenciou negativamente na capacidade

produtiva do *harvester*, que segundo o autor, se deve ao maior dificuldade de movimentação do equipamento e ao arrançamento das árvores derrubadas, sendo recomendado uma faixa de densidade ideal de 800 a 1200 árvores por hectare.

Já Burla (2008), verificou que não existe relação entre número de árvores por hectare e o rendimento do *harvester*, conforme pode ser visualizada na Figura 3. Para o autor a faixa ideal anteriormente citada não apresenta influencia no rendimento das máquinas, pois dentro dela o tempo de gasto em pegar e abater a árvore, seguida do processamento, garante a agilidade da máquina ao movimentar a grua.



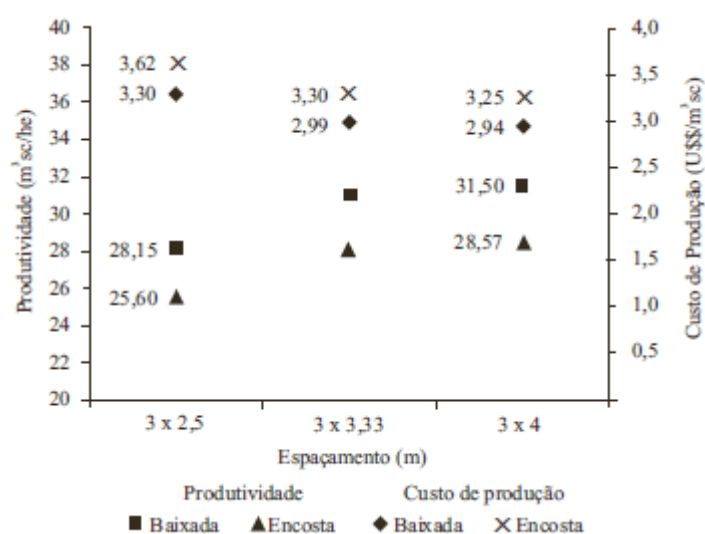
**Figura 3.** Rendimento do *Harvester* na colheita do eucalipto, em função da densidade de plantio. Fonte: Burla (2008).

A densidade do povoamento está relacionada com o espaçamento do plantio. Para Leite et al. (2014a) os maiores espaçamentos garantem o melhor desenvolvimento das árvores, pois estas apresentam maiores volumes individuais. Em seu estudo, ao avaliar a atividade de colheita de eucalipto com *harvester* em três tipos de espaçamento (3,0 m x 2,5 m, 3,0 m x 3,3 m e 3,0 m x 4,0 m), verificou que os espaçamentos 3,0 m x 2,5 m e 3,0 m x 3,3 m apresentaram um custo maior em relação ao espaçamento 3,0 m x 4,0 m, pois neste último tratamento, as árvores apresentavam maiores volumes individuais, garantindo maior produtividade do *harvester*.

#### 4.4.2 Declividade do terreno

A declividade do terreno pode ser considerada uma das principais variáveis operacionais que influenciam na decisão da utilização do método mecanizado na colheita de madeira. Para Seixas (2014), deve-se respeitar a capacidade máxima de trabalho de cada equipamento de acordo com a declividade do terreno. Pois segundo Lima e Leite (2014), em áreas muito acidentadas o tráfego de máquinas pode ser inviável, devido a instabilidade da máquina colocar em risco a segurança da operação.

Leite et al., (2014a) ao avaliar a influência da declividade, na situação de baixada e encosta, ou seja,  $7,76^\circ$  e  $17,17^\circ$ , e em diferentes espaçamentos de plantio (3 m x 2,5 m; 3 m x 3,33 m; 3 m x 4,0 m) na colheita de eucalipto com *harvester*, verificaram que a produtividade na baixada foi estatisticamente superior a da encosta, conseqüentemente, apresentou os menores custos de produção (Figura 4).



**Figura 4.** Rendimento operacional e custo de produção do *Harvester* em função das variáveis testadas. Fonte: Leite et al., (2014a).

Robert et al. (2013) avaliou um *harvester*, da marca Valmet, modelo 911 X3M, projetado para trabalhar em altas declividades, em três classes de declividade, sendo de 0 a  $20^\circ$ , de  $20,1$  a  $27^\circ$  e acima de  $27^\circ$ , nos municípios de Ferros e Antônio Dias, no Estado de Minas Gerais. Os autores afirmaram que

não houve diferença estatística significativa entre as produtividades com o aumento da declividade, resultando em uma produtividade média de 27,5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

O uso do *feller-buncher* em áreas de declivosas se limita até 27° de inclinação, apresentando redução na produtividade da máquina nestas condições de trabalho. Para Conway (1976), as máquinas de grande porte trabalham bem em uma declividade de até 8°, podendo atuar em curvas de nível, enquanto que em declividades maiores, as máquinas devem trabalhar em aclave e declive.

Oliveira Junior et al., (2009) ao avaliar dois modelos de *feller-buncher* de esteiras, Timberjack 608L e Timbco 520, na atividade de corte de árvores de eucalipto em terreno acidentado, regiões de Belo Oriente e Guanhães, MG, verificou que a predição da produtividade em relação ao volume do povoamento e inclinação do terreno apresentou uma relação de 80% no seu desempenho efetivo.

Em relação a etapa de extração, Studier e Binkley (1981) citam que o limite de declividade de um trator de esteiras é de 0 a 35%, para o *skidder* é de 0 a 25%, para o *forwarder* é de 0 a 20% e acima de 30% recomenda-se o uso de cabos aéreos (Tabela 1). Portanto pode-se dizer que a declividade do terreno influencia na seleção de máquinas e sistemas de colheita de madeira.

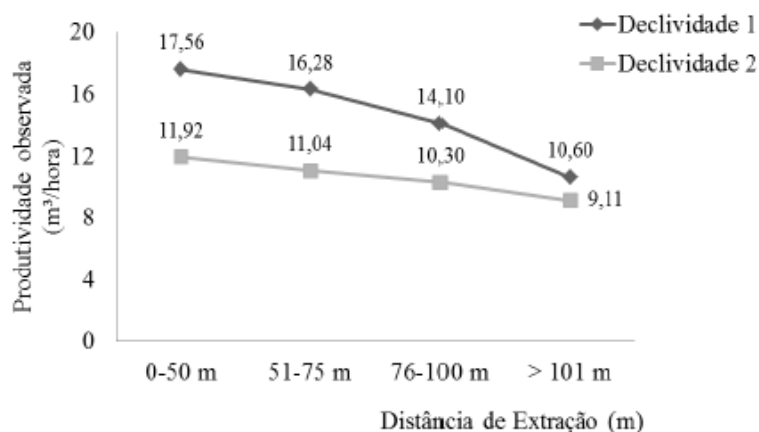
**Tabela 1.** Limites de distância de transporte e declividade de terreno para diferentes sistemas de colheita.

Máquina	Declividade limite (%)	Distância limite (metros)
Trator de esteiras	0 - 35	200
<i>Skidder</i>	0 - 25	300
<i>Forwarder</i>	0 - 20	450
Cabo aéreo	30 - 90	1200
Helicóptero e balão	0 - 100	1500

Fonte: Studier; Binkley (1981).

Lopes e Diniz (2015) avaliaram a produtividade de um trator florestal arrastador *skidder* de cabo (*chocker skidder*), da marca Caterpillar, modelo 525, equipado com cabo auxiliar, em povoamento de *Pinus taeda*, no município de Itararé, estado de São Paulo, em dois níveis de declividade, sendo de 0 a

20° (Declividade 1) e de 20 a 45° (Declividade 2). Os autores verificaram que a declividade do terreno afetou significativamente na produtividade, nas menores distâncias de extração, sendo que acima de 100 metros de distância a produtividade não apresentou diferença significativa (Figura 5).



**Figura 5.** Produtividade do *skidder* de cabo nas diferentes declividades e distâncias de extração. Fonte: Lopes e Diniz (2015).

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

No Brasil, a extração de madeira realizada por cabos aéreos é pouco utilizada pelas empresas do setor florestal. Alguns estudos avaliaram tecnicamente este método de extração. Paula et al. (2014) na região do Vale do Rio Doce, no estado de Minas Gerais, avaliou o conjunto de cabo aéreo da marca *Koller*, modelo K301-T acoplado a uma escavadeira hidráulica em quatro classes de declividade, 0 a 10°, 10,1 a 20°, 20,1 a 30° e acima de 30°, o estudo mostrou que à medida que aumenta a declividade do terreno a produtividade média de extração reduziu, apresentando uma queda de até 61% na produtividade entre a primeira classe e a quarta classe. Para os autores a queda de produtividade se deve a dificuldade de deslocamento dos

funcionários responsáveis pelo engate dos cabos nas árvores, com o aumento da declividade do terreno.

#### **4.4.3 Largura do eito de trabalho**

A identificação da largura ideal para cada situação de trabalho e equipamento é muito importante, pois pode ser influenciada pelas características do equipamento, como o alcance da grua, do giro, entre outras.

No corte raso de eucalipto, de 6 anos, Tibúrcio et al. (1995), verificou que o *harvester* ao trabalhar em um eito de três linhas de largura apresentava uma produtividade menor do que quando comparado a um eito de cinco linhas de plantio, sendo 23,6 e 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

#### **4.4.4 Distância de extração**

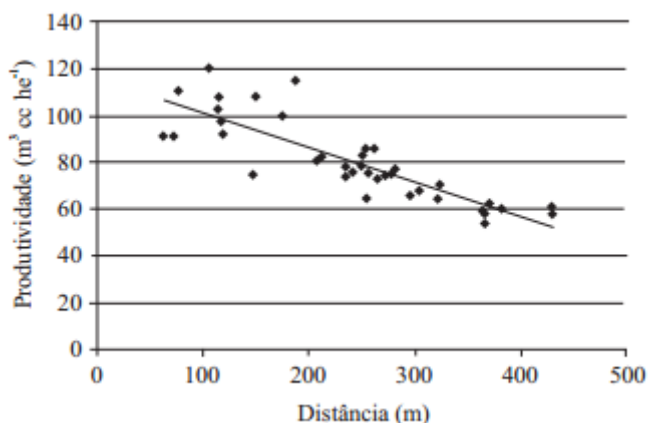
A distância de extração é uma variável que influencia inversamente ao rendimento das máquinas de extração de madeira. Pois quanto maior a distância de extração menor e a produtividade das máquinas.

Santos; Machado e Leite (1995) ao avaliar o rendimento do *forwarder* em relação a distância de extração, verificou que em curtas distâncias, a velocidade média de deslocamento se apresentou baixa, quando comparada a distâncias médias e longas. De acordo os autores, isso se deve pela maior parte do tempo ser gasto com aceleração e desaceleração da máquina.

Birro et al., (2002) avaliou a influencia da distância de extração de um *track-skidder* em povoamento de eucalipto, em região montanhosa no município de Antônio Dias, no Estado de Minas Gerais, e verificaram que a variável distância de extração apresentou um coeficiente de determinação acima de 0,80 nas três classes de declividade avaliada (20 a 24°, 24 a 28° e 28 a 32°) em ajustes para estimar a produtividade de arraste da máquina.

Oliveira et al., (2006) ao avaliar um *clambunk skidder* em povoamento de eucalipto, na região do vale do Rio Doce, no Estado de Minas Gerais, pôde verificaram que a produtividade da máquina foi maior nas primeiras classes de distância, decaindo constantemente a partir dos 150 metros. O mesmo

resultado foi obtido por Santos et al., (2013) ao avaliar o *clambunk skidder* em povoamento de eucalipto, no Município de Capão Bonito, Estado de São Paulo. Na Figura 6 é possível visualizar que houve uma influencia significativa da distância de extração na produtividade da máquina, com um coeficiente de determinação que indicou que 71% da produtividade pôde ser explicada por esta variável.



**Figura 6.** Estimativa da produtividade do *clambunk skidder* em função da distância de extração. Fonte: Santos et al. (2013).

#### 4.4.5 Sortimento

O tamanho das toras influencia diretamente na capacidade produtiva das máquinas. Spinelli et al. (2002) verificou que no *harvester*, a produtividade aumentou quando o traçamento passou de 2 para 4 metros.

Oliveira, Lopes e Fiedler (2009) avaliaram a influencia da dimensão das toras de *Pinus*, na produtividade de um *forwarder*, e verificaram que as maiores produtividades e os menores custos de produção foram obtidos nos sortimentos de 2,4 e 2,6 m, sendo estes os maiores comprimentos das toras, pois permitiu otimizar o compartimento de carga do *forwarder*. Os mesmos resultados foram obtidos por Machado e Lopes (2000), que ao estudaram a influencia do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e nos custos de um *forwarder*, concluíram que o comprimento da madeira influenciou significativamente na produtividade e no custo da extração e do transporte florestal, quando aumento o comprimento de 5 para 6 metros.

#### 4.4.6 Operador

O fator humano é uma variável que muitas vezes é desconsiderada na estimativa do desempenho das máquinas de colheita de madeira. Segundo Purfürst e Erler (2011), a produtividade de trabalho das máquinas depende diretamente da habilidade do operador, além de não permanecer constante ao longo do tempo.

De acordo com Machado (2014) as empresas florestais possuem a necessidade de formar operadores de máquinas, capacitando-os, para que possam trabalhar nestas máquinas de alta tecnologia. Para Pagnussat et al., (2015) e Parise (2008) a dificuldade de encontrar pessoas que apresentam o perfil adequado para executar a operação de colheita de madeira, pode acarretar em baixas produtividades das máquinas, baixa disponibilidade mecânica e operacional, altos custos operacionais e custos de manutenção, além de aumentar os riscos de acidente e trabalho.

O treinamento de operadores, geralmente são realizados utilizando a metodologia teórica e prática, sendo diretamente nas máquinas e equipamentos, que segundo Parise e Malinovski (2002) pode ser de alto custo, devido a mobilização das máquinas para o treinamento, além disso, pode aumentar os riscos de acidentes, e causar quebra dos equipamentos.

De acordo com Lopes et al. (2010) o uso dos simuladores de realidade virtual em treinamento de operadores de máquinas é uma solução considerada eficiente, que permite a capacitação de operadores com baixos custos. Os autores ao avaliarem o desempenho de um grupo de 26 operadores sem experiência no treinamento com simulador de *forwarder* verificaram que com o treinamento houve uma redução de danos à máquinas, como por exemplo a colisão com fueiros, na etapa de carregamento.

Pagnussat et al. (2014) avaliaram a influencia da idade dos operadores no treinamento com simulador de realidade virtual de *forwarder*, e concluíram que os operadores mais jovens atingiram um melhor desempenho no treinamento.

Leonello; Gonçalves e Fenner (2012) avaliaram o desempenho de operadores de *harvester* em função do tempo de experiência na atividade. Em relação ao rendimento do volume de madeira colhido, verificaram que houve um aumento expressivo nos primeiros 18 meses, mantendo-se constante até os 26 meses, e uma tendência à redução após os 44 meses, devido a acomodação do cotidiano, mostrando a necessidade de realizar a reciclagem dos operadores após 50 meses de experiência, para garantir que a atividade seja exercida de forma eficiente e com baixos custos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Com a revisão de literatura realizada, foi possível verificar que a capacidade produtiva das máquinas e equipamentos pode ser influenciada pelas características do povoamento, declividade do terreno, largura do eito, tamanho das toras, e experiência do operador;
- As variáveis diâmetro e o volume individual de árvores, influenciam na produtividade das máquinas, pois a medida que seus valores aumentam, a produtividade também aumenta, até atingir um ponto máximo, apresentando uma queda após este valor;
- O volume total por hectare é uma variável diretamente relacionada com o volume individual das árvores, e que influenciam no rendimento operacional das máquinas, sendo mais eficiente aquelas que operarem em povoamentos com maior produtividade volumétrica por hectare;
- A variável altura média das árvores não influencia nos limites operacionais da máquina, o que conseqüentemente não afeta diretamente o rendimento das máquinas;
- A densidade do plantio se relaciona diretamente com o volume individual das árvores, pois, quanto mais densa é a população, menores são os volumes médios por árvore, que conseqüentemente, proporciona menores rendimentos das máquinas de colheita de madeira
- A declividade do terreno influencia na capacidade máxima de trabalho das máquinas, pois o aumento da declividade do terreno influencia negativamente no rendimento das máquinas, podendo até mesmo tornar o tráfego inviável, devido a instabilidade da máquina colocar em risco a segurança da operação;
- A largura do eito é influenciada pelas características do equipamento, devendo sempre trabalhar dentro de uma faixa ideal, respeitando tais características;
- Distância de extração influencia inversamente na produtividade das máquinas de colheita responsáveis pela extração;
- O tamanho das toras influencia diretamente na capacidade produtiva das máquinas; na operação de corte e processamento quanto maior o

comprimento das toras, menor é o tempo gasto no ciclo operacional, sendo o mesmo verificado na operação de extração, podendo também garantir a otimização do uso do compartimento de carga;

- O operador é uma variável que gera grande influencia no rendimento das máquinas, visto ser necessário selecionar perfis adequados ao trabalho, treiná-los, e realizar a reciclagem do treinamento, afim de garantir alta produtividade e qualidade nas atividades de colheita de madeira.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCE, J. E.; MACDONAGH, P.; FRIEDL, R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.2, p.383-391, 2004.

BIRRO, M. H. B.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. de; MINETTI, L. J. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com "track-skidder" em região montanhosa. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.5, p.525-532, 2002.

BRAMUCCI, M. **Determinação de fatores de influência sobre a produtividade de "Harvester" na colheita de madeira**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 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, 2002.

BURLA, E. R. **Avaliação técnica e econômica do "harvester" na colheita do eucalipto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, 2008. 62 f.

CONWAY, S. **Logging practices**; principles of timber harvesting systems. San Francisco, CA (EUA): Miller Freeman Publications. 1982. 432 p.

DUARTE, R. C. G. **Sistemas de corte florestal mecanizado**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994. 21 f.

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

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Planning forest roads and harvesting systems**. Rome: FAO Forest Paper, 1977.

FIEDLER, N. C. **Avaliação ergonômica de máquinas utilizadas na colheita de madeira**. Dissertação. (Mestrado em Ciência Florestal). Viçosa: UFV, 1995. 126 f.

GINCRAS, J.F. The effect of site and stand factors on feller-buncher performance. **FERIC Technical Report**, n.84, p.1-18, 1998.

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

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - Relatório anual da IBÁ: ano base 2014. Disponível em: <[http://www.iba.org/images/shared/iba\\_2015.pdf](http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf)>. Acesso em: 5 Ago. 2015.

KANTOLA, M.; HARSTELA, P. **Manual de tecnologia apropriadas as operações florestais em países em desenvolvimento** - Parte 2. Programa de Treinamento Florestal Publicação N° 9 Direção Nacional de Educação Vocacional do Governo da Finlândia. Helsinki, 1994, 202 p.

KARJALAINEN, T.; ZIMMER, B.; BERG, S.; WELLING, J.; SCHWAIGER, H.; FINÉR, L.; CORTIJO, P. **Energy, carbon and other material flows in the Life Cycle Assessment of forestry and forest products**. Finlândia: European Forest Institute, 2001. 68 p.

LEITE, E. da S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. de; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo "*forwarder*". **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.5, p.879-887, 2014b.

LEITE, E. da S.; MINETTE, L. J.; FERNANDES, H. C.; Souza, A. P. de, Amaral, E. J. do.; Lacerda, E. das G. Desempenho do *harvester* na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.1, 2014a.

LEONELLO, E. C.; GONÇALVES, S. P.; FENNER, P. T. Efeito do tempo de experiência de operadores de *harvester* no rendimento operacional. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.6, p.1129-1133, 2012

LIMA, J. S. de S.; LEITE, A. M. P. **Mecanização**. In: MACHADO, C. C. Colheita Florestal. 3ed. Viçosa, Ed. UFV, 2014.

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

LOPES, E. da S.; OLIVEIRA, D. de; SILVA, P. C. da; CHIQUETTO, A. L. Avaliação do desempenho de operadores no treinamento com simulador de realidade virtual *forwarder*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 177-186, 2010.

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

MACHADO, C. C.; LOPES, E. da 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: UFV, 2014.

MALINOVSKI, J.R. Análise sistemática dos sistemas de exploração e transporte. V Curso de Atualização Sobre Exploração e Transporte Florestal. **Anais...** Curitiba : FUPEF, 1984. 106 p.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R. **Evolução dos sistemas de colheita de madeira para pinus na região sul do Brasil**. Curitiba: FUPEF do Paraná, 1998.108 p.

MALINOVSKI, R. A.. **Programa computacional de simulação para análise de sistemas de colheita de madeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná: UFPR, 1999.

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.166-182, 2006.

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.

MENDONÇA FILHO, W. F.; PEREIRA FILHO, L. P. A. Análise operacional de abate mecanizado. In Congresso Florestal Brasileiro, 6, 1990. Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão:s.n., 1990. p.47-53.

MINETTE, L. J.; SILVA, E. N.; MIRANDA, G. M.; SOUZA, A. P.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica da operação de extração de *Eucalyptus* spp. utilizando o trator autocarregável e o trator florestal transportador “*forwarder*” na região sul da Bahia. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 3,p. 312-317, 2008.

MOREIRA, F. L. A. G. **Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000. 161 f.

NASCIMENTO, A. C. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com *feller-buncher*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 9-15, 2011.

OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. de; SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Produtividade de *feller-buncher* em povoamento de eucalipto em relevo acidentado. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 4, p. 905-912, out./dez. 2009.

OLIVEIRA, D. de; LOPES, E. DA S.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do *Forwarder* na extração de toras de pinus. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 525-533, 2009.

OLIVEIRA, R. J. DE; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. de; LEITE, H. G. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com “clambunk skidder”. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.30, n.2, p.267-275, 2006.

PAGNUSSAT, M. B.; LOPES, E. da S.; SILVA P. C. da; DINIZ, C. C. C.; WATZLAWICK, L. F. Desempenho de operadores de diferentes idades no treinamento com simulador virtual *forwarder*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.18; p. 38-42, 2014.

PAGNUSSAT, M. B.; LOPES, E. S.; DIAS, A. N.; MIRANDA, G. de M.; BONESI, M. G.; RODRIGUES, C. K. Efeito do perfil comportamental no desempenho de operadores de *harvester*. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 5. **Anais...** Curitiba: FIEP, 2015.

PARISE, D. J. **Influência dos requisitos pessoais especiais no desempenho de operadores de máquinas de colheita florestal de alta performance**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2005.

PARISE, D.; MALINOVSKI, J. R. Análise e reflexões sobre o desenvolvimento tecnológico da colheita florestal no Brasil. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 12., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR - FUPEF, p. 78-109.

PAULA, E. N. da S. O. de; LACERDA, L. C.; FIEDLER, N. C.; CARMO, F. C. de A. do; KUBOYAMA, F. A. Q.; PELUZIO, T. M. de O. análise operacional da extração florestal com cabos aéreos em floresta de eucalipto. **Nativa**, Sinop, v. 02, n. 04, p. 234-238, 2014.

PAULA, E.N.S.O. **Avaliação técnica, de custos e ambiental de dois modelos de *harvester* na colheita florestal**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. 68 f.

PURFÜRST, F. T.; ERLER, J. The Human Influence on Productivity in Harvester Operations. **International Journal of Forest Engineering**, v.22, n.2, p. 15-22, 2011.

ROBERT, R. C. G.; SILVA, F. A. P. C.; ROCHA, M. P. da; AMARAL, E. J. do; GUEDES, I. L. Avaliação do Desempenho Operacional do *harvester* 911.3 X3M em Áreas Declivosas. **Floresta e Ambiente**. v. 20, n. 2, p. 183-190, 2013.

ROCHA, E. B. da; FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; LOPES, E. DA S.; GUIMARÃES, P. P.; PERONI, L. Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores incteiras. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 3, p. 372-381, 2009.

SALMERON, A. **Exploração florestal**. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL: Formação, manejo e exploração de florestas com rápido crescimento. Brasília, 1981. p. 83-123.

SANT' ANNA, M. Jr. Tendências atuais e perspectivas futuras dos sistemas de extração florestal. VII Seminário de Atualização sobre Sistemas de Exploração e Transporte Florestal, **Anais...** Curitiba: FUPEF do Paraná, 1992. p. 137-160.

SANTOS, P. H. A. dos; SOUZA, A. P. de; MARZANO, F. L. da C.; MINETTE, L. J. Produtividade e custos de extração de madeira de eucalipto com *clambunk skidder*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 511-518, 2013.

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

SANTOS, S. M. dos; MACHADO, C.; LEITE, H. Techno-economical analysis of *Eucalyptus* extraction with forwarder in flat terrain. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 2, p.213-227. 1995.

SANTOS, S.L.M.; MACHADO, C.C. Análise técnico-econômica da processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador. **Revista Árvore**, v.19, n.3, p. 346-57, 1995.

SEIXAS, F. **Extração**. In: MACHADO, C. C. Colheita Florestal. 3ed. Viçosa, MG, Ed. UFV, 2014.

SEIXAS, F. **Mecanização e exploração florestal**. Piracicaba, SP: LCF/ESALQ/USP, 1998. 130 p. (Apostila de Colheita Florestal).

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Produtividade e custos do *feller-buncher* e processador florestal em povoamento de eucalipto de primeiro corte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 621-630, 2014.

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

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, p. 67-77, 2002.

STUDIER, D.D.; BINKLEY, V.W. **Cable logging systems**. Corvallis, OR: Oregon State University Book Stores, 1981. 211p.

TANAKA, O. P. **Exploração e transporte da cultura do eucalipto**. Informe Agropecuário, n. 141, p. 24-30, 1986.

TIBURCIO, V.C.S.; SENE, J.M.; CONDI, L.G.B. Colheita mecanizada: avaliação do *harvester* e *forwarder*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2., 1995, Campinas. **Anais...** Viçosa: SIF, UFV, 1995. p.205- 221.

WADOUSKI, L. H. Fatores determinantes da produtividade e dos custos na colheita de madeira. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10., Curitiba, 1997. **Anais...**Curitiba: UFPR, FUPEF, 1997. p. 77-84.