



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS**

**BRUNO MEIRA GOMES**

**DESEMPENHO TÉCNICO E ECONÔMICO DE DIFERENTES *HARVESTERS* E  
*FORWARDERS* NA COLHEITA DE EUCALIPTO**

**CRUZ DAS ALMAS – BA**

**2016**

BRUNO MEIRA GOMES

**DESEMPENHO TÉCNICO E ECONÔMICO DE DIFERENTES *HARVESTERS* E  
*FORWARDERS* NA COLHEITA DE EUCALIPTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, pelo discente Bruno Meira Gomes, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal, sob a orientação do Prof. Elton da Silva Leite.

CRUZ DAS ALMAS – BA

2016

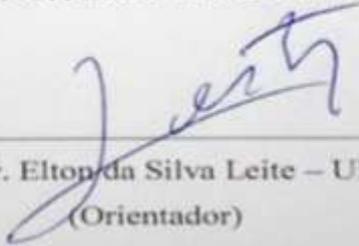
BRUNO MEIRA GOMES

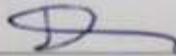
**DESEMPENHO TÉCNICO E ECONÔMICO DE DIFERENTES *HARVESTERS* E  
*FORWARDERS* NA COLHEITA DE EUCALIPTO**

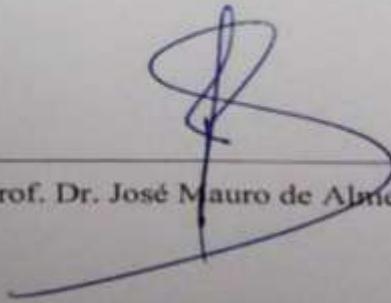
Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora  
da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como pré-requisito para obtenção de grau  
de Bacharel em Engenharia Florestal

APROVADO EM: 29/01/2016

BANCA EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Elton da Silva Leite – UFRB  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Deoclides Ricardo de Souza – UFRB

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Mauro de Almeida – UFRB

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me guiado, protegido e pelo discernimento para que viesse concluir o curso de Engenharia Florestal.

Ao meu pai Roberto e minha madrastra Ivaneide, pelo apoio, amor, carinho, ensinamentos, conselhos e esforços sem medida para possibilitar a realização deste sonho.

A minha avó Irene pelo seu amor, preocupações, conselhos e por acreditar no meu sonho, ajudando de forma direta para que o mesmo se concretizasse.

Aos meus tios, pelo carinho, amor, atenção e contribuição no decorrer dessa caminhada.

Ao meu orientador Prof. Drº Elton da Silva Leite, pela confiança, oportunidades concedidas, orientações e conselhos.

Aos amigos da república Las Vegas, pela parceria e amizade constituída nestes anos.

Aos mestres que contribuíram para a minha formação.

A todos amigos da turma 2010.1 de Engenharia Florestal.

**OBRIGADO A TODOS!**

## SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT .....	6
DESEMPENHO TÉCNICO E ECONÔMICO DE DIFERENTES <i>HARVESTERS</i> NA COLHEITA DE FLORESTAS DE EUCALIPTO .....	8
Resumo .....	8
Abstract.....	8
1 INTRODUÇÃO .....	9
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	10
2.1 Área de estudo.....	10
2.2 Máquinas avaliadas .....	10
2.3 Estudo de tempos e movimentos.....	10
2.4 Disponibilidade mecânica e eficiência operacional .....	11
2.5 Produtividade .....	11
2.6 Consumo de combustível e lubrificantes .....	12
2.7 Análise econômica .....	12
2.8 Delineamento estatístico .....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	14
3.1 Estudo de tempos e movimentos.....	14
3.2 Disponibilidade mecânica e eficiência operacional .....	15
3.3 Produtividade .....	16
3.4 Consumo horário e consumo por volume .....	17
3.5 Custos.....	17
4 CONCLUSÕES.....	19
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	20
DESEMPENHO TÉCNICO E ECONÔMICO DE DIFERENTES <i>FORWARDERS</i> NA COLHEITA DE EUCALIPTO .....	24
Resumo .....	24
Abstract.....	24
1 INTRODUÇÃO .....	25
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	26
2.1 Área de estudo.....	26

2.2	Máquinas avaliadas .....	26
2.3	Estudo de tempos e movimentos.....	26
2.4	Disponibilidade mecânica.....	27
2.5	Eficiência operacional.....	27
2.6	Produtividade .....	28
2.7	Consumo de combustível.....	28
2.8	Análise econômica .....	28
2.9	Delineamento estatístico .....	30
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
3.1	Estudo de tempos e movimentos.....	30
3.2	Disponibilidade mecânica e eficiência operacional .....	32
3.3	Produtividade .....	33
3.4	Consumo de combustível.....	35
3.5	Custos.....	35
4	CONCLUSÕES.....	37
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38

## RESUMO

A área florestal vem se expandindo e necessita desenvolver estudos com a finalidade de avaliar a capacidade produtiva das máquinas de colheita, a fim de otimizar o setor florestal. Objetivou-se com o presente estudo avaliar o desempenho técnico e econômico de diferentes *harvesters* e *forwarders* na colheita de eucalipto. Especificamente desenvolveu dois capítulos: 1- Desempenho técnico e econômico de diferentes *harvesters* na colheita de florestas de eucalipto; 2- Desempenho técnico e econômico de diferentes *forwarders* na extração de madeira de eucalipto. As máquinas de corte foram: 1) John Deere 210G LC com Cabeçote Waratah H215E; 2) Volvo EC220D com Cabeçote Ponsse H77euca. A extração foi composta pelas máquinas: 1) *Forwarder* Tigercat 1075B; 2) *Forwarder* Ponsse Elephant; 3) *Forwarder* Komatsu 890.3. Avaliaram-se os aspectos de estudo de tempos e movimentos, produtividade, custo operacional, custo de produção, eficiência operacional e consumo de combustível. Observou-se que o processamento demandou maior tempo para o corte e o carregamento e descarregamento despendeu maior tempo na extração. O *harvester* 2 e os *forwarders* 2 e 3 apresentaram menores consumos de combustível e menores custo operacional. O *harvester* 1 e *forwarder* 1 apresentaram maiores desempenhos e menor custo de produção na colheita florestal.

**Palavras-chave:** corte florestal; extração; produtividade; consumo.

## ABSTRACT

The forest sector is expanding necessity in developing studies of machines with the goal to evaluate the productive capacity of adapted excavators and forwarders in order to optimize logging. The study has the objective to evaluate the technical and economic performance of cut to length system in the eucalyptus harvest under the different harvesters and forwarders; cutting machines and processing (*harvesters*) and extraction machines (*forwarders*). The cutting machines were: 1) John Deere 210G LC with Head Waratah H215E; 2) Volvo EC220D with Head Ponsse H77euca and the extraction of the wood were with the machines; 1) Forwarder Tigercat 1075B; 2) Forwarder Ponsse Elephant; 3) Forwarder Komatsu 890.3. The aspects evaluated were study of times and movements, productivity, operational cost, production cost, operational efficiency and fuel consumption. It was observed that require

more processing time for cutting and loading and unloading spent more time in the extraction. The harvester 2 and forwarders 2 and 3 showed lower fuel consumption and lower operating costs. On the other hand, the harvester 1 and forwarder 1 had showed higher performance and lower cost of production in forest harvesting.

**Key Word:** forest cut; extraction; productive; consumption.

# CAPÍTULO 1

## DESEMPENHO TÉCNICO E ECONÔMICO DE DIFERENTES *HARVESTERS* NA COLHEITA DE FLORESTAS DE EUCALIPTO

**Resumo:** A seleção de máquinas na colheita florestal constitui um dos grandes desafios para a redução dos custos finais da madeira, necessitando de estudos que avaliem diferentes configurações de máquinas. Objetivou-se avaliar o desempenho técnico e econômico dos *harvesters*: 1-John Deere 210G LC com Cabeçote Waratah H215E e 2-Volvo EC220D com Cabeçote Ponsse H77euca na colheita de florestas de eucalipto. A análise técnica consistiu de estudos de tempos e movimentos e produtividade. A análise econômica consistiu na determinação dos custos operacionais e de produção. A atividade de processamento consumiu maior tempo médio no ciclo operacional das máquinas. O *harvester 2* apresentou menor consumo de combustível e menor custo operacional. Entretanto, o *harvester 1* apresentou maior produtividade e menor custo de produção.

**Palavras chaves:** corte e processamento florestal; produtividade e custos.

**Abstract:** The selection of machines in forest harvesting is a major challenge to reduce the final cost of the timber and it has required studies that assess different machine settings. In this study the objective was to evaluate the technical and economic performance of harvesters: 1-John Deere 210G LC with Head Waratah H215E and 2-Volvo EC220D with Head Ponsse H77 in the eucalyptus harvesting. The technical analysis was made with study of time and motion and productivity. The processing activity had consumed greater average time in the operating cycle of the machine. In this study the harvester 2 showed lower rates of fuel consumption and operational cost. However, the harvester 1 displayed higher rates of productivity and lower production cost.

**Key words:** forest cut and processing; productivity and cost.

## 1 INTRODUÇÃO

Em 2014 o setor florestal no Brasil manteve liderança no ranking global de produtividade florestal, atingindo  $39 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , área plantada (IBA 2015). A utilização de máquinas neste setor auxilia na padronização, manutenção de suprimento e redução dos produtos.

A colheita florestal destaca-se como as atividades mecanizadas mais importantes economicamente. Carmo *et al.*, (2015) ressaltam que a colheita compreende as operações de derrubada, processamento e extração da madeira até as margens das estradas. No Brasil o sistema de toras curtas (*cut-to-length*) na colheita de madeira é largamente e utiliza *harvester* para o corte e processamento e o *forwarder* para a extração ou baldeio (MALINOVSKI *et al.*, 2002).

A colheita representa mais de 50% dos custos (MACHADO & LOPES 2000) e é uma atividade complexa, dado ao grande número de variáveis que afetam a produtividade e consequentemente os custos operacionais (CANTO *et al.*, 2006). A adaptação de escavadoras de esteiras, como máquina base, equipadas com cabeçote processador, proporciona menor custo de aquisição e a existência de modelos fabricados no país, facilitando a assistência técnica e a compra de peças e manutenção (SEIXAS & BATISTA, 2014). Isto pode contribuir para a redução dos custos de produção.

Hiesl e Benjamin (2013) afirmam que muitos fatores influenciam a produtividade individual da máquina, como o suporte e condições do local, experiência do operador e configuração do equipamento. Simões e Fenner (2010) destacam a necessidade de realizar de estudos de tempos e movimentos sobre estas variáveis a fim de minimizar os custos e otimizar as operações.

Estes estudos auxiliam na seleção de máquinas e equipamentos a serem adotados na colheita florestal e constitui um dos grandes desafios para a redução dos custos finais da madeira (BURLA *et al.*, 2012). Portanto, a realização de estudos que visem conhecer a real capacidade produtiva e possíveis variáveis que interferem no rendimento das máquinas de colheita de madeira tornou-se uma preocupação crescente por parte das empresas florestais, com vistas ao desenvolvimento de técnicas que melhorem o desempenho operacional das máquinas, maximizando a produtividade e reduzindo os custos de produção (SILVA *et al.*, 2003).

Desta forma, é necessário conhecer as melhores opções de máquinas florestais de colheita por meio de estudos técnicos e econômicos. Objetivou-se com este estudo avaliar o desempenho técnico e econômico de diferentes *harvesters* na colheita de florestas de eucalipto.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no sul da Bahia, em uma área de relevo plano com povoamentos de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla* de primeira rotação, espaçamento de 4,0x3,0 m, altura média de 27,2 m, diâmetro a altura do peito (DAP) 17,7 cm e volume por árvore de 0,21 m<sup>3</sup>, idade de 7 anos.

O clima predominante na região é do tipo Af, com verão chuvoso e inverno seco, segundo a classificação de Köpen, precipitação anual de 1.200 mm, com temperatura média anual de 24,5°C (LEÃO & MELO, 1990). A altitude média da região é de 180 m (NOVAES & SÃO JOSÉ, 1992).

O sistema de colheita utilizado foi o de toras curtas, *cut-to-length*, com traçamento de 6,20 metros de comprimento. As operações de derrubada e traçamento foram realizadas pelo *harvester* em uma faixa de trabalho de três linhas e a galhada disposta na área de corte, utilizou os mesmos operadores e foram devidamente treinados nesta atividade.

### 2.2 Máquinas avaliadas

As máquinas estudadas foram: 1) John Deere 210G LC e Cabeçote Waratah H215E, potência de 119 kW (159 HP) a 2.000 rpm, 6 cilindros, cilindrada 6,8 L e horímetro de 530 horas; 2) Volvo EC220D e Cabeçote Ponsse H77euca, potência de 110 kW (148 HP) a 2.000 rpm, 6 cilindros, cilindrada 6,69 L e horímetro de 85 horas.

### 2.3 Estudo de tempos e movimentos

A coleta de dados de tempos e movimentos dos *harvesters* foram efetuadas pelo método multimomento, com frequência de coleta de dados a cada 15 segundos (LEITE *et al.*, 2014) sendo acompanhado o turno de trabalho de 6:00 às 15:00 horas.

Para confecção do estudo de tempos e movimentos, foi realizada a subdivisão das atividades executadas pelas máquinas, levando em consideração apenas o tempo efetivo de operação, sendo excluídas as pausas de manutenção, pessoal, manobras, obtendo assim a capacidade de trabalho teórica. A Tabela 1 mostra a divisão dos movimentos do ciclo operacional.

Tabela 1. Divisão das atividades do ciclo operacional dos *harvesters*.

Atividade	Descrição
Derrubada	Tempo consumido do corte ao tombamento da árvore.
Processamento	Tempo consumido com o desgalhamento, descascamento e traçamento da árvore.
Limpeza	Retirada de casca, galhos sobre o feixe de madeira.
Distribuição do resíduo	Resíduo depositado por entre os feixes pós processamento.

Deslocamento do cabeçote	Representa o tempo despendido com movimento da lança hidráulica que suporta cabeçote.
Deslocamento da máquina	Representa o tempo despendido com movimento da máquina.

O número de ciclos operacionais foi estimado de acordo com a metodologia proposta por Barnes (2001). O número mínimo de ciclos operacionais foi estimado para um erro de amostragem admissível fixado em 5% de probabilidade, conforme Equação 1.

$$n \geq \frac{t^2 CV^2}{E^2} \quad (1)$$

em que: n = número mínimo de ciclos operacionais necessários; t = valor de t, *Student*, no nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade; CV = coeficiente de variação (%) e E = erro admissível (%).

#### 2.4 Disponibilidade mecânica e eficiência operacional

A percentagem do tempo de trabalho programado em que a máquina estava mecanicamente apta para realizar o trabalho produtivo foi determinada conforme a Equação 2 (PEREIRA *et al.*, 2015).

$$DM = \left( \frac{HT - HPM}{HT} \right) 100 \quad (2)$$

em que: DM = grau de disponibilidade mecânica (%); HPM = horas paradas para manutenção (h); e HT = horas totais (h).

A eficiência operacional, das máquinas, foi calculada através da porcentagem do tempo efetivamente trabalhado, em relação ao tempo total programado para o serviço, Equação 3 (CARMO, 2013).

$$EO = \left( \frac{He}{HT} \right) 100 \quad (3)$$

em que: EO = Eficiência operacional (%); He = Horas de trabalho efetivo (h); e HT = horas totais.

#### 2.5 Produtividade

A produtividade das máquinas foram determinadas em metros cúbicos de madeira por horas efetivamente trabalhadas por meio da Equação 4 (SILVA *et al.*, 2010). Para o cálculo da produtividade efetiva levou-se em consideração a produtividade teórica e a eficiência operacional da máquina, expresso na Equação 5.

$$P = \frac{V}{He} \quad (4)$$

em que:  $P$  = produtividade ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ );  $V$  = volume da unidade amostral ( $\text{m}^3$ ); e  $He$  = horas efetivas de trabalho (h).

$$Pe = Pt \cdot e \quad (5)$$

em que:  $Pe$  = produtividade efetiva ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ );  $Pt$  = produtividade teórica ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ); e  $e$  = eficiência operacional.

## 2.6 Consumo de combustível e consumo por volume

A média de consumo de óleo diesel e de corrente, em  $\text{L h}^{-1}$ , dos *harvesters* foi obtida através do quociente da quantidade de combustível abastecido após as operações pelo tempo em horas, estimado o consumo por horas trabalhadas, expresso na Equação 6. O consumo de combustível por volume de madeira foi determinado a partir da Equação 7.

$$cc = \frac{L}{H} \quad (6)$$

em que:  $cc$  = consumo de combustível ( $\text{L h}^{-1}$ );  $L$  = quantidade de litros do combustível;  $H$  = horas operacionais (h).

$$Cv = \frac{cc}{Pt} \quad (7)$$

em que:  $Cv$  = consumo por volume de madeira ( $\text{L m}^{-3}$ );  $cc$  = consumo de combustível ( $\text{L h}^{-1}$ );  $Pt$  = produtividade teórica ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ).

## 2.7 Análise econômica

Seguindo a metodologia proposta pela *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 2001), Leite *et al.* (2013) e Silva *et al.* (2014a), a análise dos custos baseou-se: no somatório dos custos fixos (depreciação, juros, seguros e impostos) e custos variáveis (combustível, lubrificante, óleo hidráulico, esteiras, manutenção e reparos e mão de obra) a partir das equações da Tabela 2. Os custos operacionais foram estimados para as atividades realizadas em dois turnos operacionais, de acordo com os princípios empresa.

O custo de produção, estimado em  $\text{US\$ m}^{-3}$ , foi obtido pela divisão dos custos operacionais ( $\text{US\$ h}^{-1}$ ) pela produtividade ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ) das máquinas.

Tabela 2. Equações para determinação do custo horário dos *harvesters*.

Custos Fixos	$Depreciação = \left( \frac{Va - Vr}{N He} \right)$	(7)
	$Juros, seguros e impostos = \frac{(IMA i)}{He} \rightarrow IMA = \frac{(Va - Vr)(N + 1)}{(2N)} + Vr$	(8)
	$Abrigo = \frac{(Va Fa)}{He}$	(9)
	$Taxas administrativas = \frac{Va Fad}{He}$	(10)
Custos Variáveis	$Combustível = C = Pu cc$	(11)
	$Lubrificantes = Il C$	(12)
	$Óleo hidráulico = OH = Io C$	(13)
	$Pneus = P = \frac{Npe Vpe}{Hpe}$	(14)
	$Manutenção e reparos = \frac{\left[ Va FR_1 \left( \frac{h + He}{1000} \right)^{FR_2} \right] - \left[ Va FR_1 \left( \frac{h}{1000} \right)^{FR_2} \right]}{He}$	(15)
	$Mão de obra = \left( \frac{S E No M}{He} \right)$	(16)

Va = valor de aquisição da máquina (US\$); Vr = valor residual, 10% Va (US\$); He = horas efetivas de uso anual; N = vida útil (5 anos); i = taxa de juros (12%); IMA = investimento médio anual; Fa = fator de abrigo (0,75%); Fad = fator administrativo (1%); Pu = preço do combustível (US\$ 0,64 L<sup>-1</sup>); cc = consumo de combustível; Il = índice de lubrificantes (20%); Io = índice de óleo (20%); Vpe = preço do pneu (US\$ 1.827,04); Hpe = vida útil do pneu (12.000 h); Npe = número de pneus (2); FR<sub>1</sub> = fator 1 (0,003); FR<sub>2</sub> = fator 2 (2); h = hora que deseja calcular (h); S = salário mensal do operador (US\$ 669,08); No = número de operadores (2); E = encargos (1,74); M = meses no ano (12). Fonte: adaptado de *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 2001).

## 2.8 Delineamento estatístico

Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos e vinte quatro repetições, as máquinas compuseram os tratamentos. Foram efetuadas análises de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para atividade do ciclo e produtividade através do software estatístico R.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Estudo de tempos e movimentos

Os tempos médios para os ciclos operacionais das máquinas foram: 23,9 min para o *harvester* 1, e 26 min para o *harvester* 2. Foram coletados 2.269 ciclos para o *harvester* 1 e 3.038 para o *harvester* 2, valores acima do determinado pelo estudo piloto. O percentual do estudo de tempos e movimentos dos *harvesters* está representado na Figura 1.

A atividade de processamento da madeira demandou maior tempo, representando 14,56 s e 15,42 s do tempo total para os *harvesters* 1 e 2, respectivamente. As médias não diferiram estatisticamente (Tabela 3). A maior demanda de tempo desta atividade é justificada pela maior necessidade do operador do *harvester* 2 tracionar a tora pelo cabeçote por duas vezes para efetuar o descascamento. Resultados que corroboram com os encontrados por Lopes *et al.*, 2007, em que relataram a necessidade de realização de duas passadas dos rolos sobre a madeira, visando o seu descascamento parcial, sendo esta uma exigência da indústria.

Em seguida, a derrubada e movimento do cabeçote foram as atividades que demandaram maior tempo, 4,37 e 1,81 s para o *harvester* 1, e, 4,61 e 2,85 s para o *harvester* 2, respectivamente. Observa-se que as médias da atividade de deslocamento do cabeçote foram diferentes entre as máquinas, evidenciando maior agilidade para o *harvester* 1.

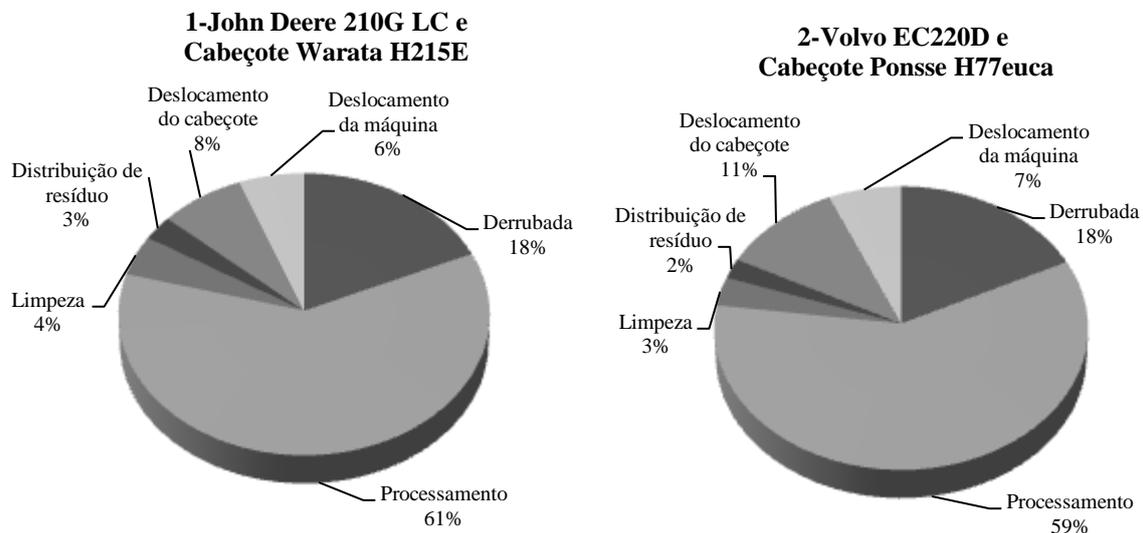


Figura 1. Representatividade dos elementos que compõem o ciclo operacional dos *harvesters*.

Tabela 3. Análise de variância e valores médios do ciclo operacional dos *harvesters*.

Análise de variância						
	Derrubada	Processamento	Limpeza	Distribuição de resíduo	Deslocamento do cabeçote	Deslocamento da máquina
QM	0,54 **	7,51 **	2,33**	0,06 *	10,65 *	0,79
Médias dos tempos em minutos das atividades do ciclo operacional (Tukey 5% pb)						
Hv	Derrubada	Processamento	Limpeza	Distribuição de resíduo	Deslocamento do cabeçote	Deslocamento da máquina
1	4,37 a	14,56 a	0,84 a	0,58 a	1,81 a	1,40 a
2	4,61 a	15,42 a	1,089 a	0,65 a	2,85 b	1,68 a

QM = quadrado médio; Hv=*harvester*; 1-John Deere 210G LC e Cabeçote Waratah H215E; 2-Volvo EC220D e Cabeçote Ponsse H77euca; pb=probabilidade.

Simões e Fenner (2010) avaliando o *harvester* Caterpillar modelo CAT 320 CL constataram que em todas as parcelas avaliadas, a atividade que demandou maior tempo do ciclo operacional foi “abater e processar” a qual representou em média 62,59%, seguida por “buscar” com 25,77% e “deslocar” com 3,68% do tempo total do ciclo operacional. Estes resultados diferem deste estudo, pois as máquinas aqui avaliadas demandaram maior porcentagem considerando derrubada, processamento e deslocamento. Os fatos podem ser comprovados pela diferença de volume e espaçamento do plantio.

O elemento parcial do processamento foi responsável pelo maior consumo do tempo, correspondente a 66% do tempo total do ciclo operacional do *harvester* estudado por Silva *et al.*, (2010). A madeira colhida no local de estudo realizado pelos autores se tratava de uso múltiplo, necessitando da separação das pilhas de madeira de acordo com a finalidade, justificando esta diferença no tempo da atividade em comparação ao deste estudo.

### 3.2 Disponibilidade mecânica e eficiência operacional

Com relação à disponibilidade mecânica, o *harvester* 1 apresentou os maiores valores (88,02%) em comparação com o *harvester* 2 (85,9%). Para a eficiência operacional as médias, foram semelhantes 74,24% para o *harvester* 1 e 74,05% para o *harvester* 2.

Os valores da eficiência operacional encontrados neste estudo são superiores aos descritos por Seixas e Batista (2014) para os *harvesters* avaliados: Komatsu PC228 (67%) e Volvo EC210BF (71%). Esta diferença é evidente em virtude das máquinas utilizadas neste trabalho foram novas, fato que elevam os valores de eficiência operacional.

Carmo *et al.*, (2012) avaliando três modelos de *harvester* (Komatsu PC-200 leasing, Komatsu PC-228 slc, e Komatsu PC-288 short tail) apresentaram os valores de 88,15%, 83,37% e 82,41% para a disponibilidade mecânica e 71,96%, 66,26% e 64,55% para a eficiência operacional, correspondente à cada máquina. Esses valores de disponibilidade

mecânica são inferiores aos deste estudo, se assemelhando apenas ao *harvester* 1 que obteve 88,02%. Entretanto os valores de eficiência operacional foram maiores para as três máquinas aqui avaliadas.

Simões e Fenner (2010) avaliando a máquina John Deere modelo 200C LC obtiveram resultados semelhantes ao deste estudo, realizado com a máquina de série mais atual da John Deere, sendo importante ressaltar que ambas escavadoras apresentavam poucas horas de uso.

### 3.3 Produtividade

A Tabela 4 apresenta as diferenças de produtividade dos *harvesters*. Observa-se que o *harvester* 1 apresentou produtividade superior em 18% em relação ao *harvester* 2. Tais valores são explicados devido o cabeçote Waratah H215E, geralmente, realizar o descascamento da tora com um único tracionamento pelo cabeçote e por apresentar melhor deslocamento do mesmo por meio da lança hidráulica, contribuindo para a redução dos tempos operacionais do *harvester* 1.

Tabela 4. Análise de variância e teste de média da produtividade teórica e efetiva em função dos *harvesters*.

Análise de Variância					
Efeitos	GL	SQ	QM	F	P-valor
Tratamentos	1	166,09	166,09	27,05	***
Resíduo	39	239,43	6,14		
Total	40	405,52			
Médias Tukey 5%					
Máquinas	Produtividade efetiva (m <sup>3</sup> he <sup>-1</sup> )		Produtividade teórica (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )		
1-John Deere	26,18 a		31,84 a		
2-Volvo	22,09 b		26,93 b		

Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre se pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Seixas e Batista (2014) comparando dois modelos de *harvesters* de pneus e esteiras encontraram 19,52 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> para o *harvester* de esteiras (Volvo EC210BF e Cabeçote Valmet 370E), divergindo dos resultados deste estudo. O volume individual foi menor, contribuindo para essa produtividade, e também as condições de relevo. Neste estudo o volume foi maior e áreas de plantio planas

Simões *et al.*, (2010) avaliaram um *harvester* de esteiras, modelo CAT 320 CL, em povoamento de eucalipto com volume por árvore de 0,226 m<sup>3</sup>, com espaçamento de 3,0x2,0

m e obtiveram produtividade média de  $41,46 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Esses valores diferem deste estudo devido ao menor espaçamento de plantio dos autores, pois o adensamento reduz a necessidade de deslocamento da máquina e movimentação do cabeçote, além do aumento da faixa de trabalho, aumentando a produtividade.

### 3.4 Consumo horário e consumo por volume

A Tabela 5 apresenta as médias de consumo de combustível dos *harvesters*. O *harvester* 2 resultou em economia de combustível de 14,74% em relação ao *harvester* 1, esta diferença varia de acordo com a potência do motor (JIROUŠEK *et al.*, 2007). Entretanto, o *harvester* 1 apresentou menor consumo por volume de madeira derrubada e processada, sendo essas diferenças elucidadas pelas características de potência, configurações e regulagens, além dos valores da produtividade.

Tabela 5. Valores médios do consumo de diesel dos *harvesters*.

HV	Consumo horário ( $\text{L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	Consumo por volume ( $\text{L}^{-1} \text{ m}^3$ )
1	21,79	0,92
2	18,99	1,32

HV=*harvester*; 1-John Deere 210G LC e Cabeçote Waratah H215E, 2-Volvo EC220D e Cabeçote Ponsse H77euca.

As médias de consumo deste estudo apresentam valores diferentes com os resultados encontrados por Paula (2011) para as máquinas Komatsu modelo PC 228 SHO e modelo PC 200 LC, apresentando  $19,98 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$  e  $19,75 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , para volume entre 0,18 e 0,23  $\text{m}^3$ . A classe dos volumes em que o autor conduziu o seu trabalho pode ter ocasionado as pequenas diferenças no consumo e principalmente as diferenças nas configurações das máquinas.

### 3.5 Custos

A Figura 2 apresenta os percentuais dos custos operacionais obtidos para os *harvester* 1. Observa-se que o custo total foi de US\$  $79,14 \text{ h}^{-1}$ , os custos fixos (depreciação, juros, seguros e impostos, abrigo e taxas administrativas) corresponderam a 23,45% (US\$  $18,71 \text{ h}^{-1}$ ) e os custos variáveis (combustível, óleo hidráulico, lubrificantes, esteiras, manutenção e reparos e mão de obra) representaram 74,47% (US\$  $60,44 \text{ h}^{-1}$ ).

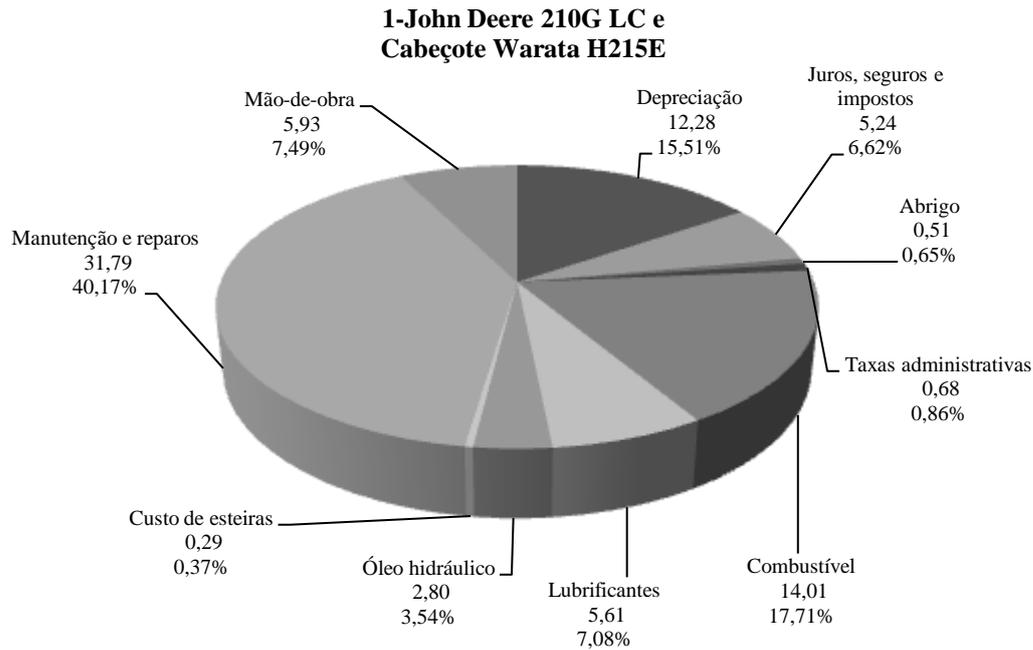


Figura 2. Distribuição percentual e comportamento dos custos *harvester 1*.

O *harvester 2* apresentou um custo total de US\$ 74,73 h<sup>-1</sup>, sendo 24,30% (US\$ 18,14 h<sup>-1</sup>) para custo fixo e 75,82% (US\$ 56,59 h<sup>-1</sup>) para custo variável.

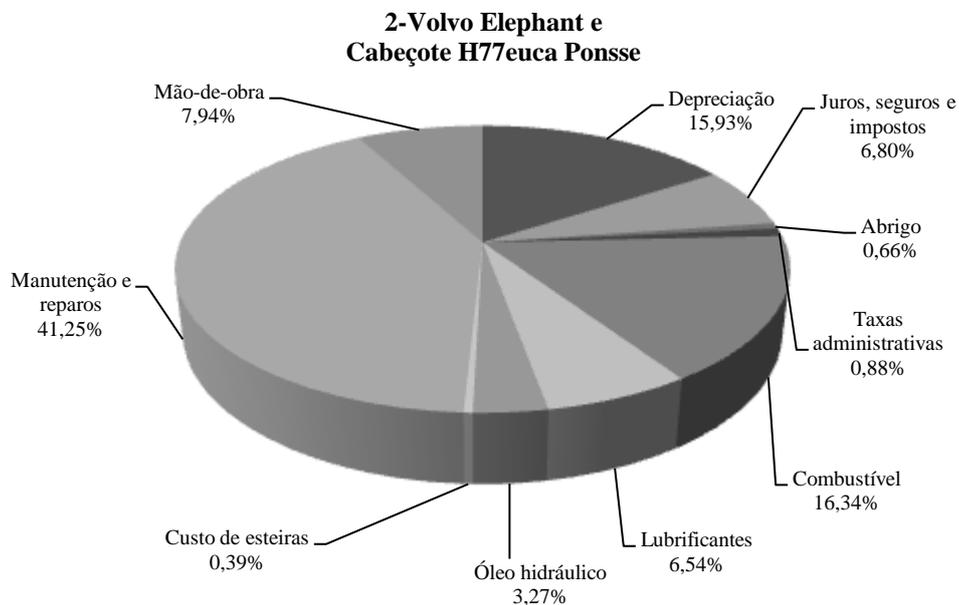


Figura 3. Distribuição percentual e comportamento dos custos *harvester 2*.

Os custos do *harvester 2* apresentaram redução de 5,9%, em comparação com o *harvester 1*, devido a diferença no valor de aquisição e no consumo de combustível. Para os custos de

produção o *harvester* 1 apresentou US\$ 3,02 m<sup>-3</sup> e o *harvester* 2 US\$ 3,38 m<sup>-3</sup>, justificado pela diferença de produtividade.

Simões *et al.*, (2010) apresentaram custo superior para o *harvester* Caterpillar modelo CAT 320 CL (US\$ 92,50 h<sup>-1</sup>). O custo deste trabalho foi menor em virtude do menor turno operacional, dois turnos diários e menor consumo de combustível, evidenciando custos operacionais mais baixos para as máquinas aqui avaliadas.

Simões e Fenner (2010) avaliaram o *harvester* John Deere modelo 200C LC e encontraram custo semelhante ao *harvesters* 1, que é o modelo da marca mais atual e não sofreu diferença do custo.

Os custos operacionais deste estudo diferem dos estimados por Silva (2008) e Simões (2008), os quais empregaram em seus estudos máquinas com as mesmas características técnicas e, expondo custos de US\$ 65,91 e 62,49 por hora trabalhada. Essas diferenças são explicadas pelo consumo e manutenção das máquinas aqui avaliadas.

Os valores dos custos encontrados por Lopes *et al.* (2007) na avaliação *harvester* Caterpillar, modelo CAT 320 foram semelhantes ao encontrado no *harvester* 2. Entretanto, este estudo apresentou menor custo operacional e menor produtividade em comparação ao estudo dos autores.

Silva *et al.*, (2014b) avaliando os *harvesters* Komatsu PC 200 e PC 228, encontraram custos de produção superiores ao deste estudo, fato justificado pelas produtividades, 18,57 m<sup>3</sup> L<sup>-1</sup> e 19 m<sup>3</sup> L<sup>-1</sup>, representando valores de US\$ 4,80 e US\$ 4,83 por m<sup>3</sup>, respectivamente.

#### 4 CONCLUSÕES

- A atividade de processamento consumiu maior tempo médio no ciclo operacional das máquinas.
- O menor consumo de combustível e menor custo operacional foi observado no *harvester* 2.
- O *harvester* 1 apresentou a maior produtividade e menor custo de produção.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE standards 2001:** machinery, equipment and buildings: operating costs. Iowa: Ames, 2001. 226p. (ASAE D497.5).

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho.** São Paulo, 635p, 2001.

BURLA, E.R.; FERNANDES, H.C.; MACHADO, C.C.; LEITE, D. M.; BERNARDES, A. M. Avaliação técnica e econômica do *harvester*, em diferentes condições operacionais. **Engenharia na Agricultura**, v.20, n.5, p.412-422, 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/view/202>> Acesso em: 1 ago. 2015.

CANTO, J. L.; MACHADO, C.C.; GONTIJO, F. M.; JACOVINE, L. A. G. Colheita e transporte florestal em propriedades rurais fomentadas no estado do Espírito Santo. **Revista Árvore**, v.30, n.6, p.989-998, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rarv/v30n6/a14v30n6.pdf>> Acesso em: 10 out. 2015.

CARMO, F. C. A.; FIEDLER, N. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. Otimização do uso do trator florestal *forwarder* em função da produtividade, custos e capacidade de carga. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.3, p.561-566, 2015. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48842213017>> Acesso em: 22 nov. 2015.

HIESL, P., BENJAMIN, J. G. (2013). Applicability of International Harvesting Equipment Productivity Studies in Maine, USA: A Literature Review. **Forests**, 4 (4), 898-921. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1999-4907/4/4/898>> Acesso em: 20 out. 2015.

IBÁ. **Relatório IBÁ 2015.** Indústria Brasileira de Árvores. Brasília, 2015. 80 p. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/iba\\_2015.pdf](http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf)> Acesso em: 15 nov. 2015.

JIROUŠEK, R., KLVAČ, R., SKOUPÝ, A. (2007). Productivity and costs of the mechanized cut-to length wood harvesting system in clear-felling operations. **J. For. Sci.** 53 (10): 476-482. Disponível em: <<http://agriculturejournals.cz/publicFiles/00421.pdf>> Acesso em: 23 out. 2015.

LEÃO, A. C.; MELO, A. O. **Características morfológicas, físico-químicas e mineralógicas dos solos da estação ecológica de Pau-Brasil**. *Agrotropica*, Porto Seguro, v. 2, n. 2, p. 105-112, 1990.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H.C.; MINETTE, L.J.; LEITE, H.G.; GUEDES, I.L. Modelagem técnica e de custos do Harvester no corte de madeira de eucalipto no sistema de toras curtas. **Scientia Forestalis**, volume 41, n. 98, p.205-215, junho de 2013

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; GUEDES, I. L.; AMARAL, E. J. Análise técnica e de custos do corte florestal semimecanizado em povoamentos de eucalipto em diferentes espaçamentos. **Cerne**, Lavras, v. 20 n. 3, p. 637-643, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-77602014000400018&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-77602014000400018&script=sci_arttext)> Acesso em: 15 jan. 2016.

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**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/floresta/article/viewFile/9926/6822>> Acesso em: 14 jan. 2016.

MACHADO C. C.; LOPES E. S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Revista Cerne**, v.6, n.2, p.124-129, 2000. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/744/74460213.pdf>> Acesso em: 7 jan. 2016.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2002. p.145-167.

NOVAES, A. B.; SÃO JOSÉ, A. R. **Caracterização da região da mata de cipó no sudeste da Bahia**. In: NOVAES, A. B. *et al.* Reflorestamento no Brasil. Vitória da Conquista: UESB, 1992. p. 7-16.

PAULA, E. N. S. O. **Avaliação técnica, de custos e ambiental de dois modelos de harvester na colheita florestal.** 2011. 68f. Tese (Doutorado Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2011. Disponível em: <<http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/ciencia%20florestal/2011/238092f.pdf>> Acesso em: 14 jan. 2016.

PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E. S.; DIAS, A. N. Análise técnica e de custo do *feller buncher* e *skidder* na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 981-989, out.-dez., 2015. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/20659>> Acesso em: 9 jan. 2016.

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, jan.-mar., 2014. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/13335>> Acesso em: 20 dez. 2015.

SILVA, C. B.; SANT'ANNA, C. M.; MINETTE, L. J. Avaliação ergonômica do “feller-buncher” utilizado na colheita de eucalipto. **Cerne**, Lavras, MG. v. 9, n. 1, p. 109-118, 2003. Disponível em: <[http://colheidademadeira.com.br/wp-content/uploads/publicacoes/62/avaliacao\\_ergonomica\\_do\\_%E2%80%9Cfeller-buncher%E2%80%9D\\_utilizado\\_na\\_colheita\\_de\\_eucalipto.pdf](http://colheidademadeira.com.br/wp-content/uploads/publicacoes/62/avaliacao_ergonomica_do_%E2%80%9Cfeller-buncher%E2%80%9D_utilizado_na_colheita_de_eucalipto.pdf)> Acesso em: 20 dez. 2015.

SILVA, E. N. **Avaliação técnica e econômica do corte de Pinus com harvester.** 2008, 60 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622010000400019&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622010000400019&script=sci_abstract&tlng=pt)> Acesso em: 17 dez. 2015.

SILVA, E. N.; MACHADO, C. C.; FIEDLER, N., C.; FERNANDES, H., C.; PAULA, M., O.; CARMO, F. C. A.; MOREIRA, G., R.; COELHO, F., E. Avaliação de custos de dois modelos de *harvester* no corte de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 741-748, jul.-set., 2014a. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/3972>> Acesso em: 10 jan. 2016.

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. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 745-753, 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-622010000400019&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-622010000400019&script=sci_abstract&tlng=pt) Acesso em: 20 dez. 2015.

SILVA, M. L.; MIRANDA, G. M.; CORDEIRO, S.A.; LEITE, E. S. Custos. In: MACHADO, C. C. (Editor). **Colheita Florestal**. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 2014b. p. 253-287.

SIMÕES, D. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. 2008. 105p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas / Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008. Disponível em: <http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/simoes,d.pdf> Acesso em: 11 dez. 2015.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Influência do relevo na produtividade e custos do *harvester*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.85, n.38, p.107-114, 2010. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr85/cap10.pdf> Acesso em: 4 jan. 2016.

## CAPÍTULO 2

### DESEMPENHO TÉCNICO E ECONÔMICO DE DIFERENTES *FORWARDERS* NA COLHEITA DE EUCALIPTO

**Resumo:** A colheita florestal destaca-se pela sua importância econômica e necessita de conhecimentos técnicos sob a especificidade das máquinas, para aumentar a produtividade e reduzir custos. Desta forma, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho técnico e econômico de diferentes *forwarders* na extração de madeira de eucalipto. As máquinas avaliadas foram: 1) Tigercat 1075B; 2) Ponsse Elephant 8W; 3) Komatsu 890.3. A análise técnica englobou um estudo de tempos e movimentos, produtividade, eficiência operacional e disponibilidade mecânica. A análise econômica envolveu a determinação do custo operacional e custo de produção. A atividade de carregamento e descarregamento foram as que demandaram maior tempo. Os valores de eficiência operacional apresentaram similaridade. Os *forwarders* 2 e 3 ofereceram os menores custos operacionais. O *forwarder* 1 resultou em maior produtividade e menor custo de produção.

**Palavras chaves:** colheita florestal, baldeio, produtividade.

**Abstract:** The forest harvesting stands out for its economic importance and need of technical knowledge in the specificity of the machines, to increase productivity and reduce costs. In this way, this study had the objective to evaluate the technical and economic performance of different forwarders in eucalyptus wood extraction. The machines evaluated: 1) Tigercat 1075B; 2) Ponsse Elephant 8W; 3) Komatsu 890.3. The technical analysis was realized for the study of time and motion, test of effective productivity, operational efficiency and mechanical availability. In the economic analysis was involved the operating cost and cost of production. Moreover, the charging activity and unloading were the activities that required more time. How the values of the operational efficiency were similar in the both forwarders. Forwarders 2 and 3 offered the lowest operating costs, but the forwarder 1 resulted in more productivity and lower production costs than forwarder 2.

**Key words:** forest harvesting, Forwarders, productivity.

## 1 INTRODUÇÃO

A colheita florestal destaca-se pela sua maior importância econômica na produção de madeira, tornando a atividade um processo contínuo de melhorias das condições de operação dos sistemas de colheita (LEITE *et al.*, 2014).

De acordo com Machado *et al.* (2014), as atividades de colheita e transporte em florestas plantadas correspondem de 60 a 70% do custo total da madeira. A fase final da colheita, extração florestal, consiste na movimentação da madeira desde o interior dos talhões até as margens das estradas florestais (SIMÕES & FENNER, 2010).

A produtividade das operações de colheita é uma das principais variáveis que condiciona a viabilidade da retirada de madeira dos projetos florestais (MALINOVSKI *et al.*, 2006). O conhecimento do custo operacional das máquinas é de suma importância na tomada de decisão, auxiliando, fundamentalmente, o planejamento e controle das operações para a redução dos custos de produção (MACHADO; MALINOVSKI, 1988).

As variáveis que influenciam as operações são: a declividade do terreno, o espaçamento de plantio, o volume das árvores, o manejo adotado, a potência e a produtividade das máquinas (MALINOVSKI, 2007). Para os *forwarders*, a produtividade também varia de acordo com a distância de baldeio, potência da máquina, capacidade da caixa de carga e da garra (JIROUSEK KLVAČ e SKOUPÝ, 2007; HIESL e BENJAMIN, 2013). Cechin (2000) completa que as horas descanso e higiene pessoal, o tempo de experiência, velocidade de deslocamento da máquina e paradas técnicas para manutenção e reparos influenciam o desempenho das máquinas.

De forma geral, necessitam de pesquisas para melhorar os modelos de produtividade desenvolvidos e permitir a previsão de desempenho do sistema (GERASIMOV *et al.*, 2011). Em geral, requerem estudos para encontrar métodos de trabalho mais eficientes, que venham otimizar as operações completas ou desenvolver máquinas mais eficientes (NURMINEN, KORPUNEN e UUSITALO, 2006).

Diante disso, se faz necessário desenvolver modelos de produtividade sob as especificidades das máquinas de colheita a fim de proporcionar melhorias contínuas no setor florestal. Assim, objetivou-se avaliar o desempenho técnico e econômico de diferentes *forwarders* na extração de madeira de eucalipto.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Eunápolis – Bahia, em área de relevo plano com povoamentos de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*, espaçamento de 4,0x3,0 m, altura média de 32,8 m, diâmetro a altura do peito (DAP) 27,2 cm, volume individual 0,47 m<sup>3</sup>, idade de 7 anos.

O clima predominante na região é do tipo Af, com verão chuvoso e inverno seco, segundo a classificação de Köpen. Precipitação anual de, aproximadamente, 1.200 mm, com temperatura média anual de 24,5°C (LEÃO & MELO, 1990). A altitude média da região é de 180 m (NOVAES & SÃO JOSÉ, 1992).

O sistema de colheita utilizado foi o de toras curtas, *cut-to-length*, com traçamento de 6,20 metros de comprimento. As operações de derrubada e traçamento foram realizadas pelo *harvester* em uma faixa de trabalho de três linhas e a galhada disposta na área de corte. A madeira foi extraída com o tempo pós corte de 45 dias.

### 2.2 Máquinas avaliadas

Neste estudo foram utilizados os *forwarders*: 1) Tigercat 1075B, com motor Mercedes 906 Tier III, 275 hp (205 kW) de potência, tração 8x8, capacidade de 20 toneladas, grua hidráulica F111-F78 com braço telescópico, garra Hultdins FG530S com capacidade 0,52 m<sup>2</sup>, apresentando 2.786 horas de trabalho; 2) Ponsse Elephant 8W com motor Mercedes-Benz de 275 HP (205 kW) de potência, tração 8x8, capacidade de 18 toneladas, grua hidráulica, modelo k100+S com braço telescópico, garra com capacidade 0,36 m<sup>2</sup>, apresentando 10.968 horas de trabalho; 3) Komatsu 890.3, com motor 74 AWI turbo com Commonrail de 212 HP (158 kW) de potência, tração 8x8, com capacidade de 18 toneladas, grua 165F com braço telescópico, garra G36 com capacidade de 0,36 m<sup>2</sup>, apresentando 11.523 horas de trabalho.

### 2.3 Estudo de tempos e movimentos

Para realização deste estudo foi seguido à metodologia proposta por Barnes (2001), através do método de cronometragem de tempo contínuo. As velocidades operacionais foram obtidas pela mensuração da distância da máquina e o tempo, por meio de um hipsômetro (TruPulse 200 B) e cronometro digital centesimal, respectivamente.

As atividades do ciclo operacional foram deslocamento vazio, carregamento, deslocamento carregado e descarregamento, sendo:

- Deslocamento vazio é iniciado no momento em que o *forwarder* desloca-se da margem da estrada em direção aos feixes de madeira no interior do talhão e termina com o início do autocarregamento.

- Carregamento é iniciada quando o *forwarder* se posiciona acionando a abertura da garra, terminando com carga completa do compartimento.
- Deslocamento carregado é iniciado quando o *forwarder* desloca-se com a caixa de carga cheia e termina quando se encontra próximo às pilhas, à margem da estrada.
- Descarregamento é iniciado quando o *forwarder* se encontra adequadamente posicionado ao lado da pilha, terminando quando a caixa de carga estiver vazia.

Preliminarmente foi realizado um estudo piloto, de tempos e movimentos, com o objetivo de definir o número mínimo de ciclos operacionais das máquinas avaliadas, para um erro de amostragem admissível fixado em 5%, a 95% de probabilidade, (SIMÕES *et al.*, 2014), conforme Equação 1.

$$n \geq \frac{t^2 CV^2}{E^2} \quad (1)$$

em que: n = número mínimo de ciclos operacionais necessários; t = valor de t, *Student*, no nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade; CV = coeficiente de variação (%) e E = erro admissível (%).

#### 2.4 Disponibilidade mecânica

A disponibilidade mecânica foi calculada de acordo com a porcentagem de tempo de trabalho programado em que a máquina está mecanicamente apta a realizar trabalho produtivo (FONTES & MACHADO, 2014), conforme a Equação 2.

$$DM = \left( \frac{HT - HPM}{HT} \right) 100 \quad (2)$$

em que: DM = grau de disponibilidade mecânica (%); HPM = horas de paradas para manutenção (h); e HT = horas totais (h).

#### 2.5 Eficiência operacional

A eficiência operacional, das máquinas, foi calculada através da porcentagem do tempo efetivamente trabalhado, em relação ao tempo total programado para o serviço (CARMO, 2013), Equação 3.

$$EO = \left( \frac{He}{HT} \right) 100 \quad (3)$$

em que: EO = Eficiência operacional (%); He = Horas de trabalho efetivo (h); e HT = horas totais (h).

## 2.6 Produtividade

Para o cálculo da produtividade foram considerados: o volume da caixa de carga em metros cúbicos; o número de ciclos (ou viagens) realizados; e o tempo de trabalho efetivo em horas, obtido a partir do estudo de tempos e movimentos (TELES, 2015), conforme as Equações 4 e 5.

$$Pt = \frac{V}{He} \quad (4)$$

em que: Pt = produtividade teórica ( $m^3 h^{-1}$ ); V = volume da caixa de carga ( $m^3$ ); e He = horas efetivas de trabalho (h).

$$Pe = Pt * e \quad (5)$$

em que: Pe = produtividade efetiva ( $m^3 h^{-1}$ ); Pt = produtividade teórica ( $m^3 h^{-1}$ ); e e = eficiência operacional.

Para estimar o volume da caixa de carga dos *forwarders* utilizou-se o método por imersão da peça em água, obtido através do sistema 'PIVOTEX' da empresa, 12 medições para o *forwarder* 1 e 16 medições para o *forwarders* 2 e 3, obtendo a média de volume por viagem. Este método de imersão da madeira em líquido de densidade conhecida apresenta a vantagem de obter valores reais de corpos-de-prova com formas irregulares (MORESCHI, 2009).

## 2.7 Consumo de combustível

A média de consumo de óleo diesel, em  $L h^{-1}$ , foi obtida através do quociente da quantidade de combustível abastecido após as operações pelo tempo em horas, estimado o consumo por horas trabalhadas, expresso na equação 6. O consumo de combustível por volume de madeira em metros cúbicos, Equação 7.

$$cc = \frac{L}{H} \quad (6)$$

em que: cc = consumo de combustível ( $L h^{-1}$ ); L = quantidade de litros do combustível; H = horas operacionais (h).

$$Cv = \frac{cc}{Pt} \quad (7)$$

em que: Cv = consumo por volume de madeira ( $L m^{-3}$ ); cc = consumo de combustível ( $L h^{-1}$ ); Pt = produtividade teórica ( $m^3 h^{-1}$ ).

## 2.8 Análise econômica

*American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 2001), Leite *et al.* (2013) e Silva *et al.* (2014a), a análise dos custos baseou-se: no somatório dos custos fixos (depreciação, juros, seguros e impostos) e custos variáveis (combustível, lubrificante, óleo hidráulico, esteiras, manutenção e reparos e mão de obra) a partir das equações da Tabela 1. O custo de produção, em US\$ m<sup>-3</sup>, foi obtido pela divisão dos custos operacionais (US\$ h<sup>-1</sup>) pela produtividade (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>) das máquinas.

Tabela 1. Equações para determinação do custo horário dos *forwarders*.

	$\text{Depreciação} = \left( \frac{Va - Vr}{N He} \right)$	(8)
Custos Fixos	$\text{Juros, seguros e impostos} = \frac{(IMA i)}{He} \rightarrow IMA = \frac{(Va - Vr)(N + 1)}{(2N)} + Vr$	(9)
	$\text{Abrigo} = \frac{(Va Fa)}{He}$	(10)
	$\text{Taxas administrativas} = \frac{Va Fad}{He}$	(11)
Custos Variáveis	$\text{Combustível} = C = Pu cc$	(12)
	$\text{Lubrificantes} = Il C$	(13)
	$\text{Óleo hidráulico} = OH = Io C$	(14)
	$\text{Pneus} = P = \frac{Npe Vpe}{Hpe}$	(15)
	$\text{Manutenção e reparos} = \frac{\left[ Va FR_1 \left( \frac{h + He}{1000} \right)^{FR_2} \right] - \left[ Va FR_1 \left( \frac{h}{1000} \right)^{FR_2} \right]}{He}$	(16)
	$\text{Mão de obra} = \left( \frac{S E No M}{He} \right)$	(17)

Va = valor de aquisição da máquina (US\$); Vr = valor residual, 10% Va (US\$); He = horas efetivas de uso anual; N = vida útil (5 anos); i = taxa de juros (12%); IMA = investimento médio anual; Fa = fator de abrigo (0,75%); Fad = fator administrativo (1%); Pu = preço do combustível (US\$ 0,64 L<sup>-1</sup>); cc = consumo de combustível; Il = índice de lubrificantes (20%); Io = índice de óleo (20%); Vpe = preço do pneu (US\$ 1.827,04); Hpe = vida útil do pneu (12.000 h); Npe = número de pneus (2); FR<sub>1</sub> = fator 1 (0,003); FR<sub>2</sub> = fator 2 (2); h = hora que deseja calcular (h); S = salário mensal do operador (US\$ 669,08); No = número de operadores (2); E = encargos (1,74); M = meses no ano (12). Fonte: adaptado de *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 2001).

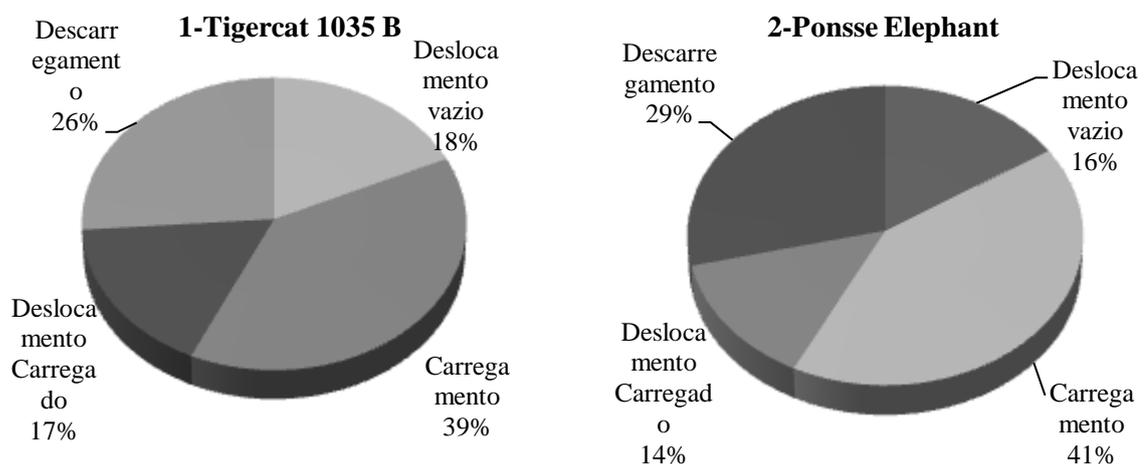
## 2.9 Delineamento estatístico

Os ciclos operacionais e as produtividades das máquinas foram analisados considerando o delineamento inteiramente casualizado, constituído por três tratamentos (*forwarders*), com 33 repetições. Os resultados foram submetidos a análise de variância, comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade através do software estatístico R. A análise de regressão foi efetuada para estimar a relação da produtividade em função a distância de extração. Por meio desta modelagem padronizou-se a produtividade para a distância de extração de 120 m, ou seja, as médias das produtividades e das atividades do ciclo operacional foram estimadas sob o baldeio de 120 m, similar ao estudo de Minette *et al.* (2004).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Estudo de tempos e movimentos

O estudo de tempos e movimentos está apresentado na Figura 1, para a distância de baldeio de 120 metros. Os tempos médios para os ciclos operacionais das máquinas foram: 19,39 min. (*forwarder 1*), 16,75 min. (*forwarder 2*) e 15,47 min. (*forwarder 3*). Pode-se constatar que a atividade de carregamento e descarregamento dependeu cerca de 70% do tempo para cada máquina. Estes resultados confirmam a afirmação de Seixas (2007) e Seixas e Castro (2014), que as operações de carregamento e descarregamento representam a maior parte do tempo operacional dessas máquinas.



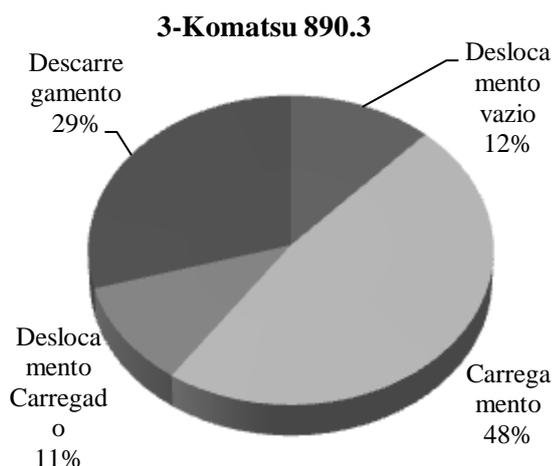


Figura 1. Representatividade dos elementos que compõem o ciclo operacional das máquinas.

Leite *et al.* (2014) concluíram que a atividade que obteve maior representatividade para o *forwarder* John Deere, modelo 1710D foi o carregamento da máquina, seguido do descarregamento; juntos, corresponderam a 66% do tempo total do ciclo operacional. Estes resultados são inferiores aos encontrados neste estudo, fato explicado pelos os autores avaliarem a máquina em condições de aclave e declive demandando maior tempo no deslocamento e menor percentual nas atividades de carga e descarga. Neste estudo as máquinas foram avaliadas em condições planas.

A constituição média dos elementos do ciclo operacional do *forwarder* em minutos foi de 27,1 min. para distância média de extração de 120,5 m Oliveira *et al.*, (2009). A média de tempo do ciclo operacional para os *forwarders* deste estudo foram de 18,12 min. Essa diferença pode explicada pela maior da capacidade da garra e da caixa de carga dos *forwarders* deste estudo.

Na Tabela 2 está apresentada a análise de variância e as médias do estudo de tempos e movimentos. O carregamento foi à atividade do ciclo operacional que demandou maior tempo para as três máquinas, pois realiza o carregamento apenas por um único sentido do eito. Os *forwarders* 1 e 3 foram semelhantes estatisticamente, demandando maiores tempos operacionais.

O *forwarder* 3 apresentou maior capacidade de deslocamento, sendo que o deslocamento vazio foi 12% e o deslocamento carregado foi de 11% maior em comparação aos *forwarders* 1 e 2.

Tabela 2. Análise de variância e médias do ciclo operacional dos *forwarders*.

	D. Vazio	Carregamento	D.Carregado	Desca.	V. Vazio	V. Carregado
QM	21,56***	23,91***	21,94***	3,73*	183,43***	174,18***
Médias dos tempos em minutos das atividades do ciclo operacional (Tukey 1% pb)						
FW	D. Vazio	Carregamento	D.Carregado	Desca.	V. Vazio	V. Carregado
1	3,73 a	7,98 a	3,49 a	4,39 a	4,05 b	3,29 b
2	2,66 b	6,96 b	2,32 b	4,81 a	3,52 b	2,82 b
3	2,19 b	7,83 a	2,00 b	3,45 a	6,24 a	5,69 a

D = deslocamento; Desca = descarregamento; V = Velocidade; QM=quadrado médio; FW=*Forwarder*; 1=Tigercat 1035 B; 2=Ponsse Elephant e 3=Komatsu 890.3.; pb = probabilidade.

Os operadores relataram dificuldades quanto aos movimentos da grua e garra no início do carregamento do *forwarder* 1, necessitando de maior atenção para evitar que a caixa de carga incline ou tombe, isto ocorre em virtude do maior volume da garra em relação aos *forwarders* 2 e 3.

O *forwarder* 1 apresentou maiores tempos para as atividades deslocamento vazio e deslocamento carregado por apresentar maior capacidade de carga. Os obstáculos e resíduos presentes nos talhões tornavam os riscos de tombamento eminentes, com isso, os operadores optavam por deslocar em menor velocidade, reduzindo também os impactos na cabine.

Os *forwarders* 1 e 3 foram semelhantes na atividade de carregamento. O *forwarder* 2 resultou em menores tempos, isto pode ser justificados pela maior facilidade em deslocar a grua e garra.

As velocidades obtidas pelos *forwarders* 1, 2 e 3 deste trabalho são consideradas baixas em comparação às encontradas por Bantel (2006) para a avaliação do *forwarder* Komatsu 890.2. Valores explicados pela maior capacidade de carga, maiores dimensões, peso das máquinas deste estudo, fatos que influenciou negativamente no deslocamento. O mesmo fato ocorreu em comparação com o estudo de Minette *et al.* (2004), que trabalharam com a extração de madeira com o *forwarder* da marca Timberjack, modelo 1210B. Entretanto, o carregamento demandou maiores valores em contraste aos encontrados neste estudo, explicado pela maior robustez das máquinas aqui avaliadas.

### 3.2 Disponibilidade mecânica e eficiência operacional

Com relação ao desempenho operacional, verificou-se que o *forwarder* 1 apresentou disponibilidade mecânica de 92,82% e eficiência operacional de 83%, referente a 468 horas totais e 378,18 h<sup>-1</sup> de horas trabalhadas e 89,82 h<sup>-1</sup> de horas paradas. O *forwarder* 2, exibiu 95,41% de disponibilidade mecânica e eficiência operacional de 82,00%, correspondentes a 466 horas totais, 373,23 h<sup>-1</sup> de horas trabalhadas e 92,37 h<sup>-1</sup> de horas paradas. Já o *forwarder*

3 expôs a disponibilidade mecânica de 93,78% e eficiência operacional de 83,00%. As horas totais somaram 466,3, 377,21 h<sup>-1</sup> foram de horas trabalhadas e 89,09 h<sup>-1</sup> de horas paradas.

Os valores de eficiência operacional apresentaram similaridade entre as máquinas, justificando que os equipamentos dispõem de manutenção preventiva e corretiva eficiente. Estes resultados se aproximam dos valores de máquinas florestais novas segundo Fontes e Machado (2014).

Oliveira *et al.*, (2009) avaliaram o *forwarder* Komatsu 890.2 encontraram eficiência operacional média de 70,00% e disponibilidade mecânica de 89,00%, sendo médias inferiores em comparação aos resultados deste estudo. Este fato pode ser explicado pelos autores relatarem fatores que influenciaram negativamente nas interrupções mecânicas, como constantes travamentos no sistema operacional da máquina, fatos que não ocorreram neste estudo.

### 3.3 Produtividade

Os resultados do teste 'PIVOTEX' demonstraram o volume da caixa de carga de 25,2 m<sup>3</sup> para o *forwarder* 1; 16,2 m<sup>3</sup> para 2 e 16,0 m<sup>3</sup> para a máquina 3, fatos que evidenciam maior capacidade de carga da máquina 1 e similaridade para os *forwarders* 2 e 3.

O *forwarder* 1 apresentou produtividade média de 69,82 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, sendo esse valor estaticamente superior aos 51,24 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> apresentado pelo tratamento *forwarder* 2 e 54,15 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> pelo *forwarder* 3 (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de variância e Teste Tukey a 5% da produtividade (m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>) dos *forwarders*.

Análise de Variância					
Efeitos	GL	SQ	QM	F	P-valor
Tratamentos	2	8220,9	4110,5	27,68	***
Resíduo	96	14256,5	148,5		
Total	98	22477,4			
Médias Tukey 5%					
<i>Forwarder</i>	Produtividade efetiva (m <sup>3</sup> he <sup>-1</sup> )		Produtividade teórica (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )		
1-Tigercat 1035 B	65,01 a		69,82 a		
2-Ponsse Elephant	46,72 b		51,24 b		
3-Komatsu 890.3	49,15 b		54,15 b		

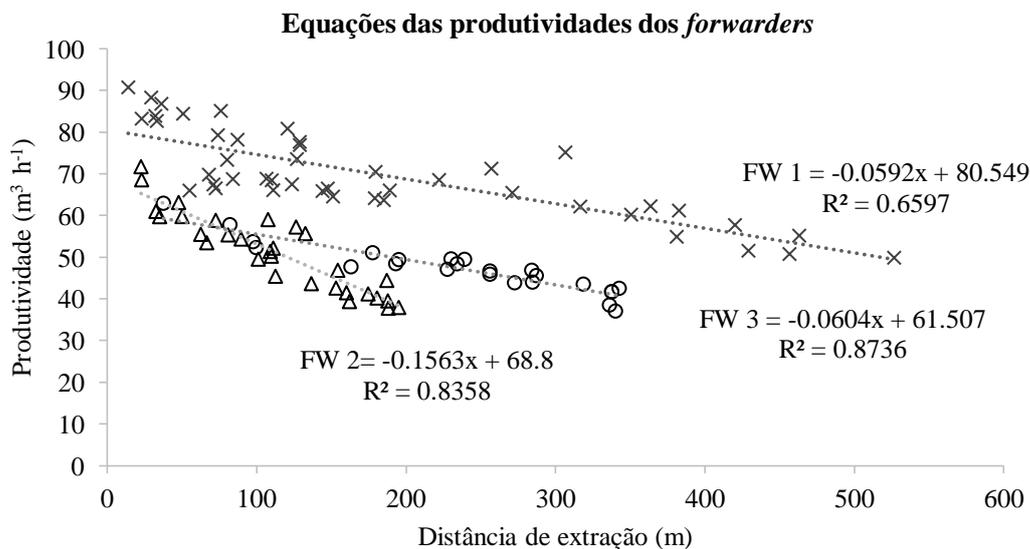
Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Diante desses resultados tem-se o *forwarder* 1 apresentou maior produtividade de 36% em comparação ao *forwarder* 2, e de 29% em relação ao *forwarder* 3. Estes valores são explicados devido ao tamanho da caixa de carga, sendo que a máquina 1 apresenta caixa de carga 56% maior, além de ser mais robusta.

Jiroušek *et al.* (2007) analisaram a produtividade de extração de madeira com o *forwarder* em condições de 0,1 a 1,0 m<sup>3</sup> de madeira por árvore e distância de extração variando de 80 a 1.400 m. Considerando a faixa de 120 m, as produtividades encontradas pelos autores são inferiores em comparação aos encontrados neste trabalho, as diferenças foram devido a maior capacidade da caixa de carga, maior potência das máquinas e pela extração de espécie diferente deste estudo.

Hiesl e Benjamin (2013) avaliaram três *forwarders* diferentes com motores que vão de 90 cv a 140 cv e capacidade de carga partindo de dez toneladas para mais de doze toneladas dos modelos Valmet 5446, Timberjack 1010 e Rottne e encontraram valores inferiores ao deste estudo. As máquinas descritas pelos autores são de porte menor às utilizadas neste estudo. Estes fatos reforçam que a utilização de máquinas mais robustas na extração florestal tendem a aumentar a produtividade, entretanto deve-se salientar a necessidade de avaliar os valores de compactação que estas máquinas podem exercer no solo.

As equações de produtividade do *forwarder* em função da distância de extração estão demonstradas na Figura 2, observa-se que o aumento da distância de extração houveram decréscimos na produtividade, fatos relatados por Jiroušek *et al.* (2007), Hiesl e Benjamin (2013), Minette *et al.* (2004), Oliveira *et al.*, (2009) e Leite *et al.* (2014). A Figura 2 evidencia a maior produtividade do *forwarder* 1.



FW1=Tigercat 1035 B; FW2=Ponsse Elephant; FW3=Komatsu 890.3.

Figura 2. Modelagem da produtividade em função da distância de baldeio dos *forwarders*.

Leite *et al.* (2014) realizando modelagem do desempenho da extração de madeira pelo *forwarder* John Deere, modelo 1710D, encontrou produtividade de 46 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, sendo menor do

que as deste estudo. O que explica essa diferença é a classe de volumes utilizada pelos autores, 0,13 a 0,42 m<sup>3</sup> e a configuração da máquina. Segundo Jiroušek et al. (2007), os volumes médios de madeira das árvores e as distâncias de extração são fatores cruciais nas operações de extração de madeira.

### 3.4 Consumo de combustível

O consumo médio de combustível foi de 16,87 L h<sup>-1</sup> e o consumo por volume de madeira extraída foi de 0,19 L m<sup>-3</sup> para o *forwarder* 1. O *forwarder* 2 apresentou o consumo de combustível de 15,2 L h<sup>-1</sup> e consumo por volume de 0,25 L m<sup>-3</sup>. O *forwarder* 3 obteve o consumo de combustível de 15 L h<sup>-1</sup>, apresentando com isso um consumo por volume de 0,22 L m<sup>-3</sup>.

Comparando-se as médias, os *forwarders* 2 e 3 apresentaram redução do consumo de combustível de 11% em relação ao *forwarder* 1, explicado pela diferença da capacidade e peso das máquinas. Entretanto, o *forwarder* 1 apresentou menor consumo por volume de madeira (L m<sup>-3</sup>), redução de 31,58% e 15,79%, em comparação ao *forwarder* 2 e *forwarder* 3, nesta ordem. Esse fato é explicado pela diferença de produtividade das máquinas.

Os resultados do consumo médio por volume de madeira extraída (L m<sup>-3</sup>) pelo *forwarder* 2 deste estudo, corroboram com os encontrados por Bantel (2006), analisando a extração de madeira de eucalipto.

### 3.5 Custos

O *forwarder* 1 apresentou custo total de US\$ 97,03 h<sup>-1</sup>, destes, US\$ 27,39 h<sup>-1</sup> (28,22 %) refere-se aos custos fixos e US\$ 69,64 h<sup>-1</sup> (71,77%) aos custos variáveis. A Figura 3 apresenta a distribuição dos custos operacionais.

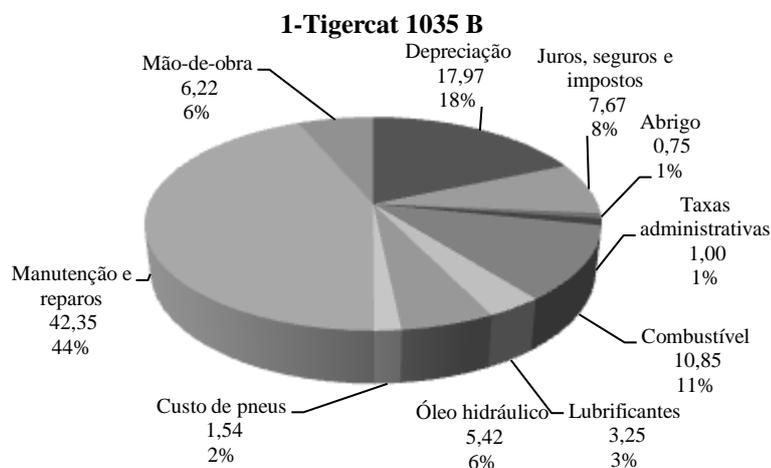


Figura 3. Distribuição percentual e comportamento dos custos do *forwarder* 1.

O *forwarder* 2 apresentou um custo total de US\$ 91,66 h<sup>-1</sup>. Desse total, foram: US\$ 26,76 h<sup>-1</sup> (29,20 %) para custo fixo e US\$ 64,90 h<sup>-1</sup> (70,80 %) para custo variável. A Figura 4 apresenta a distribuição dos custos operacionais.

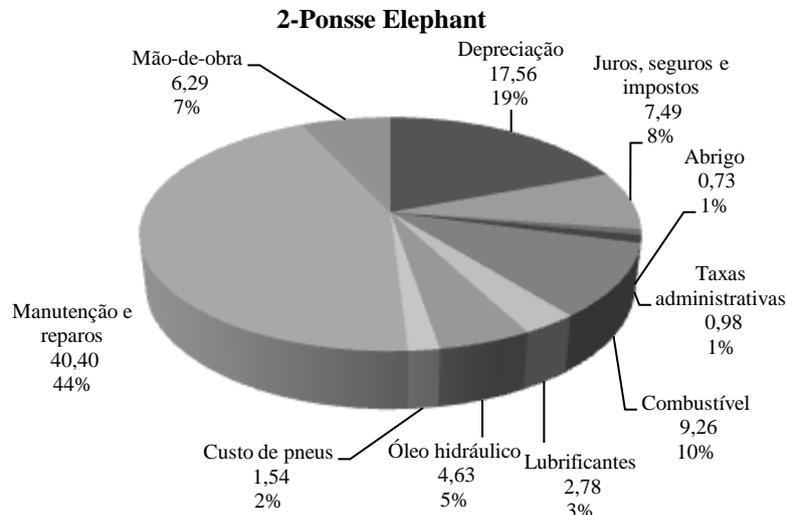


Figura 4. Distribuição percentual e comportamento dos custos do *forwarder* 2.

O *forwarder* 3 resultou no custo total de US\$ 92,80 h<sup>-1</sup>. Esse valor foi fracionado em: US\$ 26,94 h<sup>-1</sup> (26,75%) para custo fixo e US\$ 65,68 h<sup>-1</sup> (73,25%) para custo variável. A Figura 5 apresenta a distribuição dos custos operacionais.

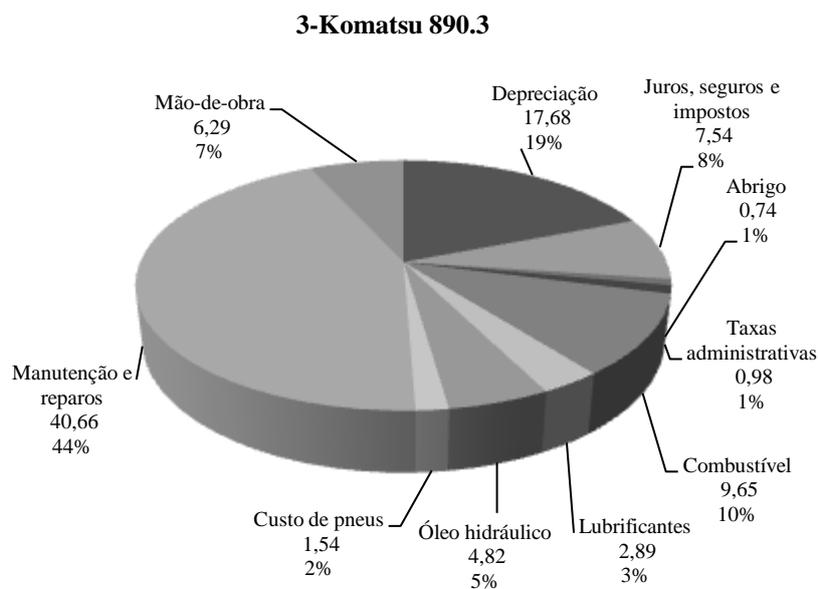


Figura 5. Distribuição percentual e comportamento dos custos do *forwarder* 2.

Comparando os custos, a máquina que despendeu o maior custo operacional foi o *forwarder* 1, devido ao maior valor de aquisição e maior consumo de combustível. Em contrapartida, apresentou o menor custo de produção, devido a maior produtividade. Os custos de produção foram: US\$ 1,39 m<sup>3</sup>, US\$ 1,79 m<sup>3</sup> e US\$ 1,71 m<sup>3</sup> para o *forwarder* 1, 2 e 3, respectivamente.

Bantel (2006) avaliando o *forwarder* Valmet 890.2 encontraram menores valores de custo operacional. Esses valores são explicados pela diferença de porte e capacidade da máquina utilizada pelo autor, quando comparadas com os *forwarders* utilizadas nesse estudo.

O custo operacional do *forwarder* John Deere, modelo 1710D, avaliado por Leite *et al.*, (2014) foi de US\$125,24 por hora trabalhada, sendo 20,88% de custos fixos e 79,12% de custos variáveis. Estes custos são superiores aos encontrados neste trabalho, pois, os autores consideraram os custos com transporte de maquinário e pessoal além de maior custo do combustível e pode apresentar maior custo de aquisição.

Simões e Fenner (2010), avaliando o *forwarder* Valmet 890.2/6WD, obtiveram o custo operacional de 35,83% para os custos fixos e 64,17% para os custos variáveis, e o custo de produção de US\$ 2,90 m<sup>3</sup> e uma produtividade de 40 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, diferindo dos dados deste trabalho, devido à capacidade de carga e porte da máquina.

Minette *et al.* (2004), chegaram aos valores US\$ 60,70 e US\$ 1,93 m<sup>3</sup> para o custo operacional e de produção médio, diferindo deste estudo devido ao modelo da máquina, Timberjack 1210B, com tração 6x6, motor de 172 hp, e devido a produtividade ter sido inferior.

#### 4 CONCLUSÕES

- A atividade de carregamento e descarregamento despendeu cerca de 70% do tempo para cada máquina.
- Os valores de eficiência operacional foram semelhantes.
- Os *forwarders* 2 e 3 ofereceram os menores custos operacionais.
- O *forwarder* 1 resultou em maior produtividade e menor custo de produção, apresentando o melhor desempenho para a atividade de extração de madeira.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE standards 2001: machinery, equipment and buildings: operating costs**. Iowa: Ames, 2001. 226p. (ASAE D497.5).

BANTEL, C. A. **Análise de extração de madeira de eucalipto com *forwarder* em floresta de primeira e segunda rotação**. Botucatu, 2006. 126 f. Dissertação (mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/90570>> Acesso em: 25 out. 2015.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. São Paulo, 635p, 2001.

CARMO, F. C. A. **Análise operacional da colheita florestal no sul da Bahia**. Jerônimo Monteiro: UFES, 2013. 50f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013. Disponível em: <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/index.php/nativa/article/view/2482>> Acesso em: 15 out. 2015.

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. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/25286/D%20-%20CECHIN,%20NIRLENE%20FERNANDES.pdf?sequence=1>> Acesso em: 5 out. 2015.

FONTES, J. M.; MACHADO, C. C. Manutenção mecânica. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. p.265 - 298.

GERASIMOV, Y., SENKIN, V., VÄÄTÄINEN, K. (2011). Productivity of single-grip harvesters in clear-cutting operations in the northern European part of Russia. **Eur. J. For. Res.** 131(3):647–654. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10342-011-0538-9#/page-1>> Acesso em: 12 out. 2015.

HIESL, P., BENJAMIN, J.G. (2013). Applicability of International Harvesting Equipment Productivity Studies in Maine, USA: A Literature Review. **Forests**, 4 (4), 898-921. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1999-4907/4/4/898>> Acesso em: 20 out. 2015.

JIROUŠEK, R., KLVAČ , R., SKOUPÝ, A. (2007). Productivity and costs of the mechanized cut-to length wood harvesting system in clear-felling operations. **J. For. Sci.** 53 (10): 476-482. Disponível em: <<http://agriculturejournals.cz/publicFiles/00421.pdf>> Acesso em: 23 out. 2015.

LEÃO, A. C.; MELO, A. O. **Características morfológicas, físico-químicas e mineralógicas dos solos da estação ecológica de Pau-Brasil**. *Agrotropica*, Porto Seguro, v. 2, n. 2, p. 105-112, 1990.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETI, L. J.; SOUZA, A.P.; LEITE, H. G.; Guedes, I. L. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo 'forwarder'. **Revista Árvore**, v. 38, p. 879-887, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622014000500012](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622014000500012)> Acesso em: 1 nov. 2015.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C. (Coord.) **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa, MG:Editora UFV, 2014. p 15-42.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Ciência do trabalho florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1988. 65p.

MALINOVSKI, R. A. **Otimização da distância de extração de madeira com Forwarder**. 2007. 109 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr79/cap01.pdf>> Acesso em: 10 nov. 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**, Curitiba, v.36, n.2, p.169-182, 2006. Disponível em: <[http://colheitademadeira.com.br/wpcontent/uploads/publicacoes/42/variaveis\\_que\\_influencia\\_m\\_nas\\_atividades\\_dos\\_maquinarios.pdf](http://colheitademadeira.com.br/wpcontent/uploads/publicacoes/42/variaveis_que_influencia_m_nas_atividades_dos_maquinarios.pdf)> Acesso em: 10 nov. 2015.

MINETTE, L. J.; MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; SILVA, K. R. Análise técnica e econômica do *forwarder* em três subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 91-97, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n1/a12v28n1>> Acesso em: 10 nov. 2015

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2015.

NOVAES, A. B.; SÃO JOSÉ, A. R. **Caracterização da região da mata de cipó no sudeste da Bahia**. In: NOVAES, A. B. *et al.* Reflorestamento no Brasil. Vitória da Conquista: UESB, 1992. p. 7-16.

NURMINEN, T.; KORPUNEN, H.; UUSITALO, J. (2006). Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. **Silva Fennica**. 40(2): 335–363. Disponível em: <<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf40/sf402335.pdf>> Acesso em: 18 nov. 2015.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E. 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, dez. 2009.

OLIVEIRA, R. J. **Avaliação técnica e econômica de cabos aéreos na colheita de pinus no município de Cerro Azul-PR**. 2009. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr91/cap11.pdf>> Acesso em: 18 nov. 2015.

SEIXAS, F. Extração florestal. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2007. p.97-145 .

SEIXAS, F.; CASTRO, G. P. Extração. In: MACHADO, C. C. (Editor). **Colheita florestal**. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. p. 106-161.

SILVA, M. L.; MIRANDA, G. M.; CORDEIRO, S.A.; LEITE, E. S. Custos. In: MACHADO, C. C. (Editor). **Colheita florestal**. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. p. 253-287.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de madeira em povoamento de eucalipto de primeiro corte. **Floresta**, v.40, n.4, p.711-720, 2010. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/floresta/article/viewArticle/20323>> Acesso em: 18 nov. 2015.

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, jul.-set., 2014. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/2990>> Acesso em: 12 dez. 2015.

TELES, M. T. A. **Evolução produtiva, perfil e percepção das condições de trabalho de operadores de máquinas de colheita florestal**. 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7008>> Acesso em: 20 dez. 2015.