

Modelagem técnica e de custos do *Harvester* no corte de madeira de eucalipto no sistema de toras curtasTechnical and costs modeling of a *Harvester* on cutting eucalyptus timber for the Cut-to-Length systemElton da Silva Leite¹, Haroldo Carlos Fernandes², Luciano José Minette³, Hélio Garcia Leite⁴ e Ilvânio Luiz Guedes⁵**Resumo**

A colheita florestal é afetada, principalmente, pelo volume individual por árvore (m³) e pela declividade do terreno, havendo a necessidade de conhecer em detalhes os efeitos destas variáveis e a partir de então planejar as atividades mecanizadas. Objetivou-se com o presente trabalho modelar a produtividade e custos do trator *harvester* em relação às variações de volume por árvore, declividade do terreno e a direção da operação de colheita em aclave e declive. Foram demarcadas 190 parcelas relacionadas aos fatores de declividade do terreno de até 36° e da produção de madeira da floresta variando de 0,132 a 0,423 m³ por árvore sem casca e a partir disto avaliou-se a produtividade e os custos nas operações do *harvester*. Os resultados demonstraram maior produtividade e menor custo de produção do *harvester* nas condições de menor declividade do terreno e maior volume por árvore. Quando a operação era realizada em declive observou-se queda na produtividade de 8,26% em comparação às operações realizadas em aclave. O volume por árvore apresentou maior influência na produtividade do *harvester* em terrenos com inclinação de até 15°, acima deste valor, a variável de maior efeito foi a declividade do terreno.

Palavras-chave: mecanização; colheita florestal; produtividade.

Abstract

Harvesting is affected mainly by the individual tree volume (m³) and the steepness of the terrain; therefore it is necessary to know in detail the effects of these variables and based on them, to plan mechanization activities. This study aimed at establishing a model of the *harvester* productivity and costs related to tree volume, land slope and direction of the uphill and downhill harvesting operation. 190 plots were determined related to land slope up to 36° and timber production ranging from 0.132 to 0.423 m³ per tree without bark. From this we evaluated the productivity and costs of the *harvester* operations. The results showed higher productivity and lower cost of *harvester* production under conditions of lower land slope and greater tree volume. When the operation was performed on downhill slope, there was a productivity decrease of 8.26% compared to uphill operations. The volume per tree had greater influence on the productivity on land where the slope was up to 15°. Above this value, the variable with the highest effect was the area's steepness.

Keywords: mechanization, timber harvesting, productivity.

INTRODUÇÃO

Em 2011 no Brasil, a área plantada de florestas de eucalipto, para fins comerciais, era de 4,9 milhões de hectares (ABRAF, 2012). Esse número poderia ser ainda maior se fosse aplicado máquinas em áreas com topografias inclinadas, já

que a mecanização reduz os custos em relação às atividades manuais ou semimecanizadas.

Entre os sistemas mais difundidos no Brasil destaca-se o de toras curtas (*cut-to-length*). Segundo Karjalainen et al. (2001), esse sistema é amplamente utilizado em muitos países, como Suécia (98%), Irlanda (95%) e Finlândia (91%).

¹Professor Adjunto. UFRB - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. Rua Rui Barbosa 710 - Campus Universitário - Cruz das Almas - BA - 44.380-000 - E-mail: elton@ufrb.edu.br

²Professor Associado. UFV - Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Engenharia Agrícola. Av. PH Holfs, s/n - Campus Universitário - Viçosa, MG - 36.570-000 - E-mail: haroldo@ufv.br

³Professor Adjunto. UFV - Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Engenharia Elétrica e de Produção. Av. PH Holfs, s/n - Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - E-mail: minette@ufv.br

⁴Professor Associado. UFV - Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Engenharia Florestal. Av. PH Holfs, s/n - Campus Universitário - Viçosa, MG - 36.570-000 - E-mail: hgleite@gmail.com

⁵Especialista. CENIBRA - Celulose Nipo-brasileira S/A - Departamento de Colheita e Logística. BR 381 - km 172 - Distrito de Perpétuo Socorro - Belo Oriente - MG - 35.196-000. E-mail: ilvanio.guedes@cenibra.com.br

De forma geral, este é constituído pelos tratores *harvester* e *forwarder*.

O colhedor *harvester* é um trator florestal definido como automotriz constituído de uma máquina base automotriz com rodado de pneus BPAF (baixa pressão e alta flutuação), esteiras metálicas ou mistas (pneus com esteiras), lança hidráulica para alcance das árvores que em conjunto com o cabeçote executam as operações de derrubada, desgalhamento, descascamento, traçamento e embandeiramento da madeira.

A operação com o *harvester* permitiu aumentar a produtividade, a segurança do trabalho e reduziu os custos operacionais tornando-os entre os mais competitivos no mundo (MAGALHÃES; KATZ, 2010). Contudo, esta máquina é influenciada por diversas variáveis ambientais e operacionais que podem até restringir seu uso, como: densidade do talhão, declividade do terreno, classe de solo, volume por árvore, operador, condições da máquina, manutenção e direção de operação.

O volume médio de madeira por árvore é um dos fatores decisivos na produtividade do *harvester* (JIROUŠEK et al., 2007). A menor produtividade desta máquina é obtida em ambientes de menor volume individual por árvore e em áreas com maior declividade (BURLA, 2008). As interações destas variáveis podem até inviabilizar seu uso, havendo a necessidade de conhecer em detalhes seus efeitos e a partir de então planejar as atividades mecanizadas.

Observando a importância do *harvester* na colheita mecanizada, objetivou-se com o este trabalho modelar a produtividade e os custos do trator *harvester* em relação às variações de volume por árvore, declividade do terreno e a direção da operação de colheita em aclave e declive.

MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

O estudo foi conduzido no Estado de Minas Gerais, na região do Rio Doce, em áreas plantadas de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*, tendo como característica genética a alta produtividade em regime de primeira rotação, com espaçamento de 3,00 m entre plantas por 3,33 m entre filas, com idade de 6,0 a 9,5 anos, com linhas de plantio direcionadas perpendiculares às curvas de nível "morro acima".

Na região de estudo predomina o solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo. O clima é classificado como Aw, clima tropical com estação seca

de inverno (KÖPPEN, 1948). A precipitação média anual de 1.350 mm, com temperatura média anual de 25,2°C e umidade relativa média do ar anual de 65,2% (CARNEIRO et al., 2003).

Foram demarcadas 190 parcelas, que quando a declividade do terreno variava de 0° a 36°, o volume por árvore de madeira sem casca, era de 0,1320 a 0,4255 m³. Cada parcela foi composta por 100 indivíduos, dispostas por quatro linhas com 25 árvores em cada. As parcelas foram inventariadas para determinação da altura, DAP e volume médio das árvores por parcela. Utilizou-se um clinômetro da marca Haglôf Sweden para aferir as declividades do terreno.

A transformação para volume de madeira sem casca foi de 13% do volume total do fuste, referente ao volume da casca e ponteira (diâmetro < 0,04 m) especificamente para o material genético.

Características do *harvester*

O *harvester* usado no trabalho foi o da marca John Deere, modelo 1270D, com motor John Deere 6081 e potência de 215 hp (160 kW), transmissão hidrostática, lança hidráulica com 10 m de comprimento, cabeçote *harvester* da marca John Deere, modelo 270, com capacidade de corte de 0,04 até 0,62 m de diâmetro (JOHN DEERE, 2012). O rodado é constituído de pneus BPAF com três eixos motrizes com chassi articulado e apresenta esteiras metálicas unindo os pares de pneus dianteiros. Os pneus traseiros foram lastrados com 50% de água em seu interior. O trator possuía 16 mil horas de uso, ao se iniciar o experimento.

Análise técnica

Empregou-se o sistema de colheita de toras curtas (*cut-to-length*), com traçamento no tamanho de 6 m. O período operacional era composto por três turnos diários de 8 horas cada, durante o período de março de 2010 a maio de 2011.

A máquina operou em uma faixa de corte com quatro linhas, sempre se deslocando sobre a segunda linha, onde foram depositadas as galhadas, com folhas e cascas das árvores. As toras foram posicionadas à esquerda e perpendicular ao sentido de deslocamento da máquina.

Foi registrado, operacionalmente, o tempo contínuo na operação e o retorno da máquina ao início da parcela, em dois sentidos de deslocamento, dividindo-os em duas direções de trabalho distintas, sendo: "aclave", referente ao sentido de deslocamento do corte das árvores na parcela, realizado morro acima (subindo); e "de-

clive", referente ao corte das árvores na parcela, realizado no sentido morro abaixo (descendo).

Nas parcelas com declividades acima de 25°, foi utilizado um trator agrícola de pneus, marca Massey Ferguson, modelo 297, motor diesel, marca Perkins, modelo 1006-6, com seis cilindros, potência nominal de 120 cv (88 kW), que acionava com a utilização da tomada de potência (TDP) um guincho da marca TMO modelo G, com capacidade para guinchamento de 33 toneladas, com cabo de aço de 5/8", resistência à tração entre 1.770-2.160 N mm⁻¹, carga mínima de ruptura 18.700 kgf (183,38 kN), usado para auxiliar no avanço do *harvester*, em virtude da patinagem dos rodados motrizes.

O engate do cabo do guincho no *harvester* foi realizado pela frente no corte em aclave e pela traseira em declive. Com auxílio de uma célula de carga, determinou-se a potência máxima requerida do cabo de aço, conforme a equação 1.

$$Pr = Fm Vm (1)$$

em que: Pr = potência de tração requerida (kW); Fm = força de tração na barra de tração (kN); e Vm = velocidade de deslocamento (m s⁻¹).

Produtividade operacional

A determinação da produtividade operacional foi obtida em metros cúbicos de madeira sem casca por horas efetivamente trabalhadas, mediante inventário realizado em cada parcela dividido pelo tempo das atividades de campo.

Análise econômica

A análise de custos do corte de madeira foi obtida pelo somatório do custo fixo e do custo variável e expressos em dólares por hora efetiva de trabalho (US\$ h⁻¹), segundo a metodologia usada por Leite (2012), adaptada de American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2001), equações de 2 a 13 (Tabela 1). Utilizou a taxa de câmbio, Dólar (R\$ 1,802), Euro (R\$ 2,290) e Libra (R\$ 2,772), cotados em 11 de janeiro de 2012.

Análises estatísticas

Os dados foram inicialmente submetidos a ajustes de modelos de superfície de resposta, selecionando os de fácil aplicação, de maior credibilidade e de maior representação com as operações de campo. O modelo ajustado proporcionou a construção de gráficos de contorno.

As observações discrepantes (*outliers*) foram excluídas com o auxílio do teste de Bonferroni (WEISBERG, 2005). Foi verificado o

pressuposto de normalidade e homogeneidade do modelo ajustado pelo teste Shapiro-Wilk (ROYSTON, 1982). As análises foram processadas utilizando o *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 apresenta a estatística descritiva dos valores de volume por árvore e declividade do terreno. Na Tabela 3 pode-se constatar o comportamento das unidades amostrais em relação às classes de declividades. O incremento médio anual (IMA) variou de 31,5 a 48,9 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

Estudo de tempo efetivo de operação

Visualizam-se na Figura 1 os resultados do monitoramento do tempo efetivo de operação, apresentados em hora, minutos e segundos para cada parcela. Observa-se tendência a maiores tempos gastos em operações com o colhedor *harvester* em maiores declividades do terreno e quando há maior volume por árvore.

Segundo relatos dos operadores, a declividade influencia do campo visual e ao desconforto do operador devido a restrição de angulação do acento na cabine, que acaba interferindo também na visibilidade da operação e estabilidade da máquina, um problema frequentemente observado em operações realizadas em terrenos com declividade maior que 25°.

O tempo de engate do cabo no *harvester* foi, em média, de 223 segundos, para as operações em aclave, já para as operações em declive, gastou-se um tempo menor, em média, de 96 segundos, tempos somados a operação do *harvester*. Esta diferença ocorre em virtude do posicionamento da máquina. Em declive o trator foi colocado próximo à estrada durante o corte, sem a necessidade de percorrer a parcela para fixação do cabo, situação vista quando a máquina se encontrava em aclave.

Modelagem técnica

Aclave

A Figura 2 apresenta o comportamento da produtividade do *harvester* no sentido de corte em aclave em função da declividade do terreno e do volume por árvore sem casca. As linhas tracejadas representam os intervalos de confiança a 95%. Os resultados demonstram que a produtividade é influenciada pela declividade do terreno e volume por árvore.

Tabela 1. Equações para determinação do custo horário do *harvester*
Table 1. Equations for determining the hourly cost of the *harvester*

Custos fixos	$\text{Depreciação} = \left(\frac{Va - Vr}{N He} \right) \quad (2)$
	$\text{Juros, seguros e impostos} = \frac{(IMA i)}{He} \rightarrow IMA = \frac{(Va - Vr)(N + 1)}{(2N)} + Vr \quad (3)$
	$\text{Abrigo} = \frac{(Va Fa)}{He} \quad (4)$
	$\text{Taxas administrativas} = \frac{Va Fad}{He} \quad (5)$
Custos variáveis	$\text{Combustível} = C = Pu cc \quad (6)$
	$\text{Lubrificantes} = Il C \quad (6)$
	$\text{Óleo hidráulico} = OH = lo C \quad (8)$
	$\text{Pneus} = P = \frac{Npe Vpe}{Hpe} \quad (9)$
	$\text{Manutenção e reparos} = \frac{\left[Va FR_1 \left(\frac{h + He}{1000} \right)^{FR_2} \right] - \left[Va FR_1 \left(\frac{h}{1000} \right)^{FR_2} \right]}{He} \quad (10)$
	$\text{Mão de obra} = \left(\frac{S E No M}{He} \right) \quad (11)$
	$\text{Transporte de pessoal} = Tp = \left(\frac{dd ck da}{HeNe} \right) \quad (12)$
$\text{Transporte de maquinário} = It Tp \quad (13)$	

Va = valor de aquisição da máquina (US\$ 582.685,90); Vr = valor residual, 10% Va (US\$); He = horas efetivas de uso anual (4.711 h); N = vida útil (5 anos); i = taxa de juros (12%); E.O = eficiência operacional (80%); Fa = fator de abrigo (0,75%) Fad = fator administrativo (1%); Pu = preço do combustível no campo (US\$ 1,82 L⁻¹); cc = consumo de combustível (16 L h⁻¹); Il = índice de lubrificantes (20%); lo = índice de óleo (20%); Vpe = preço do pneu (US\$ 4.994,45); Hpe = vida útil do pneu (12.500 h); Npe = número de pneus (6); FR₁ = fator 1 (0,003); FR₂ = fator 2 (2); h = hora que deseja calcular (h); S = salário mensal do operador (US\$ 721,42); No = número de operadores (3); E = encargos (1,74); M = meses no ano (12); dd = deslocamento diários (216 km); ck = custo por quilômetro (US\$ 0,4 km⁻¹); da = dias trabalhados no ano (270); Ne = número de operadores por veículo de transporte (15); It = índice de transporte de maquinário (70%). Fonte: adaptado de American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2001).

Tabela 2. Análise descritiva das unidades experimentais, em função do volume de madeira sem casca por árvore e a declividade do terreno

Table 2. Descriptive analysis of experimental units, related to the volume of wood per tree without bark and slope

Análise Descritiva	Volume por árvore sem casca (m ³)	Declividade do terreno (°)
Média	0,274	18,13
Mínimo	0,132	0,00
Máximo	0,426	36,00
Erro padrão	0,004	0,59
Desvio padrão	0,050	8,13
Variância	0,003	66,03
Coefficiente de variação	18,285	44,82

Tabela 3. Amostragem das unidades experimentais, em função das faixas de declividade e do volume por árvore

Table 3. Sampling of experimental units, related to the slope range and wood volume per tree

Quantidade das Unidades Amostras	Faixa de Declividade (°)	Volume por árvore sem casca (m ³)		
		Média	Mínimo	Máximo
29	0,0 a 9,99	0,288	0,206	0,359
35	10,00 a 14,99	0,282	0,209	0,366
34	15,00 a 19,99	0,246	0,164	0,372
50	20,00 a 24,99	0,262	0,161	0,388
22	25,00 a 29,99	0,279	0,132	0,407
20	30,00 a 36,00	0,325	0,191	0,426

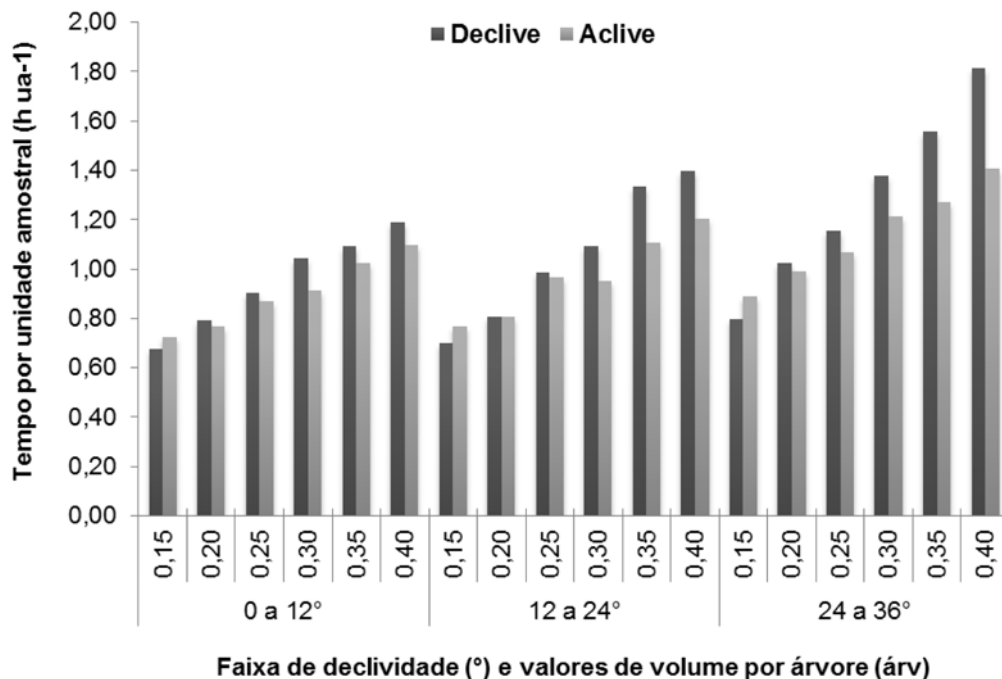


Figura 1. Tempos médios para derrubada e processamento do *harvester* em função da declividade e do volume por árvore por unidade experimental.

Figure 1. Mean times for felling and *harvester* processing related to the slope and volume per tree per experimental unit.

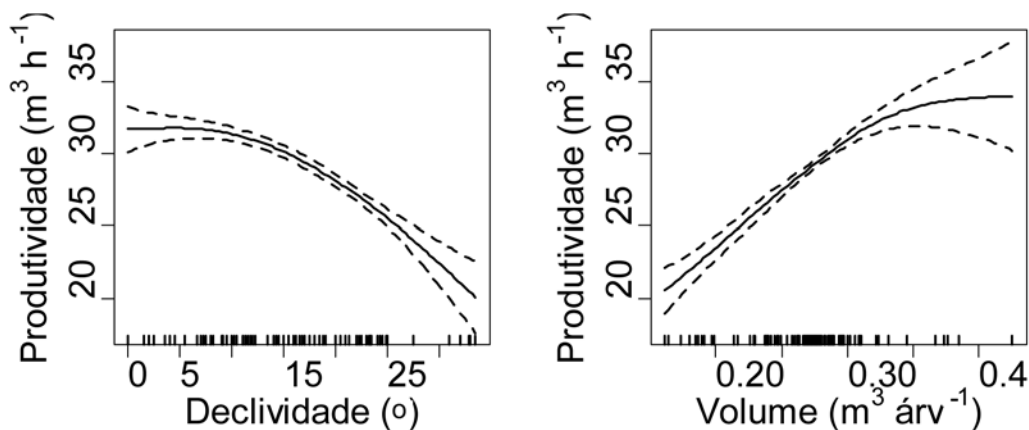


Figura 2. Comportamento da produtividade do *harvester* no sentido de corte em active, em função da declividade e do volume de madeira por árvore sem casca.

Figure 2. Behavior of the productivity of uphill *harvester* cutting, related to the slope and the without-bark wood volume per tree.

A Figura 3 apresenta os resultados da modelagem da produtividade do *harvester*, em metros cúbicos, de madeira sem casca por árvore, para a direção de corte em active.

Na Figura 3 mostra que a produtividade do *harvester* aumenta com a redução da declividade do terreno e também com o aumento do volume por árvore sem a casca, fatos que foram relatados por Burla (2008), Gerasimov et al. (2011), Jiroušek et al. (2007), Martins et al. (2009).

A declividade do terreno de até 15° apresenta uma pequena influencia na produtividade da máquina. A variável mais significativa é o volume por árvore em operação de active (equação 14). Na Tabela 4 apresenta-se a significância dos parâmetros da modelagem. Apresenta na Figura 4 a produtividade observada e estimada e o histograma dos resíduos.

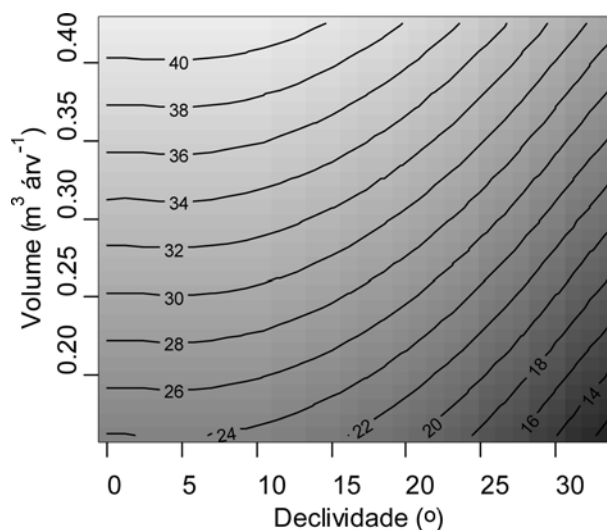


Figura 3. Produtividade do *harvester* no sentido de operação em active, em função da declividade do terreno e do volume por árvore sem casca.

Figure 3. *Harvester* productivity operating in the uphill direction, related to the slope and the without-bark volume per tree.

$$Pha = 0,062 - 0,015d^{2***} + 0,420d^* - 103,6v^2 + 143,3v^{***} - 0,970dv \quad (14)$$

R² ajustado = 0,8166; p < 0,001

em que Pha = produtividade do *harvester* em aclave (m³ h⁻¹); d = declividade (°); e v = volume por árvore sem casca (m³).

Declive

A Figura 5 visualiza-se para os intervalos de confiança a 95%, que a produtividade diminui com o aumento da declividade do terreno e au-

menta com o aumento do volume por árvore sem casca.

A equação 15 apresenta os resultados da modelagem da produtividade do *harvester*, em metros cúbicos por hora, de madeira sem casca, na direção de corte em declive, em função da declividade do terreno e do volume por árvore, visualizado no gráfico de contorno Figura 6. Na Tabela 5 apresenta a significância dos parâmetros da modelagem. Na Figura 7 verifica-se a produtividade observada e estimada e o histograma dos resíduos.

Tabela 4. Significância dos parâmetros da modelagem da produtividade do *harvester* operando em aclave
Table 4. Significance of parameters of productivity modeling of the *harvester* operating uphill

Parâmetros	Estimativa	Erro Padrão	t Calculado	p-Valor
Intercepto	0,062	4,315	0,014	0,9886
d ²	-0,015	3,497	-4,362	0,0000***
d	0,420	0,212	1,195	0,0497*
v ²	-103,600	65,960	-1,571	0,1191
v	143,300	29,145	4,821	0,0000***
d × v	-0,970	0,803	-1,207	0,2300

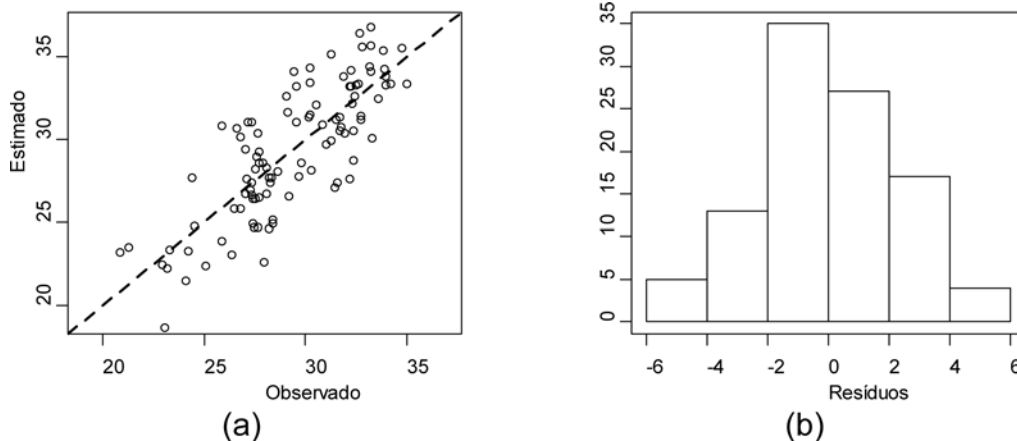


Figura 4. Produtividade observada do *harvester* versus produtividade estimada na operação em aclave. Linha tracejada possui inclinação de 45° (a). Histograma dos resíduos referentes ao modelo ajustado para declive (b).
Figure 4. Relationship of observed productivity of the *harvester* versus estimated productivity in uphill operation. The dashed line has a slope of 45 ° (a). Histogram of residues referring to the uphill slope adjusted model (b).

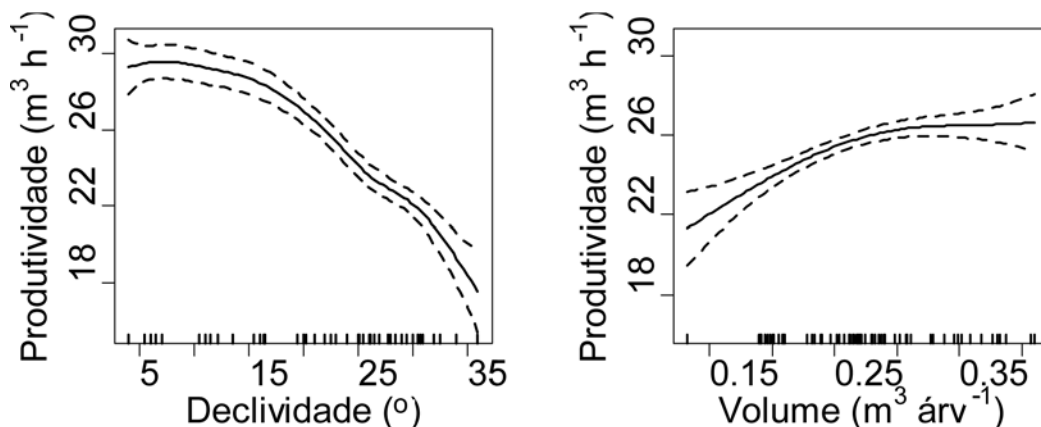


Figura 5. Comportamento da produtividade do *harvester* no sentido de corte em declive, em função da declividade e do volume de madeira por árvore sem casca.
Figure 5. Productivity behavior of the *harvester* cutting in the downhill direction, depending on the slope and the without-bark wood volume per tree.

$$\text{Phd} = 12,78^* - 0,013d^{2***} + 0,187d - 140,6v^{2**} + 100,7^{***}v - 0,160dv \quad (15)$$

R² ajustado = 0,8624; p < 0,001

em que Phd = produtividade do *harvester* em declive (m³ h⁻¹); d = declividade (°); e v = volume por árvore sem casca (m³).

Na Figura 6 verifica-se em relação à variável de declividade que ocorreu diminuição da produtividade mais acentuada a partir dos 10°, evidenciando o maior efeito variável na direção de derrubada em declive em comparação ao acrive. Durante a realização das operações foi possível observar e constatar com os operadores, que um dos principais fatores que influenciaram estes resultados discrepantes, foi o fator do campo visual do operador, pois, no sentido de colheita em acrive, a visão geral do operador foi melhorada substancialmente, obtendo uma visão clara das operações, sem necessidade de adotar posturas inadequadas de trabalho, proporcionando, desta forma, um maior controle operacional das atividades.

Nas operações realizadas no sentido de corte em declive, em algumas vezes, os operadores adotavam-se posturas impróprias em virtude do nivelamento deficiente da cabine, não atendendo as maiores declividades. A modelagem apre-

senta que a queda na produtividade na operação do *harvester* foi, em média, de 8,26% menor que o sentido de acrive.

O *harvester* da marca John Deere, modelo 1270D, operando em uma floresta de eucalipto, com um volume médio de 0,32 m³ por árvore e declividade do terreno de 25 % (11,25°), Martins et al. (2009) obtiveram produtividade média de 30,71 m³ h⁻¹. Os resultados demonstram

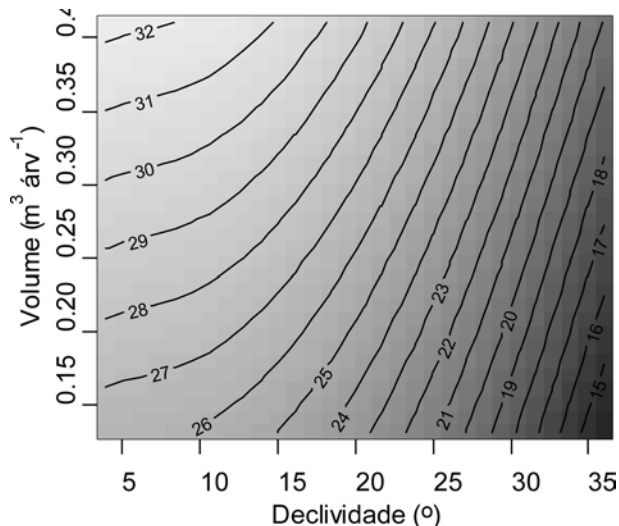


Figura 6. Produtividade do *harvester* no sentido de operação em declive, em função da declividade do terreno e do volume por árvore sem casca.

Figure 6. *Harvester* productivity operating downhill, related to slope and the without-bark tree volume.

Tabela 5. Significância dos parâmetros da modelagem da produtividade do *harvester* operando em declive
Table 5. Significance of parameters of *harvester* productivity modeling operating downhill

Parâmetros	Estimativa	Erro Padrão	t Calculado	p-Valor
Intercepto	12,780	5,065	2,523	0,014*
d ²	-0,013	0,0029	-4,501	0,000***
D	0,187	0,209	0,895	0,375
v ²	-140,600	48,320	-2,909	0,005**
V	100,700	27,020	3,727	0,000***
d × v	-0,160	0,560	-0,285	0,776

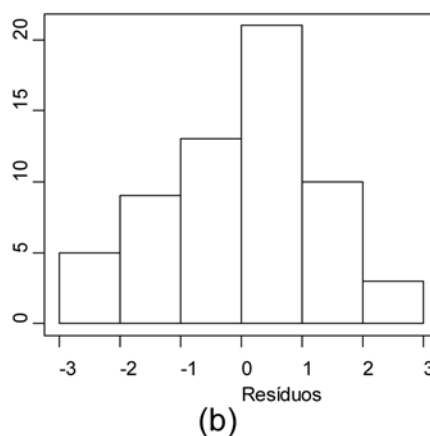
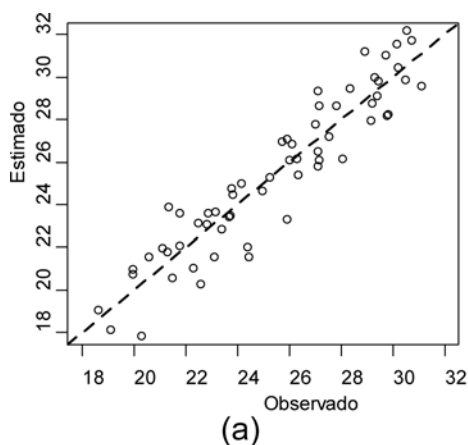


Figura 7. Produtividade observada do *harvester* versus produtividade estimada na operação em declive. Linha tracejada possui inclinação de 45° (a). Histograma dos resíduos referentes ao modelo ajustado para declive (b).
Figure 7. Relationship of observed productivity of the *harvester* versus estimated productivity when operating downhill. The dashed line has a slope of 45° (a). Histogram of residues for the slope adjusted model (b).

similaridade com os deste trabalho, em que foi obtida produtividade média de $32,27 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, justificado pelas condições similares de operação.

Avaliando a operação do colhedor da marca Caterpillar, modelo CAT 320 *Short Tail*, com rodados de esteiras metálicas, em uma floresta de pinus com terreno de declividade média 6,8% ($3,06^\circ$) e volume médio de $0,42 \text{ m}^3$, Lopes et al. (2007), obtiveram produtividade média de $32,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sendo que nesta pesquisa obteve a produtividade média de $36,87 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Na operação com os *harvesters* Komatsu, modelos PC200 e PC 228, com rodado de esteiras metálicas, Paula (2011) obteve produtividade média de 18,57 e $19,88 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, já neste estudo a produtividade foi de 26,59 e $24,50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ sem casca para a colheita no sentido de alicive e declive, nas mesmas condições da autora. Esta maior produtividade ocorreu em função das diferentes características das máquinas, uma vez que o *harvester* John Deere, modelo 1270D, demonstra ser mais ágil nas operações. Isto se deve, principalmente, à maior potência da máquina, à locomoção por pneus, a cabine com nivelamento e sincronismo com a árvore de abate, refletindo diretamente em ganhos operacionais.

Na colheita de eucaliptos na Irlanda em florestais com volume de $0,1$ a $1,0 \text{ m}^3$, em declividade máxima de 17° , que, por meio de modelagem de dados, Jiroušek et al. (2007) obtiveram a pro-

ductividade de $24,50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ para árvore de volume de $0,25 \text{ m}^3$, e nesse estudo encontrou-se produtividade maior para as condições brasileiras. Este fato pode ter ocorrido em virtude dos fatores de experiência dos operadores, do tipo de máquina e, ou, em virtude do material genético, da facilidade no descascamento, dos galhos de menores dimensões e do espaçamento da floresta.

Avaliando a colheita florestal de pinus, com o uso do colhedor *harvester* John Deere, modelo 1270D, em diversas regiões do norte da Rússia, com volume médio de madeira de $0,31 \text{ m}^3$, Gerasimov et al. (2011) obtiveram o comportamento do modelo da produtividade em função do volume de madeira por árvore sendo: ($P = 69,638 * V^{0,595}$), que em comparação com a avaliação aqui realizada obtiveram produtividades semelhantes. Entretanto, deve-se salientar, principalmente, que a máquina operou apenas em locais planos e não desempenhou a operação de descascamento do fuste da árvore como foi realizado neste trabalho.

Modelagem econômica

O custo operacional do *harvester* John Deere 1270D, foi de US\$ $145,36 \text{ h}^{-1}$. Os custos operacionais reais de US\$ $33,92 \text{ h}^{-1}$ (23%) de custos fixos e US\$ $111,44 \text{ h}^{-1}$ (77%) de custos variáveis. Os valores dos componentes dos custos podem ser observados na Figura 8.

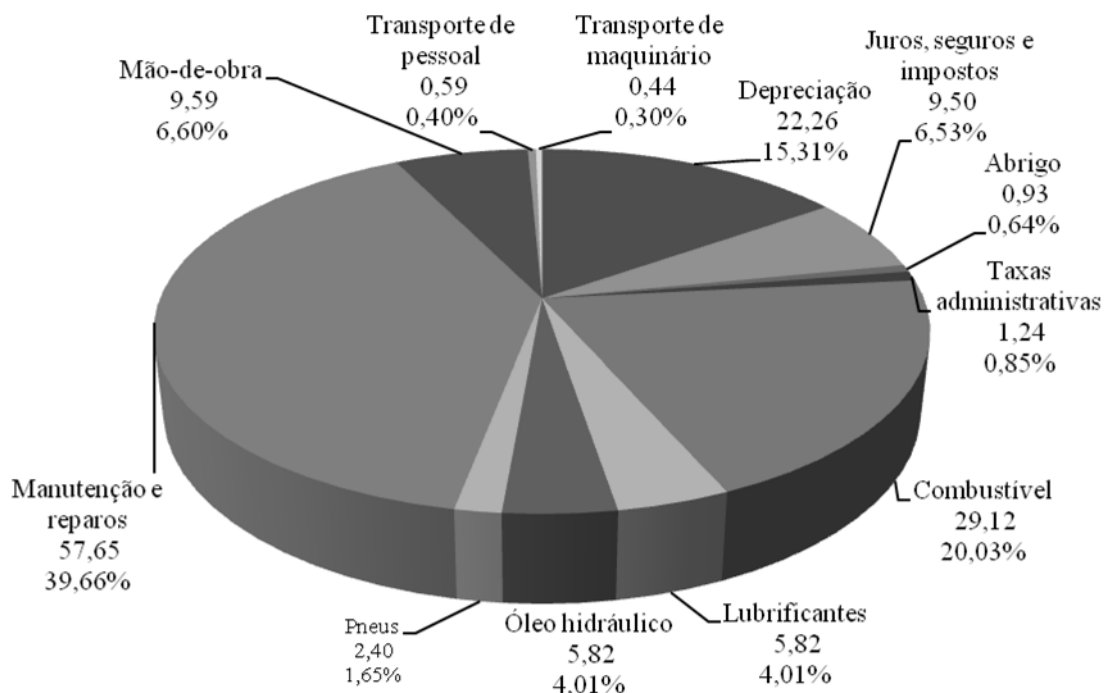


Figura 8. Componentes do custo operacional do *harvester* John Deere, modelo 1270D, em dólares por hora efetiva trabalhada e porcentagem.

Figure 8. Components of the operating cost of the *harvester* John Deere, model 1270D, in dollars per hour effectively worked and percentage.

O custo de manutenção e os reparos foram da ordem de 40% tendo, assim, maior representatividade. Em seguida, destacou-se o custo de combustível com 20% e a depreciação com 15%, respectivamente.

Os resultados foram similares aos encontrados por Burla (2008), US\$ 130,29 h⁻¹, testando o *harvester* John Deere, modelo 1270D, sendo US\$ 23,53 h⁻¹ (18 %) de custos fixos e US\$ 106,76 h⁻¹ (82 %) de custos variáveis. A diferença dos custos fixos com os encontrados na presente pesquisa foi porque o autor não considerou os custos de seguros, impostos, abrigo e taxas administrativas, que as apresas florestais possuem.

Os resultados deste trabalho diferem dos encontrados por Martins et al. (2009), em que obtiveram um custo operacional na ordem de US\$ 113,28 h⁻¹. O mesmo caso ocorreu com o *harvester* Caterpillar, modelo CAT 320 Short Tail e cabeçote da marca LogMax, avaliado por Lopes et al. (2007) que obtiveram os custos operacionais de US\$ 115,72 h⁻¹. Resultado justificados pelo menor valor das máquinas e por não considerarem os custos de abrigo, seguros, impostos, taxas administrativas e transporte de pessoal e maquinário.

As equações 16 e 17 representam os modelos dos custos de produção na operação em active e declive. Nas Figuras 9 e 10 apresentam os resultados da modelagem do custo de produção do *harvester*.

$$CPha = 11,79 + 0,00306d^2 + 0,03592d + 66,56v^2 - 44,48v - 0,2545dv \quad (16)$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 0,8461; p < 0,001$$

$$CPhd = 9,24 + 0,00349d^2 - 0,03493d + 44,26v^2 - 27,52v - 0,07297dv \quad (17)$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 0,8664; p < 0,001$$

em que CPha = custo de produção do *harvester* em active (US\$ m⁻³); CPhd = custo de produção do *harvester* em declive (US\$ m⁻³); d = declividade do terreno (°); e v = volume por árvore (m³).

Apresenta nas Figuras 9 e 10 que o custo de produção aumenta com o aumento da declividade do terreno e com a redução do volume por árvore. Em média, para as mesmas condições, os custos de produção em active são menores do que os custos em declive, em virtude de maior produtividade da máquina quando opera em active.

Os custos operacionais são similares aos encontrados por Jiroušek et al. (2007), que obtive-

ram um custo operacional de € 116,83 m⁻³ (US\$ 148,47 h⁻¹). Entretanto, os custos produção são menores, € 4,53 m⁻³ (US\$ 5,76 m⁻³), que os resultados deste trabalho, justificado pela menor produtividade do *harvester* dos autores.

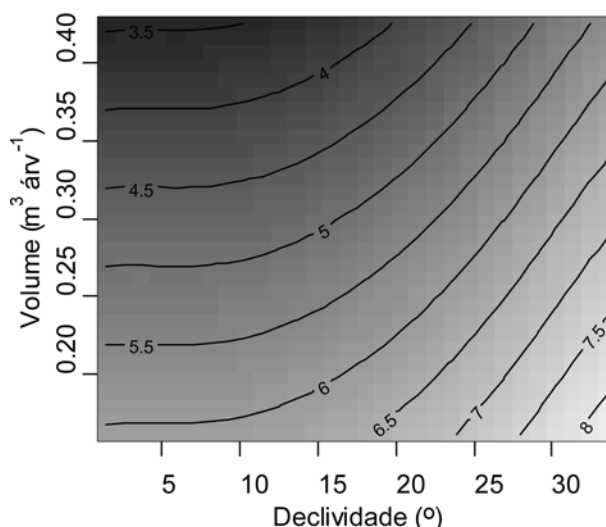


Figura 9. Custo de produção do *harvester* em relação ao sentido de operação em active, em função da declividade do terreno e do volume por árvore sem casca.

Figure 9. *Harvester* production cost in uphill operation, related to the slope and the without-bark tree volume.

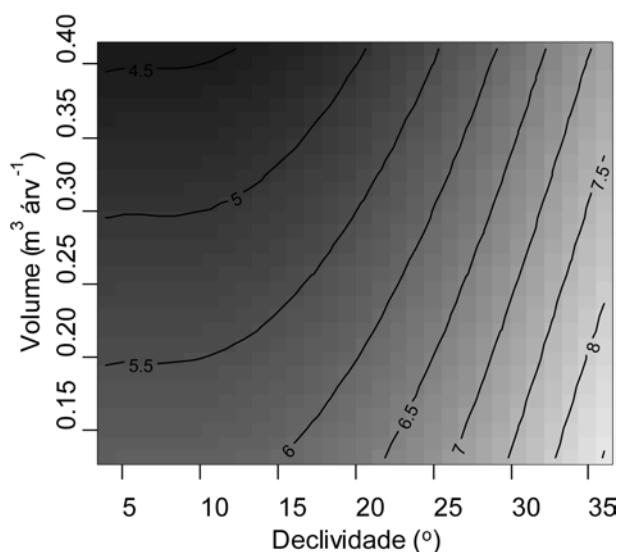


Figura 10. Custo de produção do *harvester* em relação ao sentido de operação em declive, em função da declividade do terreno e do volume por árvore sem casca.

Figure 10. *Harvester* production cost related to the direction of operation and slope and to the without-bark tree volume.

Os custos de produção encontrados foram superiores aos encontrados por Paula (2011), R\$ 8,45 (US\$ 4,80) e R\$ 8,49 (US\$ 4,83) por m³ para os *harvesters* Komatsu, modelos PC200 e PC 228. A mesma situação ocorreu para o *harvester* Caterpillar CAT 320 Short Tail, avaliado por Lopes et al. (2007), que obtiveram um custo

de produção de US\$ 3,67 m⁻³, explicados pelo menor custo operacional.

A adoção do guincho permitiu o deslocamento do harvester em declividade acima de 25° requerendo 42,43 kW de potência máxima de tração, verificado pela maior declividade e velocidade nas operações. O custo operacional do guincho e do trator foi de US\$ 45,83 h⁻¹ (R\$ 82,59 h⁻¹), que devem ser somados ao custo operacional do harvester, quando operar nestas condições. Com intuito de reduzir estes custos, recomenda-se adaptar o guincho no *harvester*.

CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram maior produtividade e menor custo de produção do *harvester* nas condições de menor declividade do terreno e maior volume por árvore.

A operação em aclave proporcionou maiores produtividades em comparação às operações realizadas em declive.

O volume por árvore apresentou maior influência na produtividade do *harvester* em terrenos com inclinação de até 15°, acima deste valor, a variável de maior efeito foi a declividade do terreno.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) e à Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA) pelo apoio financeiro e oportunidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. *Anuário estatístico da ABRAF 2012, ano-base 2011*. Brasília: ABRAF, 2012. 120 p. Disponível em: < <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf> >. Acesso em: 30 Maio 2012.

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. *ASAE standards 2001: machinery, equipment and buildings: operating costs*. Iowa: Ames, 2001. p. 164-226.

BURLA, E. R. *Avaliação técnica e econômica do harvester na colheita e processamento de madeira em diferentes condições de declividade e produtividade florestal*. 2008. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

CARNEIRO, L. C.; RIBEIRO, A.; MARTINEZ, C. A.; LEITE, F. P. *Coefficiente de desacoplamento em plantios jovens de eucalipto*. São José dos Campos, SP: INPE, 2003. 6 p.

GERASIMOV, Y.; SENKIN, V.; VAATAINEN, K. Productivity of single-grip *harvesters* in clear-cutting operations in the northern European part of Russia. *European Journal of Forest Research.*, Berlin, v. 131, n. 3, p. 647 – 654, 2011.

JIROUŠEK, R.; KLVA, R.; SKOUPÝ, A. Productivity and costs of the mechanized cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations. *Journal of Forest Science*, Praga, v. 53, n. 10, p. 476-482, 2007.

JOHN DEERE. *Informações técnicas das máquinas de colheita florestal*. 2012. Disponível em: < http://www.deere.com/pt_BR/forestry/products/ >. Acesso em: 12 jun. 2012.

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.

KÖPPEN, W. *Climatologia com un estudio de los climas de la tierra*. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

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

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, v. 37, n. 3, 2007.

MAGALHÃES, P. A. D.; KATZ, I. Estudo da viabilidade econômica da mecanização do processo de colheita florestal com *harvester* em uma indústria madeireira. *Tékhne Lógos*, Botucatu, v. 2, n. 1, p. 72- 91. 2010.

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*, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 253-263, 2009.

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

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical, 2012. Computing. Disponível em: < <http://www.R-project.org> >. Acesso em: 1 jan. 2012.

ROYSTON, P. An extension of Shapiro and Wilk's W test for normality to large samples. *Applied Statistics*, London, v. 31, n. 2, p. 115-124, 1982.

WEISBERG, S. **Applied linear regression.** 3. ed. Colorado: Willey, 2005. 352 p. (Wiley Series in Probability and Statistics)

Recebido em 11/09/2012

Aceito para publicação em 08/04/2013

