

Avaliação técnica e econômica do
Forwarder na extração de toras de pinusTechnical and economical evaluation of the
Forwarder in the extraction of the pine logsDiego de Oliveira¹, Eduardo da Silva Lopes² e Nilton César Fiedler³**Resumo**

Este trabalho teve por objetivo avaliar técnica e economicamente o *forwarder* na atividade de extração de toras de pinus com diferentes dimensões ou sortimentos. 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, custo de produção e rendimento energético. Os resultados mostraram que os elementos parciais carregamento e descarregamento de toras consumiram a maior parte do tempo do ciclo operacional, com 55,4% do tempo total. O elevado tempo consumido na extração das toras de maior diâmetro, representado pelos sortimentos de classe 2 e 3, ocorreu devido ao elevado tempo de carregamento, ocasionado pela maior distância entre as pilhas de toras nesta classe de sortimento. A produtividade média foi de 31,3 m³cc he⁻¹, o custo de produção médio de R\$ 6,84 m⁻³cc e o rendimento energético médio de 2,04 g kW⁻¹m³cc, na distância média de extração de 120,7 metros.

Palavras-Chave: Extração florestal, Produtividade, Custos, Mecanização

Abstract

This aim of this work was to evaluate technically and economically a *forwarder* in pine log extraction activity in different classes of assortment. The technique analysis included motion and time study, productivity, efficiency operational and mechanical availability. The economic analysis included the determination of the operational cost, production cost and energy consumption rate. The results showed that the time allocated to loading and unloading logs consumed most of the operational time with 55.4% of total time. The high time consumed in log extraction of the bigger diameter logs, represented by class 2 and 3 logs, was caused by the largest distances between the log piles in these assortment classes. The average productivity was 31,3 m³cc he⁻¹; the average production cost was R\$ 6,84 m⁻³cc and average energy consumption rate was 2,04 g kW⁻¹m³cc, with an average extraction distance of 120,7 meters.

Keywords: Wood extraction, Productivity, Costs, Mechanization

INTRODUÇÃO

No setor florestal, a colheita da madeira é a etapa mais importante do ponto de vista técnico e econômico, devido à complexidade das operações e à elevada participação no custo final do produto (DUARTE, 1994). De acordo com Arce *et al.* (2004), representa a operação final de um ciclo de produção florestal, onde são obtidos os produtos mais valiosos, constituindo um dos fatores que determinam a rentabilidade florestal.

Segundo Bramucci e Seixas (2002), a partir da década de 90, houve uma intensificação no pro-

cesso de mecanização das atividades de colheita da madeira, ocasionado pelos elevados custos da mão-de-obra, necessidade de melhorias nas condições de trabalho, necessidade de um fornecimento regular e cada vez maior de matéria-prima, e principalmente, pela necessidade de redução dos custos de produção. Por isso, o aperfeiçoamento das técnicas para uma colheita da madeira mais racional e eficiente torna-se cada vez mais necessário (MINETTE *et al.*, 2004).

A extração florestal é a etapa mais complexa da colheita da madeira, sendo influenciada por diversos fatores, como o nível de experiên-

¹Bolsista de Iniciação Científica da Fundação Araucária e graduando do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste – PR 153, KM 7 – Caixa Postal 21 - Riozinho - Irati, PR – 84500-000 – E-mail: diegotst2007@yahoo.com.br

²Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste - PR 153, KM 7 – Caixa Postal 21 – Riozinho – Irati, PR – 84500-000 – E-mail: eslopes@irati.unicentro.br

³Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo – Alto Universitário - Alegre, ES – 29500-000 – E-mail: fiedler@pq.cnpq.br

cia e habilidade do operador, as condições do povoamento, a distância de extração, as características das máquinas etc. A desconsideração de algum desses fatores poderá resultar em problemas operacionais e ineficiência da operação, acarretando em elevados custos de produção (CONWAY, 1976; SALMERON, 1980).

Dentre as máquinas mais utilizadas na extração florestal está o *forwarder*, que é um trator florestal autocarregável articulado, com tração 4x4, 6x6 ou 8x8, possuindo uma plataforma de carga e uma grua hidráulica, rodados de pneus ou esteiras e sendo responsável pela retirada da madeira do interior do talhão na forma de "baldeio" (MACHADO, 2007). Segundo Seixas (2007), a velocidade não é uma característica essencial desse trator, pois a maior parte de seu tempo é empregada no carregamento e descarregamento, destacando-se em razão de superar as condições adversas encontradas no campo.

Moreira *et al.* (2004) estudando diversos sistemas de colheita mecanizados, mostraram que a produtividade dos povoamentos apresentava influência direta sobre a eficiência de várias máquinas, sendo maior naquelas que atuavam em povoamentos de maior produtividade volumétrica por unidade de área. Já Malinowski *et al.* (2006) estudando o *forwarder*, verificou que a produtividade da máquina é afetada pelo sortimento da madeira, em razão da necessidade de ordenamento das toras no estaleiro, de possíveis viagens da máquina, bem como devido à não ocupação total da sua área útil de carga da garra, conforme as dimensões dos sortimentos.

Santos e Machado (1995) estudando a operação do *forwarder*, concluíram que o tempo de carregamento foi o elemento que consumiu a maior parte do tempo do ciclo operacional, sendo que a sua produtividade cresceu à medida que o volume por árvore aumentou e a distância de extração diminuiu. Os mesmos autores concluíram ainda que o tempo de carregamento foi o único elemento do ciclo operacional afetado pelo aumento no volume por árvore.

Segundo Rezende *et al.*, (1997), para manter a competitividade do setor florestal é necessário que as atividades da colheita da madeira sejam otimizadas, por meio de melhorias na qualidade do produto e serviço, redução das perdas, melhorias na eficiência das máquinas, maximização da produtividade e minimização dos custos de produção. Portanto, devido à importância e complexidade da extração florestal, torna-se necessária a realização de estudos para

conhecimento da real capacidade produtiva e as variáveis que interferem no rendimento das máquinas, com vistas à busca de maior eficiência operacional (SILVA *et al.*, 2003).

O objetivo desse trabalho foi realizar uma análise técnica e econômica do trator florestal autocarregável *forwarder* na extração de toras de pinus com diferentes classes de sortimentos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado nas áreas de colheita da madeira da Explotec Madeiras, empresa prestadora de serviços localizada no município de Campo do Tenente, PR. A área de estudo estava situada a 25° 58' 40" de latitude e a 49° 40' 58" de longitude, com 802 m de altitude. O clima característico da região é o subtropical úmido com precipitação média anual de 1.400 mm, distribuídos irregularmente, temperatura média anual de 17 °C e umidade relativa média do ar de 80%. O solo predominante das áreas estudadas era argiloso-siltoso, com relevo médio a ondulado.

Os povoamentos florestais da empresa eram constituídos pela espécie *Pinus taeda*, com espaçamento de 2,5 X 2,5 m. O regime de manejo era o corte raso aos 15 anos de idade, cuja madeira produzida era utilizada para produção de celulose, serrarias e laminação.

O sistema de colheita da madeira utilizado pela empresa era o de "toras curtas" (*cut-to-length*). As operações de derrubada e processamento das árvores eram realizadas pelo trator florestal derrubador-processador harvester, que empilhava as toras separadamente por classe de sortimento. Em seguida, o trator florestal autocarregável *forwarder* realizava a extração, na forma de "baldeio", das toras do interior do talhão para a beira da estrada por classe de sortimento, que eram destinadas para serrarias e laminação. Após 15 a 20 dias, era realizada a extração das toras destinadas para a produção de celulose, sendo realizada neste período devido à necessidade de secagem prévia da madeira. Por fim, o carregamento das toras por classe de sortimento sobre os veículos de transporte principal eram realizados por tratores agrícolas equipados com gruas hidráulicas.

O *forwarder* estudado era da marca Valmet, modelo 890.3, composto por sistema rodante de pneus, com tração 6x6, motor Sisu Diesel 74 CTA com potência nominal de 230 hp. A capacidade de carga era de 18 toneladas e a grua de modelo CRF 14, possuindo um alcance máximo de 8,5 metros, conforme pode ser visto na Figura 1.



Figura 1. Forwarder avaliado no trabalho.
Figure 1. Forwarder evaluated in this work.

Inicialmente foi realizado um estudo de tempos e movimentos piloto da máquina na operação de extração, buscando-se definir o número mínimo de observações necessárias em cada classe de sortimento, de modo a proporcionar um erro de amostragem máximo de 5%, com uso da seguinte expressão:

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

em que: n = número mínimo de ciclos necessários; t = valor de t , para o nível de probabilidade desejado e $(n - 1)$ graus de liberdade; CV = coeficiente de variação, em porcentagem; e E = erro admissível, em porcentagem.

Os dados foram coletados durante o mês de julho de 2008, no turno de trabalho das 6 às 14 horas. Durante o estudo foram coletados dados de 128 horas de operação da máquina, correspondendo um total de 204 ciclos operacionais, que atendeu plenamente à amostragem mínima estabelecida pelo estudo piloto.

Análise técnica

A análise técnica do *forwarder* na extração florestal por classe de sortimento baseou-se nos parâmetros: estudo de tempos e movimentos, produtividade, eficiência operacional e disponibilidade mecânica.

Foi realizado o estudo de tempos e movimentos da operação, por meio do método de tempos contínuos, conforme metodologia descrita por Barnes (1977). Foram utilizados cronômetro sexagesimal, prancheta e formulários específicos. Os dados do ciclo operacional foram registrados na forma sexagesimal e convertidos para a forma centesimal.

O ciclo operacional do *forwarder* avaliado era composto pelos seguintes elementos parciais: VV- viagem vazio: iniciava com o deslocamen-

to da máquina da beira do talhão e terminava com o posicionamento desta próxima à primeira pilha de toras a ser carregada na classe de sortimento específico; CR- carregamento: iniciava com o deslocamento da grua de carregamento após o posicionamento da máquina, e finalizava, quando a caixa de carga da máquina estava completa com a grua posicionada sobre as toras, incluindo os tempos de deslocamentos entre as pilhas de toras que situavam-se próximas entre si; VC- viagem carregado: iniciava com o posicionamento da grua sobre a caixa de carga e finalizava com o posicionamento da máquina próxima à pilha de toras na beira do talhão com início da movimentação da grua; DC- descarregamento: iniciava com a movimentação da grua para realizar o descarregamento das toras e finalizava com o posicionamento da grua sobre a caixa de carga da máquina vazia, incluindo também as manobras necessárias para início do próximo ciclo; e INT- interrupções operacionais e não-operacionais: registrados todos os tempos em que a máquina não estava realizando as atividades anteriormente mencionadas, classificadas em checagem da máquina, manutenção preventiva e corretiva, abastecimento, aguardando peças, deslocamento interno (no interior do talhão) e deslocamento externo (entre talhões), refeições, lanches, supervisão e necessidades pessoais.

A produtividade do *forwarder* em cada classe de sortimento foi determinada em metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho, conforme a seguinte expressão:

$$PR = \frac{nt \cdot vt}{te} \quad (2)$$

em que: Pr = Produtividade do *forwarder* em cada classe de sortimento ($m^3cc\ he^{-1}$); nt = número total de toras descarregadas; e VT = volume individual médio da tora (m^3).

Para a determinação do volume médio extraído pelo *forwarder* em cada ciclo operacional, foi realizada, inicialmente, a cubagem de um grupo de toras dentro de cada classe de sortimento, obtendo-se o volume médio das toras. Em seguida, este volume médio foi multiplicado pelo número de ciclos da garra realizada pela máquina por ocasião do descarregamento, que por sua vez, foi multiplicado pelo número de toras dentro da garra em cada ciclo operacional.

O parâmetro eficiência operacional é a porcentagem do tempo efetivamente trabalhado,

em relação ao tempo programado para o trabalho, sendo determinada pela seguinte equação:

$$E.O. = \frac{te}{(te + tp)} \cdot 100 \quad (3)$$

em que: *E.O.* = eficiência operacional (%); *te* = tempo de trabalho efetivo (horas); e *tp* = tempo de paradas (horas).

O parâmetro disponibilidade mecânica corresponde à percentagem do tempo de trabalho programado em que a máquina estava mecanicamente apta a realizar o trabalho produtivo, sendo determinada pela seguinte expressão:

$$DM = \frac{He}{(He + Tm)} \cdot 100 \quad (4)$$

em que: *DM* = grau de disponibilidade mecânica (%); *He* = tempo de trabalho efetivo (horas); e *Tm* = tempo de permanência em manutenção (horas).

Análise econômica

A análise econômica do *forwarder* nas diferentes classes de sortimento de toras baseou-se nos seguintes parâmetros: custo operacional, custo de produção e rendimento energético.

O custo operacional foi determinado pelo método contábil, conforme metodologia proposta por Lopes (2001), com valores reais e estimados. As informações necessárias para o cálculo foram obtidas por meio da coleta de dados de campo e planilha de custos obtidos na empresa. O custo operacional englobou os custos fixos (depreciação, juros e seguros), os custos variáveis (combustíveis, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, pneus, manutenção e transporte de pessoal), os custos de pessoal (salário e encargos sociais do operador) e os custos de administração.

O custo de produção foi obtido pela divisão dos custos operacionais (R\$ he^{-1}) pela produtividade ($m^3cc\ he^{-1}$) da máquina dentro de cada classe de sortimento.

Obteve-se o rendimento energético pela razão entre o consumo específico de combustível

($g.kW^{-1}he$) e a produtividade com casca ($m^3cc\ he^{-1}$), dentro de casa classe de sortimento, sendo expresso em $g.kW^{-1}m^3cc$.

Foram contemplados diversos fatores de influência na extração com o *forwarder* durante a realização do estudo. Foi utilizado o mesmo operador, enquanto o relevo da área era predominantemente plano a ondulado, situado na classe de 0 a 10% de declividade.

Já a distância de extração (*DE*) em cada classe de sortimento foi aquela percorrida pelo *forwarder* desde a margem da estrada até o ponto médio no interior do talhão, onde parte da caixa de carga estava preenchida, tendo sido estratificada em três níveis: $DE \leq 100\ m$; $100 < DE \leq 200\ m$ e $DE > 200\ m$.

Os sortimentos das toras variaram conforme a utilização final pela indústria da própria empresa e pelo mercado consumidor. A Tabela 1 apresenta as classes de sortimentos estudados com as respectivas dimensões e volume médio das toras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise técnica

Estudo de tempos e movimentos

A constituição média dos tempos dos elementos do ciclo operacional do *forwarder* é mostrada na Figura 2. O tempo total utilizado para a execução do trabalho foi de 128 horas, correspondendo um total de 204 ciclos operacionais.

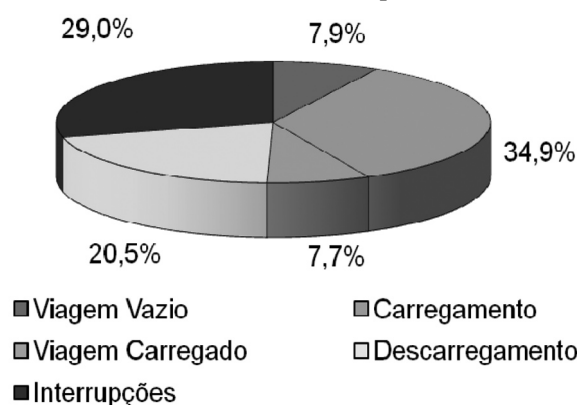


Figura 2. Composição percentual do ciclo operacional do *forwarder*.

Figure 2. Percent composition of the operational cycle of the *forwarder*.

Tabela 1. Características das classes de sortimentos de toras avaliados no estudo.

Table 1. Characteristics of the logs assortments classes evaluated in this work.

Classe de Sortimento	Comprimento (m)	Diâmetro (cm)	Vol. Médio (m³)	Uso final
1	2,30	18 ≤ d < 23	0,0914	Serraria
2	2,10	d ≥ 23	0,1496	Serraria
3	2,60	d ≥ 23	0,1767	Serraria
4	1,85	18 ≤ d < 23	0,0731	Serraria
5	2,40	d ≤ 18	0,0483	Celulose
6	2,60	18 ≤ d < 23	0,1072	Serraria

Como pode ser observado, os elementos que consumiram a maior parte do tempo total do ciclo operacional durante o estudo foram o carregamento e o descarregamento das toras, com 34,9% e 20,5%, respectivamente, representando juntos, em média, 78,0% do tempo total efetivamente trabalhado. Tal resultado é semelhante ao obtido por Minette *et al.* (2004), que encontrou um tempo de carregamento e descarregamento das toras de 80,0% para o *forwarder* em diferentes subsistemas de colheita da madeira. O resultado também confirmou a afirmação de Seixas (2007), que diz que as operações de carregamento e descarregamento interferem diretamente no ciclo operacional do *forwarder*, pois a máquina passa a maior parte do ciclo de forma passiva realizando o carregamento ou descarregamento da madeira.

Este resultado mostra a necessidade do estabelecimento de medidas para a otimização dessas operações, como o maior treinamento dos operadores, uso de guas hidráulicas de maior alcance, garras apropriadas às características da madeira e planejamento mais eficiente das ope-

rações, como a formação de pilhas de toras de volumes que se aproximam à capacidade da garra ou múltiplos dessa capacidade. Tais medidas são importantes e poderão propiciar na redução dos tempos de carregamento e descarregamento, e conseqüentemente, no aumento da eficiência operacional da máquina na extração florestal.

Os tempos dos elementos viagem vazio e viagem carregado consumiram, em média, 7,9% e 7,7% do tempo total do ciclo operacional, respectivamente, sendo influenciados pela distância média de extração percorrida pela máquina.

A constituição média dos elementos do ciclo operacional do *forwarder* por classe de sortimento, em minutos, é mostrada na Figura 3. O tempo total médio foi de 27,1 minutos para uma distância média de extração de 120,5 metros. O elevado tempo do ciclo operacional da máquina no sortimento 5 (25,6 minutos), apesar da menor distância de extração (79,0 metros), deveu-se principalmente ao elevado tempo da operação de descarregamento das toras, sendo 18,1% superior aos tempos dos demais sortimentos.

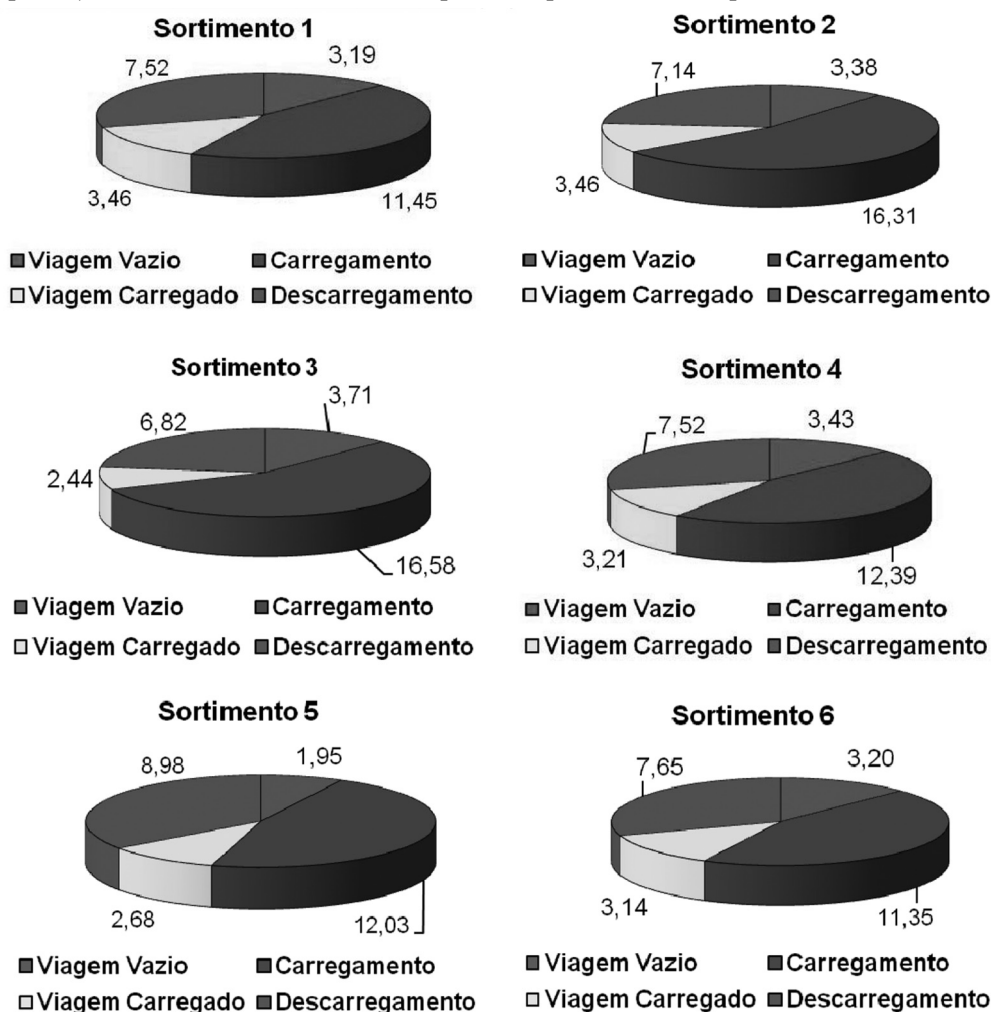


Figura 3. Composição, em minutos do ciclo operacional do *forwarder* na extração de diferentes classes de sortimentos de toras.

Figure 3. Percent composition in minutes of the operational cycle of the *forwarder* in log extraction with different log assortments classes.

O tempo total do ciclo operacional do *forwarder* foi maior nos sortimentos 2 e 3, com 30,3 e 29,5 minutos, respectivamente. Esse maior tempo foi ocasionado pelo menor número de toras carregadas por ciclo operacional da grua, devendo ressaltar que a garra não foi utilizada na capacidade máxima quando do carregamento das toras de maior volume individual.

Silva e Fenner (2009) estudando o desempenho do *forwarder* na extração de *Eucalyptus grandis* demonstraram não haver associação entre os tempos de carregamento e descarregamento com o número de toras que constituiu a carga de cada ciclo operacional. Já Minette *et al.* (2007) consideram que os fatores que mais influenciam essas etapas do ciclo operacional são o comprimento das toras, o peso específico da madeira, o fator de empilhamento, a capacidade da grua e o volume do feixe, dentre outros.

Este estudo foi realizado em povoamento de baixo volume, onde a proporção de toras de maiores dimensões era menor, ocasionando, conseqüentemente, pilhas com menores volumes, maior fator de empilhamento e mais dispersos pela área. Tal situação levou à necessidade de um maior número de deslocamentos do *forwarder* entre as pilhas de toras, acarretando em maior tempo para realizar o carregamento e completar a caixa de carga da máquina, com tempo adicional de 2,5 e 3,2 minutos, respectivamente (Figura 4).

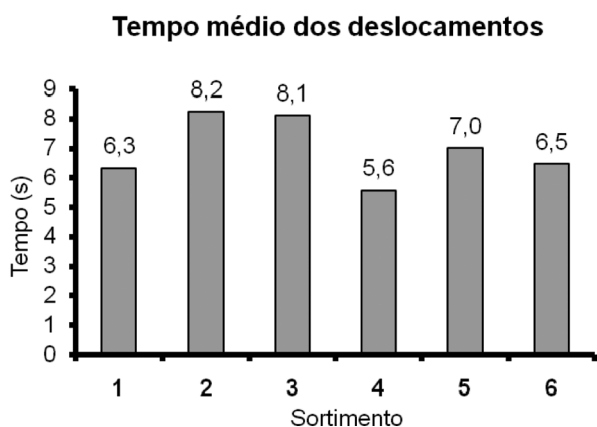


Figura 4. Tempo, em segundos, dos deslocamentos do *forwarder* entre as pilhas de toras durante a operação de carregamento.

Figura 4. Time, in seconds, of movement of the *forwarder* between log piles during the loading operation.

Portanto, este estudo mostra que, além dos fatores já mencionados por outros fatores, os sortimentos das toras e a dispersão das pilhas no interior do talhão são variáveis que influenciam diretamente o desempenho do *forwarder*, e

conseqüentemente, a produtividade e os custos da extração florestal.

Os elementos viagem carregado e viagem vazio, que são afetados pela distância média de extração, apresentaram valores semelhantes entre as classes de sortimentos, com exceção no sortimento 5, explicado pela menor distância média de extração. O elemento descarregamento apresentou um menor tempo, com média de 2,16 minutos, podendo ser explicado pelo maior volume individual das toras dentro desse sortimento.

A Figura 5 apresenta o percentual do tempo de interrupções operacionais e não-operacionais, que foi em média de 29,0%, acarretando em uma baixa eficiência operacional média (71,0%). As interrupções operacionais mais observadas foram: manutenção corretiva, manutenção preventiva, abastecimento, checagem da máquina e deslocamentos da máquina para abastecimento, manutenção e entre talhões, enquanto as interrupções não-operacionais observadas foram refeições, lanches, chuva e outros.

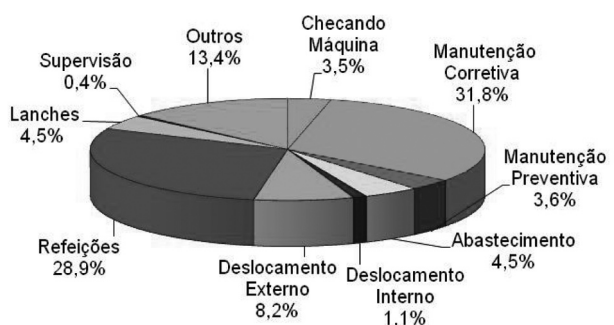


Figura 5. Composição percentual das interrupções do *forwarder* na extração de toras.

Figure 5. Percent composition of the interruptions of the *forwarder* movement in log extraction.

Como pode ser observado, o tempo necessário para a realização da manutenção corretiva contribuiu com 31,8% do tempo total das interrupções, ocasionado principalmente pelas falhas constantes no sistema *Maxiforwarder* da máquina. Este era um sistema computacional que otimiza várias funções da máquina, facilitando a eficiência da operação e os relatórios de produção. Os deslocamentos contribuíram com 9,3% das interrupções, correspondendo aos deslocamentos do *forwarder* do interior do talhão para o local de abastecimento ou para a realização da manutenção, bem como as constantes mudanças de talhão observadas para a realização da extração das toras destinadas à celulose que eram realizadas em períodos posteriores. Já as interrupções para a realização do abastecimento e manutenção preventiva contribuíram com

8,1% das interrupções. Apesar de serem realizadas no intervalo entre as trocas de turnos de trabalho, essas atividades acabavam se entendendo e comprometendo a jornada de trabalho.

As interrupções não-operacionais (refeições, lanches e necessidades pessoais) foram responsáveis por 46,9% do tempo total das interrupções. Os tempos consumidos com as refeições foram computados nas interrupções, pois essas eram realizadas pelos operadores em momentos diferentes e com duração inferior à determinada pela empresa, onde os operadores procuravam concluir o ciclo operacional para fazer as suas refeições.

Produtividade, eficiência operacional e disponibilidade mecânica

A Figura 6 mostra a produtividade média do *forwarder* nas diferentes classes de sortimentos de toras, em metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho. Como pode ser visto, em todos os sortimentos estudados, a produtividade decresceu com o aumento da distância, mostrando a influência dessa variável na produtividade e no custo da extração florestal.

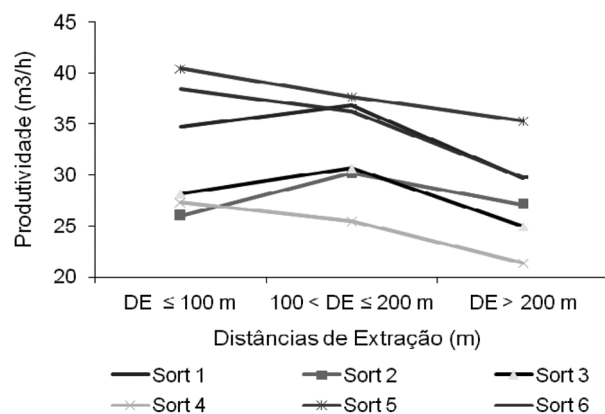


Figura 6. Produtividade média do forwarder nas diferentes classes de sortimentos de toras e distâncias de extração.

Figure 6. Average productivity of the forwarder in the different extraction distances and log assortments classes.

As maiores produtividades médias obtidas, foram de 39,0 e 34,8 m³cc he⁻¹, nos sortimentos 5 e 6, respectivamente. Tal fato pode ser explicado pelo maior comprimento das toras nestes sortimentos, que permitiu a otimização da caixa de carga da máquina, bem como pelo menor deslocamento da máquina entre pilhas de toras e menor distância de extração. Os resultados obtidos neste estudo estão próximos ao encontrado por Minette *et al.* (2004), que obteve produtividades do *forwarder* de 35,5 e 40,2 m³cc he⁻¹ em diferentes subsistemas de colheita da madeira. Por outro lado, a menor produ-

tividade média obtida foi no sortimento 4 (24,7 m³cc he⁻¹), explicada pelo menor comprimento das toras nesta classe de sortimento, que acarretou em espaços vazios e subutilização na caixa de carga da máquina.

Apesar dos elementos carregamento e descarregamento interferirem diretamente no ciclo operacional do *forwarder*, deve-se ressaltar que, devido à baixa velocidade desenvolvida pela máquina, a distância de extração é muito importante e deve ser considerada nos estudos visando a otimização da operação de extração.

As variações de produtividade do *forwarder* observadas nas diferentes classes de distâncias de extração podem ser explicadas pela maior ou menor concentração de pilhas de toras de determinada classe de sortimento em dada classe de distância. Tal situação pode ser vista em relação ao sortimento 5, onde a distância de extração não teve grande influência na produtividade. Apesar dos sortimentos 2 e 3 possuírem toras de maior volume individual, a produtividade do *forwarder* foi menor nessas classes de sortimentos, explicada pelo menor volume das pilhas e por estarem mais dispersas ao longo do ramal de extração, ocasionando, conseqüentemente, elevado número de deslocamentos da máquina e elevado tempo de carregamento. É importante ainda ressaltar que, a máquina passava até 19,0% do tempo total do carregamento deslocando-se entre as pilhas de toras, comprometendo, portanto, a sua produtividade.

A eficiência operacional média da máquina obtida no estudo foi de 70,0%, sendo que os principais fatores que influenciaram negativamente foram as interrupções mecânicas, como falhas no funcionamento do sistema de controle da máquina (*Maxiforwarder*). As interrupções mecânicas somaram aproximadamente 14 horas, correspondendo a 11,0% do total de horas disponíveis para operação, traduzindo-se em 89,0% de disponibilidade mecânica.

Custo de produção e rendimento energético

A partir de uma taxa de juros de 12,0% ao ano e uma depreciação de 80,0% da máquina, obteve-se um custo médio total por hora efetivamente trabalhada de R\$ 209,13 he⁻¹. Como mostrado na Figura 7, o custo fixo (depreciação, juros e seguros) corresponderam juntos a 42,8% dos custos operacionais totais, sendo considerados significativos e necessários que sejam computados quando a máquina não esti-

ver em operação. Dentre os custos variáveis, o item manutenção e reparos corresponderam a 27,3%, seguido pelos combustíveis com 12,4%, enquanto os custos administrativos responderam por 8,9% dos custos operacionais totais.

A Tabela 2 mostra os resultados dos custos de produção e rendimento energético do *forwarder* na extração das toras em cada classe de sortimento. O maior custo de produção (R\$ 8,48 m³cc) e o menor rendimento energético da máquina (2,52 g kW⁻¹ m³cc) ocorreu na extração do sortimento 4, ocasionado pela baixa produtividade do *forwarder* nesta situação. Os menores custos de produção foram na extração dos sortimentos 5 e 6, com R\$ 5,37 e R\$ 6,00 m³cc, respectivamente, sendo as situações de maior produtividade explicada, principalmente, pela menor distância de extração (79 e 115 m).

Tabela 2. Custo de produção e rendimento energético médio do *forwarder*.

Table 2. Average production cost and energy consumption rate of the *forwarder*.

Sortimento	Produtividade (m ³ cc he ⁻¹)	Custo de Produção (R\$ m ³ cc)	Rend. Energético (g kW ⁻¹ m ³ cc)
1	33,7	6,20	1,85
2	27,7	7,55	2,25
3	27,9	7,50	2,23
4	24,7	8,48	2,52
5	39,0	5,37	1,60
6	34,8	6,00	1,79
Média	31,3	6,84	2,04

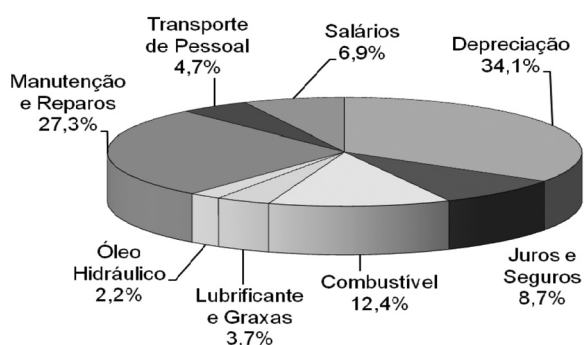


Figura 7. Distribuição percentual dos custos operacionais do *forwarder*.

Figura 7. Percent distribution of the operational costs of the *forwarder*.

CONCLUSÕES

O elevado tempo consumido nas etapas de carregamento e descarregamento mostrou a necessidade do estabelecimento de medidas visando à otimização do ciclo operacional do *forwarder*.

A extração por classe de sortimento e a dispersão das pilhas de toras no interior do

talhão influenciou negativamente no desempenho e acarretou na baixa eficiência operacional do *forwarder*.

As maiores produtividades e os menores custos de produção foram obtidos nos sortimentos 5 e 6, explicado pelos maiores comprimentos das toras que permitiu otimizar o compartimento de carga do *forwarder*.

O agrupamento das toras em algumas classes para realização da extração e a sua posterior separação na beira da estrada deve ser avaliada, possibilitando com isso obter uma maior eficiência da extração florestal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação Araucária na concessão da bolsa de Iniciação Científica e à empresa pela cessão da área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BARNES, R.M. *Estudos de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho*. 6.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 635p.

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

CONWAY, S. *Logging practices: principles of timber harvesting systems*. São Francisco: Miller Freeman, 1976. 416p.

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

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

MACHADO, C.C. *Colheita florestal*. 2.ed. Viçosa: UFV, 2007. 501p.

- 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.
- MINETTE, L.J.; SOUZA, A.P.; FIEDLER, N.C. Carregamento e descarregamento. In: MACHADO, C.C. (Ed.) **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2007. p.129-144.
- 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 em florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.1, p.91-297, 2004.
- MOREIRA, F.M.T.; SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C.; MINETTI, L.J.; SILVA, K.R. Avaliação operacional e econômica do "*Feller-Buncher*" em dois sistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.2, p.199-205, 2004.
- REZENDE, J.L.; FIEDLER, N.C.; MELLO, J.M.; SOUZA, A.P. **Análise técnica e de custos de métodos de colheita e transporte florestal**. Lavras: UFPA, 1997. 50p. (Boletim Agropecuário, 22)
- SALMERON, A. A mecanização da exploração florestal. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.88, p.1-11, 1980.
- SANTOS, S.L.M.; MACHADO, C.C. Análise técnica-econômica do processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.3, p.346-357, 1995.
- SEIXAS, F. Extração florestal. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2007. p.97-145 .
- SILVA, C.B.; SANT'ANNA, C.M.; MINETTE, L.J. Avaliação ergonômica do "*feller-buncher*" utilizado na colheita de eucalipto. **Cerne**, Lavras, v.9, n.1, p.109-118, 2003.
- SILVA, J.R.; FENNER, P.T. Desempenho de trator florestal transportador autocarregável ("*forwarder*"). **Silva Lusitana**, Lisboa, v.17, n.1, p.97-108, 2009.

Recebido em 26/02/2009

Aceito para publicação em 29/10/2009

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF)

Armando José Storni Santiago (International Paper do Brasil Ltda.) - Presidente

Germano Aguiar Vieira (Masisa Brasil Empreendimentos Florestais Ltda.) - Vice-Presidente

Empresas Associadas Mantenedoras / Partners

- » Arauco Florestal Arapoti S.A.
- » Arborgen Tecnologia Florestal Ltda
- » ArcelorMittal BioEnergia Ltda
- » Caxuana S/A Reflorestamento
- » Celulose Nipo-Brasileira S/A - CENIBRA
- » Consórcio Paulista de Papel e Celulose
- » Copener Florestal Ltda
- » Duratex S/A
- » Eucatex S/A Indústria e Comércio
- » Fibria Celulose S/A
- » Forestal Oriental
- » International Paper do Brasil Ltda
- » Jari Celulose, Papel e Embalagens S.A.
- » Klabin S/A
- » Lwarcel Celulose Ltda
- » Masisa do Brasil Ltda
- » Nobrecel S/A Celulose e Papel
- » Ramires Reflorestamentos Ltda
- » Rigesa Celulose, Papel e Embalagens Ltda
- » Stora Enso Florestal RS Ltda
- » Suzano Papel e Celulose S.A.
- » Veracel Celulose S/A
- » V&M Florestal Ltda