

PRODUTIVIDADE E CUSTOS DE UM SISTEMA DE COLHEITA DE ÁRVORES INTEIRAS

Eduardo Braga da Rocha¹, Nilton César Fiedler², Rafael Tonetto Alves³,
Eduardo da Silva Lopes⁴, Pompeu Paes Guimarães³, Leonardo Peroni⁵

(recebido: 11 de agosto de 2008; aceito: 31 de julho de 2009)

RESUMO: Neste trabalho, objetivou-se avaliar a produtividade e os custos de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, no norte do Estado de Goiás, visando a subsidiar o planejamento das operações e o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. O sistema de colheita florestal era constituído por um feller-buncher, um skidder, uma garra traçadora e um carregador florestal. Na análise técnica foi determinada a disponibilidade mecânica, a eficiência operacional e a produtividade efetiva. A análise econômica englobou os parâmetros de custo operacional e de produção. A menor eficiência operacional (35,6%), menor disponibilidade mecânica (47,1%) e maior custo (R\$ 10,32/m³) foram obtidos com o feller-buncher, decorrentes, principalmente, do elevado número de interrupções ocorridas. Pela análise de regressão, a produtividade do *feller buncher* foi influenciada pelo volume do feixe, a do *skidder* pela distância de arraste, a da garra traçadora pelo volume de madeira processada e a do carregador florestal pelo volume de toras carregadas.

Palavras-chave: Colheita florestal, mecanização, eficiência operacional.

PRODUCTIVITY AND COSTS OF A FULL TREE HARVESTING SYSTEM

ABSTRACT: This study evaluated a full tree harvesting system operationally and economically of a eucalyptus plantation, envisaging the improvement of the production system. The study was developed in a forest company located in Goiás State. The wood harvesting system was composed by feller buncher, skidder, grapple saw and forest loader. The technical analysis consisted in motion and time study for the continuous method, which the operations were divided in working cycle, productivity determination, mechanical availability and operational efficiency. The economic analysis included the operational parameters cost and production cost. The results indicated that the equipment with lower operational efficiency (35.6%) and lower mechanical availability (47.1%) occurred in the feller buncher, due to interruptions occurred in working cycle. The regression analysis indicated that the feller buncher productivity was influenced by wood volume, while the skidder by distance, the grapple saw by wood volume and forest loader by wood volume.

Key words: Timber harvesting, mechanization, operational efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A modernização das operações de colheita florestal por meio da mecanização intensificou a partir da década de 90, em função da redução da dependência de mão-de-obra, necessidade de melhorias nas condições de trabalho, redução do custo final da madeira posta fábrica e da necessidade, por parte das indústrias, de um fornecimento regular e maior de madeira (BRAMUCCI & SEIXAS, 2002). No entanto, vários autores citam que a colheita e o transporte florestal têm uma grande importância nas empresas, em função dos elevados custos, chegando a

representar 50% ou mais dos custos totais da madeira posta na indústria (BAGIO & STOHR, 1978; MACHADO, 2002; REZENDE et al., 1983).

Em razão desse elevado custo, Trindade et al. (2000) afirmaram que a aquisição de máquinas e equipamentos florestais deve ser precedida de um detalhado estudo sobre os custos e rendimentos envolvidos, além de identificar a infraestrutura necessária de campo, a assistência técnica por parte dos fabricantes e fornecedores e a oferta de treinamento adequado. Bramucci & Seixas (2002) afirmam que a utilização de sistemas mecanizados para a colheita da madeira é afetada por diversas variáveis (clima,

¹Engenheiro Florestal, mestre em Ciência florestal – Departamento de Engenharia Florestal/EFL – Universidade de Brasília/UnB – Cx. P. 04357 – 70910-900 – Brasília, DF – edubraga@unb.br

²Engenheiro Florestal, Dr., Professor Associado do Departamento de Engenharia Florestal – Centro de Ciências Agrárias/CCA – Universidade Federal do Espírito Santo/UFES – Cx. P. 16 – 29500-000 – Alegre, ES – fiedler@pq.cnpq.br

³Engenheiro Florestal, Pós-graduando do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias/CCA – Universidade Federal do Espírito Santo/UFES – Cx. P. 16 – 29500-000 – Alegre, ES – rafatonetto@gmail.com, pompeupaes@yahoo.com.br

⁴Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal – Universidade Estadual do Centro-Oeste/Unicentro – PR 153, Km 7 – 84500-000 – Irati, PR – eslopes@unicentro.br

⁵Graduando do Curso de Engenharia Florestal – Departamento de Engenharia Florestal – Centro de Ciências Agrárias/CCA – Universidade Federal do Espírito Santo/UFES – 29500-000 – Alegre, ES – leonardo.peroni@yahoo.com.br

declividade do terreno, mão-de-obra, manutenção da máquina, tipo de solo, estradas) que interferem na capacidade operacional dos equipamentos e, conseqüentemente, no custo final da madeira. As estimativas de produtividade e custos baseadas em dados fornecidos pelos fabricantes ou em trabalhos realizados em outros países devem ser vistas com ressalvas, pois podem não refletir a realidade, já que muitas máquinas, equipamentos e ferramentas são de origem estrangeira e seus comandos exigem muito mais dos operadores brasileiros, em função de suas características antropométricas serem diferentes dos estrangeiros, para os quais os equipamentos e ferramentas foram desenhados.

Dessa forma, para otimizar o sistema produtivo e diminuir os custos de produção das máquinas, torna-se necessária a realização de estudos que visem a conhecer as reais capacidades produtivas e as possíveis variáveis que interferem no rendimento, com vistas ao desenvolvimento de técnicas que melhorem o desempenho operacional (SILVA et al., 2003).

Conduziu-se esta pesquisa, com o objetivo de avaliar a produtividade e os custos de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras no Norte do Estado de Goiás, com vistas a subsidiar o planejamento das operações e o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

2 MATERIAL E METODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado nas áreas de colheita florestal de uma empresa localizada no Norte de Goiás, no período

de janeiro a agosto de 2005. O clima da região é quente (tropical semi-úmido), com período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro. A temperatura e umidade média eram de 27° C e de 77% no período chuvoso e de 25° C e 51% no período seco (SOUZA, 2003).

A pesquisa foi realizada em área plana de povoamento de *Eucalyptus grandis*, com oito anos de idade, altura comercial média de 18 m, DAP médio de 15,4 cm, volume médio por árvore de 0,165 m³, espaçamento de 3 x 2 m e com solo de textura areno-argilosa.

2.2 Sistema de colheita florestal avaliado

O sistema de colheita florestal avaliado foi o de “Árvores Inteiras”, composto por um módulo-base de quatro máquinas (Tabela 1). A derrubada e o empilhamento dos feixes de árvores eram realizados por um *Feller-Buncher*, o arraste das árvores para a margem da estrada por um *Skidder*, o traçamento das árvores no comprimento de 5,70 m por uma garra traçadora e o carregamento das toras no veículo por um carregador florestal.

2.3 Análise técnica

A análise técnica das máquinas foi realizada com base nos seguintes parâmetros:

2.3.1 Estudo de tempos e movimentos

Para realização do estudo de tempos e movimentos, as operações foram subdivididas em fases do ciclo operacional. Foi utilizado o método de tempos contínuos com uso de um cronômetro digital centesimal e formulários específicos para registro dos dados.

Tabela 1 – Descrição técnica das máquinas avaliadas.

Table 1 – Technical description of the analyzed machines.

Trator florestal	Modelo	Descrição
Feller-Buncher (Derrubador-Empilhador)	CAT 320 L	Escavadeira hidráulica, com rodados de esteiras, motor Mitsubishi de potência nominal de 138 HP. Cabeçote feller-buncher de disco da marca Rotosaw CHO 1214, modelo MS - 2001, com rotação de 2280 a 2320 rpm, braços acumuladores, capacidade de corte de 55 cm de diâmetro e alcance de 7,6 m.
Skidder (Arrastador)	CAT 525B	Motor de potência nominal de 180 HP. Rodados de pneus, equipado com garra giratória hidráulica na traseira e lâmina frontal.
Garra Traçadora	CAT 320 L	Escavadeira hidráulica, com rodados de esteiras e garra da marca Hultdins, modelo 400S Super Griffer, equipada com sabre e corrente, com motor de 37 HP de potência nominal, área útil de 37 cm ² e alcance médio de 7,6 m.
Carregador	CAT 320 L	Escavadeira hidráulica, com motor de potência nominal de 138 HP. Garra da marca Hultdins, modelo 400S Super Griffer, com área de 37 cm ² e alcance médio de 7,6 m. Cabine elevada em 80 cm para aumentar a visibilidade no carregamento.

Os tempos foram cronometrados sem nenhuma interferência no andamento normal das atividades na empresa. As operações de corte, arraste e traçamento eram realizadas em uma jornada diária de trabalho de 24 horas, distribuídas em dois turnos (7 às 19 h e 19 às 7 h) com uma hora para as refeições em cada turno. Cada máquina era operada por quatro operadores, sendo um por turno. O carregamento era realizado por dois operadores em uma jornada diária de trabalho de 12 horas (7 às 19 h), com uma hora para as refeições.

2.3.2 Disponibilidade mecânica

A disponibilidade mecânica foi obtida a partir da relação entre o tempo total de trabalho destinado para as atividades, quando as máquinas encontravam-se aptas para o desempenho de suas funções e o período em que interrompia o trabalho para manutenção. O cálculo foi obtido pela seguinte expressão:

$$DM = \frac{HT - HM}{HT} \times 100$$

onde: DM = Disponibilidade Mecânica (%); HT = Horas totais de trabalho e HM = Horas em manutenção.

2.3.3 Produtividade efetiva

A produtividade efetiva de cada máquina foi obtida com base nos dados referentes à duração do ciclo, número e duração dos turnos de cada funcionário e o conhecimento do programa de produção relativo ao tempo das máquinas. A produtividade efetiva foi determinada em m³/hora de trabalho efetivo nas duas jornadas de trabalho (diurna e noturna) e para a jornada completa (combinação das jornadas). Para o cálculo da produtividade efetiva foi utilizada a expressão:

$$Pef \text{ (m}^3\text{/hf)} = \frac{\sum Vol \times 360000}{\sum Tef}$$

onde: Pef = Produtividade efetiva; Vol = Volume produzido, em m³ e Tef = Tempo efetivo de trabalho (hf).

2.3.4 Eficiência operacional

A eficiência operacional foi obtida por meio da relação entre o tempo efetivo de trabalho pelo tempo total de trabalho programado, obtido pela expressão:

$$EOp = \frac{Tef}{Tef + Hi} \times 100$$

onde: EOp = Eficiência Operacional; Tef = Tempo de trabalho efetivo, em horas e Hi = Horas de interrupções operacionais.

2.4 Análise econômica

A análise econômica das máquinas no sistema de colheita florestal estudado baseou-se nos seguintes parâmetros:

- Custo Operacional: englobaram-se os custos fixos (depreciação, juros e seguros), custos variáveis (combustíveis, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, rodados, manutenção e reparos e mão-de-obra) e custos de administração.
- Custos de produção: obtidos pela divisão dos custos operacionais totais (R\$/hf) pela produtividade (m³/hf).
- Custos totais do sistema de colheita: obtidos pelo somatório dos custos de produção do *Feller-Buncher*, *Skidder*, Garra Traçadora e Carregador Florestal.

2.5 Análise estatística

Foram coletadas informações referentes à capacidade produtiva do *feller-buncher*, *skidder*, garra traçadora e carregador florestal em cada turno de trabalho e dados referentes ao talhão, operadores, tipo de treinamento e tempo de experiência dos operadores. As variáveis independentes abordadas foram: distância percorrida, número de árvores por ciclo, tempo de experiência do operador e fatores ambientais.

A análise de regressão foi feita com o uso do programa SPSS 11.0. Foram utilizadas como critério de seleção as equações de tempo total de operação e produtividade com maior coeficiente de determinação (R²) e, em segundo, o menor número de variáveis independentes associadas. Para relacionar a dependência foi estabelecido o método de regressão *STEPWISE*, ao nível de 5% de significância. As variáveis testadas que não apresentaram influência estatística significativa foram excluídas do modelo.

2.6 Custos totais do sistema padrão e otimizado de colheita florestal

Os dados obtidos permitiram a elaboração de um método padrão (jornada completa de trabalho), quando foi avaliado o período diário de trabalho da máquina. Foram analisados ainda o período diurno (7 às 19 h) e o período noturno (19 às 7 h). A partir dos dados coletados foi formulado um sistema otimizado de colheita para a jornada completa de trabalho, sendo, posteriormente, comparado

com o sistema atual e que resultaram em propostas e sugestões para a correção de possíveis falhas dentro e entre as etapas da colheita da madeira.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise técnica

3.1.1 Estudo de tempos e movimentos, produtividade e eficiência do *Feller-Buncher*

A constituição dos tempos totais dos elementos do ciclo operacional do *feller buncher* nos diferentes períodos de trabalho é mostrada na Tabela 2. Como pode ser visto, a maior porcentagem de interrupções ocorreu no período diurno, com 72,9% do tempo total de trabalho, ocasionado pelo maior número e facilidade das intervenções mecânicas no período diurno, decorrente da presença de iluminação natural.

Em relação aos outros tempos do ciclo operacional observa-se que, o abate no período noturno correspondeu a 24,4% do tempo total, decorrente da maior dificuldade de realização da operação nessa condição.

A disponibilidade mecânica foi de 40,1; 64,3 e 47,1%, respectivamente, para os turnos diurno, noturno e jornada completa de trabalho. Analisando o histórico da empresa, verificou-se que a disponibilidade mecânica foi de 78,0% nos três primeiros meses do ano. Tal diferença pode ser explicada em função da coleta dos dados ter sido realizada 30 dias antes do período de manutenção preventiva geral onde, conseqüentemente, as mesmas apresentavam maiores ocorrências de falhas mecânicas em razão dos desgastes existentes. Dentre as causas mais comuns de ocorrência de falhas podem ser citadas: operação incorreta, lubrificação inadequada, sujeira e resíduos florestais e folgas que atuam na redução da confiabilidade, disponibilidade, vida útil e segurança operacional da máquina.

Para o *feller-buncher*, obteve-se um número médio 3,4; 2,8 e 3,1 árvores por ciclo para os períodos diurno, noturno e jornada completa de trabalho, respectivamente. A produtividade por hora efetiva foi de 47,3 m³/hf para os três turnos, com uma pequena variação de ± 0,06 m³. Apesar do maior número de árvores derrubadas no período diurno, a máquina passou grande parte do tempo realizando manutenções e abastecimento. A eficiência operacional foi de 27,2, 35,6 e 56,1% para os períodos diurno, jornada completa e noturno, respectivamente.

3.1.2 Estudo de tempos e movimentos, produtividade e eficiência do *Skidder*

Na Tabela 3, mostra-se a constituição média dos tempos do ciclo operacional na operação de arraste com o *Skidder*. Como pode ser observado, os elementos viagem sem carga e arraste foram maiores no período noturno com 24,7 e 28,3%, respectivamente, ocasionados pelo maior deslocamento da máquina na busca e localização dos primeiros feixes de árvores, além da maior dificuldade de visualização dos obstáculos no período noturno (presença de rebrotas, tocos e toras na área).

A maior porcentagem das interrupções ocorreu no período diurno, correspondendo a 34,8% do tempo total, ocasionado pelo maior número de intervenções mecânicas e abastecimentos. O menor número médio de árvores arrastadas ocorreu no período diurno (13,2 árvores por ciclo), enquanto no período noturno e na jornada completa de trabalho, o skidder arrastou, em média, 14,7 e 13,9 árvores, respectivamente. Nos três períodos avaliados obteve-se uma produtividade média por hora efetiva de 43,2; 41,5 e 42,3 m³/hf para os períodos diurno, noturno e jornada completa de trabalho, respectivamente.

A disponibilidade mecânica foi de 86,6; 96,0 e 90,9%, para os períodos diurno, noturno e jornada completa de

Tabela 2 – Composição dos tempos totais do ciclo operacional do *Feller-Buncher*.

Table 2 – Percent composition of the total time of the *Feller Buncher* operational cycle.

Divisão da atividade	Jornada		
	Período diurno (%)	Período noturno (%)	Jornada completa de trabalho (%)
Tempo de interrupções	72,85	43,49	64,37
Tempo de preparação	1,15	2,83	1,63
Tempo de abate	11,67	24,43	15,36
Tempo de tombamento	3,30	10,88	5,84
Tempo de deslocamento	10,91	18,79	13,19

trabalho, respectivamente, estando os valores próximos aos dados históricos da empresa nos três primeiros meses do ano (90,0%). A eficiência operacional foi de 82,5% no período noturno, 65,2% (diurno) e 73,2% (jornada completa).

3.1.3 Estudo de tempos e movimentos, produtividade e eficiência da Garra Traçadora

Na Tabela 4, mostram-se os tempos totais do ciclo operacional da garra traçadora. O maior deslocamento da máquina no período diurno ocorreu em razão da necessidade de finalização do traçamento em diferentes pilhas e deslocamentos para o abastecimento e lubrificação.

No período noturno, os tempos de puxada e de traçamento foram de 9,6 e 11,7% do tempo total, respectivamente, e inferiores ao período diurno (12,2 e 17,3%). Como os operadores no período diurno pegavam um maior número de árvores, ocorria com maior frequência o travamento da corrente no sabre, necessitando o

operador recuar o sabre para a posição original e proceder novamente o corte das árvores. As interrupções foram de 34,4 e 43,1% para os períodos diurno e noturno e de 39,6% para a jornada completa de trabalho.

O menor número médio de árvores traçadas ocorreu no período noturno, com média de 5,2 árvores por ciclo, enquanto no período diurno e na jornada completa de trabalho foi de 9,0 e 6,9 árvores por ciclo. A produtividade por hora efetiva foi de 118,0, 58,0 e 84,0 m³/hf para os períodos diurno, noturno e jornada completa de trabalho, respectivamente, enquanto a disponibilidade mecânica foi de 83,8 %, 69,2 % e 75,2%, estando próximo ao histórico da empresa nos três primeiros meses do ano (83,0%). A eficiência operacional foi de 56,9, 65,3 e 60,4% para os períodos noturno, diurno e jornada completa de trabalho.

3.1.4 Estudo de tempos e movimentos, produtividade e eficiência do carregador florestal

Na Tabela 5, mostra-se a constituição média dos tempos do carregador florestal. Como pode ser visto, as

Tabela 3 – Composição percentual do tempo total do ciclo operacional do *Skidder*.

Table 3 – Percent composition of the total time of the *Skidder* operational cycle.

Divisão da atividade	Jornada		
	Período diurno (%)	Período noturno (%)	Jornada completa de trabalho (%)
Tempo de interrupções	34,83	17,52	26,81
Tempo de descarregamento	1,81	3,58	2,63
Tempo de arraste	17,80	28,29	22,67
Tempo de carregamento	1,04	13,11	9,85
Tempo de manobras	19,36	12,82	16,33
Tempo de viagem sem carga	19,15	24,68	21,71

Tabela 4 – Composições dos tempos totais do ciclo operacional da Garra Traçadora.

Table 4 – Percent composition of the total time of the grapple saw operational cycle.

Divisão da atividade	Jornada		
	Período diurno (%)	Período noturno (%)	Jornada completa de trabalho (%)
Tempo de interrupções	34,37	43,14	39,56
Tempo de soltura	15,80	14,26	14,88
Tempo de traçamento	17,30	11,70	13,96
Tempo de puxada	12,19	9,59	10,65
Tempo de pegada	17,78	20,38	19,35
Tempo de deslocamento	2,60	0,93	1,60

manobras e o depósito de toras no compartimento de carga do veículo de transporte consumiram o maior tempo das operações do ciclo operacional, com 16,5 e 10,9%, respectivamente. Tal fato é explicado pela necessidade de maior atenção dos operadores para que a carga seja depositada conforme os padrões da empresa. As interrupções consumiram 59,7% do tempo total, ocasionado pelo tempo em que a máquina permanecia aguardando os veículos de transporte.

Tabela 5 – Composição dos tempos do ciclo do Carregador Florestal.

Table 5 – Composition of the total time of the forest loader operational cycle.

Fase do ciclo de trabalho	% do tempo
Tempo de manobras	16,51
Tempo de depósito	10,91
Tempo de ajuste das toras na grua	0,39
Tempo de carga	2,97
Tempo do movimento do braço vazio	5,62
Tempo de deslocamento	3,86
Tempo de interrupções ou paradas	59,73

A disponibilidade mecânica do carregador florestal foi de 96,8%, a produtividade média efetiva foi de 94,7 m³/hf de trabalho, enquanto a eficiência operacional foi de 40,3%.

3.2 Análise econômica

Considerando uma taxa de juros de 10% a.a. foram obtidos os custos operacionais e de produção e a distribuição percentual dos itens de custos para o *feller-buncher*, *skidder*, garra traçadora e carregador florestal (Tabelas 6 e 7).

O custo operacional do *feller-buncher* por hora efetiva foi de R\$ 494,56 e o custo de produção de R\$ 10,32/m³. Desse total, 8,6% foram atribuídos aos custos fixos, 80,7% aos custos variáveis e 10,7% ao custo de administração. Dentre os custos variáveis, a mão-de-obra foi o item de maior percentual de custo (65,7%), seguido pelo item combustível (9,7%).

Para o *skidder*, o custo operacional foi de R\$ 181,27/hf e o custo de produção de R\$ 4,29/m³. Dentre o total, os custos fixos equivaleram a 9,5%, os custos variáveis a 79,8% e administração a 10,7%. Os custos com mão-de-obra representaram o maior percentual (49,3%), seguidos

pelos custos com pneus (10,8%) e pelos custos com administração (10,7%).

Para a garra traçadora, o custo operacional foi de R\$ 193,54/hf e o custo de produção de R\$ 2,31/m³, sendo o maior custo para a mão-de-obra (57,2%) e combustíveis (17,7%).

No carregador florestal, o custo operacional total foi de R\$ 405,50/hf e o custo de produção de R\$ 4,28/m³. Desse total, 10,1% foi atribuído aos custos fixos, 79,2% aos custos variáveis e 10,7% aos custos de administração. O custo de mão-de-obra foi o item de maior contribuição com 65,7%, seguido pelos combustíveis (7,5%).

3.3 Análise estatística

3.3.1 Análise de regressão: ciclo operacional e produtividade do *Feller Buncher*

Na Tabela 8, mostram-se os resultados das análises de regressão pelo método *Stepwise* para as variáveis dependentes (tempo do ciclo operacional e produtividade) do *feller-buncher*. Para a variável “tempo do ciclo operacional”, a distância de deslocamento e o volume de madeira explicaram 89, 95 e 92% do tempo nos períodos diurno, noturno e jornada completa de trabalho, respectivamente. O volume exerceu maior influência no tempo, em razão da força provocada pelo peso no cabeçote, ocasionando diminuição da potência do motor. Para cada volume de madeira abatida, houve aumento de 38 a 42 segundos no tempo total do ciclo operacional.

Para a variável dependente “produtividade”, a distância total e o volume de madeira explicaram 50, 54 e 53% da produtividade. Nota-se que a variável distância total é inversamente proporcional à produtividade, quando, para cada metro percorrido pela máquina, a produtividade decresceu de 0,165 a 0,220 m³/hf. O volume exerceu grande influência na produtividade, quando, para cada volume cortado, a produtividade aumentou 44 m³/hf, 52 m³/hf e 36 m³/hf nos períodos diurno, noturno e jornada completa de trabalho, respectivamente.

3.3.2 Análise de regressão: ciclo operacional e produtividade do *Skidder*

Os resultados das análises de regressão para as variáveis dependentes (ciclo operacional e produtividade) do *skidder* são mostrados na Tabela 9. Em relação à variável dependente “tempo do ciclo operacional”, a distância total de deslocamento e o número de cargas realizadas explicaram 86, 91 e 87% do tempo total para os períodos diurno, noturno e jornada completa de trabalho, respectivamente. O elemento de maior influência no ciclo operacional foi o número de cargas.

Tabela 6 – Eficiência operacional, custo operacional e de produção das máquinas avaliadas.**Table 6** – Operational efficiency, operational and production cost of the evaluated machines.

Máquina	Eficiência operacional (%)	Custo operacional (R\$/hf)	Custo de produção (R\$/m ³)
Feller-Buncher	36	494,56	10,32
Skidder	73	181,27	4,29
Garra traçadora	60	193,54	2,31
Carregador florestal	40	405,50	4,28
Total		1274,87	21,20

Tabela 7 – Distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional das máquinas.**Table 7** – Percent distribution of the equipment operational cost.

Divisão dos custos	Máquinas			
	Feller-Buncher (%)	Skidder (%)	Traçador Mecânico (%)	Carregador Florestal (%)
Mão-de-obra	65,72	49,27	57,19	65,68
Manutenção e reparos	3,45	3,70	3,03	4,00
Rodado	0,30	10,80	0,78	0,70
Óleo hidráulico	0,28	0,04	0,47	0,14
Lubrificantes e graxas	1,30	3,05	2,52	1,50
Combustíveis	9,68	12,91	17,67	7,54
Juros e seguros	2,81	3,35	2,56	3,39
Depreciação	5,75	6,16	5,06	6,67
Administração	10,71	10,71	10,71	10,71

Tabela 8 – Equações do ciclo operacional e produtividade do *feller-buncher*.**Table 8** – Operational cycle equation and the *feller-buncher* productivity.

Variáveis	Período de trabalho	Equação estimada	F	R ²
Ciclo operacional	PD	$Y = 4,974 + 0,983DT + 41,586Vol$	1135**	89%
	PN	$Y = 8,028 + 1,090DT + 33,906Vol$	2454**	95%
	JC	$Y = 6,242 + 1,039DT + 38,359Vol$	3602**	92%
Produtividade	PD	$Y = 24,733 - (0,165DT) + 43,716Vol$	152**	50%
	PN	$Y = 28,786 - (0,210DT) + 52,608Vol$	183**	54%
	JC	$Y = 34,538 - (0,220DT) + 35,742Vol$	220**	43%

PD – Período Diurno; PN – Período Noturno; JC – Jornada Completa de Trabalho; DT – Deslocamento Total; e Vol – Volume, e ** Significativo a 5%.

Tabela 9 – Equações do ciclo operacional e produtividade do skidder.

Table 9 – Skidder operational cycle equation and productivity.

Variáveis	Período de trabalho	Equação estimada	F	R ²
Ciclo operacional	PD	$Y = - 21,009 + 0,583DT + 21,312NC$	398**	86%
	PN	$Y = - 21,650 + 0,564DT + 39,566NC$	884**	91%
	JC	$Y = - 19,659 + 0,566DT + 31,806NC$	1011**	87%
Produtividade	PD	$Y = 42,168 - (0,241DT) + 30,199Vol$	89**	56%
	PN	$Y = 71,196 - (0,210DT) + 17,335Vol$	115**	57%
	JC	$Y = 69,640 - (0,231DT) + 21,186Vol$	219**	58%

PD – Período Diurno; PN – Período Noturno; JC – Jornada Completa de Trabalho; DT – Distância Total; NC – Nº. de cargas; e Vol – Volume, e ** Significativo a 5%.

As variáveis distância e volume explicaram 56%, 57% e 58% da produtividade, sendo a primeira inversamente proporcional, quando, em cada unidade de distância, a produtividade reduziu 0,24; 0,22 e 0,23 m³/hf nos períodos diurno, noturno e jornada completa de trabalho.

3.3.3 Análise de regressão: ciclo operacional e produtividade da Garra Traçadora

Na Tabela 10 estão representadas as equações de regressão obtidas para a garra traçadora. Como pode ser visto, no período diurno, o volume e treinamento explicaram 37% do tempo consumido, exercendo maior influência no tempo de traçamento. A variável treinamento reduziu o tempo do ciclo, quando, para cada mês de treinamento do operador, obtém-se uma redução de 6,69 segundos no tempo médio do ciclo operacional. No período noturno, os elementos volume e experiência explicaram 41% do tempo do ciclo operacional.

O volume e o treinamento explicaram 49% da produtividade no período diurno, a variável volume exerceu maior influência (48 m³/hf para cada metro cúbico traçado). No período noturno, as variáveis de maior influência na produtividade foram o volume e a experiência do operador, com um efeito de 59% na produtividade.

3.3.4 Análise de regressão: ciclo operacional e produtividade do Carregador Florestal

As análises de regressão para as variáveis dependentes (ciclo operacional e produtividade) do carregador florestal são mostradas na Tabela 11. O tempo

do ciclo operacional foi influenciado pela distância de deslocamento e pelo número de manobras da máquina para correção da carga. As variáveis que influenciaram a produtividade foram o número de manobras e o volume das toras carregadas, explicando 56% da produtividade.

3.4 Determinação dos custos totais do sistema padrão e otimizado de colheita florestal

A partir da melhor eficiência operacional obtida, taxa de juros de 10% a.a., vida útil econômica de 5 anos e consumos e produção das máquinas por hora efetiva no sistema padrão, formulou-se um sistema otimizado de colheita florestal (Tabela 12).

O custo operacional total no sistema padrão foi de R\$ 1.275,36 por hora efetiva de trabalho. No sistema otimizado proposto, houve uma redução de 14,8% no custo total, com uma eficiência operacional de 57% do período noturno. A melhor eficiência operacional obtida no período noturno aplicada na jornada completa de trabalho, proporcionou um aumento na hora efetiva de trabalho anual do *feller-buncher* de 2.626 para 4.165 horas, representando ganho de 58,6%. No arraste, com a eficiência operacional de 82% obtida no período noturno, houve redução no custo de 7,94%, enquanto no traçamento, com uma eficiência de 65% do turno diurno, a redução nos custos foi 7,80%.

O custo total de produção no sistema padrão foi de R\$ 21,21/m³, influenciado pelo *feller-buncher* (R\$ 10,32/m³), *skidder* (R\$ 4,29/m³), traçador mecânico (R\$ 2,13/m³) e carregador florestal (R\$ 4,29/m³). No sistema otimizado, o custo de produção foi de R\$ 17,4/m³, gerando uma economia de 18,1%.

Tabela 10 – Equações do ciclo operacional e produtividade da Garra Traçadora.**Table 10** – Grapple saw operational cycle equation and productivity.

Variáveis	Período de trabalho	Equação estimada	F	R ²
Ciclo operacional	PD	$Y = 29,310 - (6,687T) + 13,074Vol$	90**	37%
	PN	$Y = 31,757 - (3,475E) + 33,903Vol$	111**	41%
	JC	$Y = 56,794 - (8,080T) - (20,109PD) + 10,448Vol$	89**	35%
Produtividade	PD	$Y = 39,942 + 15,742T + 48,086Vol$	147**	49%
	PN	$Y = 20,045 + 2,948E + 32,077Vol$	169**	59%
	JC	$Y = 7,753 + 21,568T + 27,116PD + 46,089Vol$	797**	81%

PD – Período Diurno; PN – Período Noturno; JC – Jornada Completa de Trabalho; Vol – Volume; T – Treinamento; E – Experiência; e ** - Significativo a 5%.

Tabela 11 – Equações do ciclo operacional e produtividade do Carregador Florestal.**Table 11** – Forest loader operational cycle equation and productivity.

Variáveis	Período trabalho	Equação estimada	F	R ²
Ciclo operacional	JC	$Y = 29,131 + 1,512DT + 30,315 NM$	43**	38%
Produtividade	JC	$Y = 81,236 - (92,361NM) + 106,268Vol$	344**	56%

JC – Jornada Completa de Trabalho; DT – Deslocamento Total; NM – N°. de Manobras; Vol – Volume; e ** Significativo a 5%.

Tabela 12 – Comparação entre o sistema padrão e o sistema otimizado de colheita florestal.**Table 12** – Comparison between the standard and optimized forest harvesting system.

Módulo de colheita florestal	Horas efetivas (horas)			Custo operacional (R\$)			Custo de produção (R\$)		
	SP	SO	Aumento	SP	SO	Redução	SP	SO	Redução
<i>Feller-Buncher</i>	2626	4165	58,6%	494,6	335,9	32,1%	10,3	7,0	32,1%
<i>Skidder</i>	5394	6079	12,7%	181,3	166,9	7,9%	3,9	4,3	7,9%
Traçador Mecânico	4293	4837	12,7%	193,5	178,4	7,8%	2,3	2,1	7,8%
Carregador Florestal	1484	1484	0,0%	406,0	406,0	0,0%	4,3	4,3	0,0%
Total	-	-	-	1275,4	1087,2	14,8%	21,2	17,4	18,1%

SP – Sistema Padrão; SO – Sistema Otimizado.

4 CONCLUSÕES

Com base na análise e discussão dos resultados, pode-se concluir:

- O elevado percentual de interrupções ocorridas no período noturno, decorrente das intervenções mecânicas e abastecimento ocasionou uma baixa eficiência operacional e elevado custo de produção para *feller buncher* e o *skidder*, devendo a empresa melhorar o seu programa de manutenção preventiva e realizar os abastecimentos das máquinas

durante as trocas de turnos, com vistas a aumentar a disponibilidade destas para o trabalho.

- O *feller-buncher* e o carregador florestal apresentaram elevado custo operacional, ocasionados pela baixa eficiência operacional.

- A análise de regressão apontou que a produtividade do *feller buncher* é influenciada pelo volume do feixe, o *skidder* pela distância de deslocamento, a garra traçadora pelo volume de madeira processada e o carregador florestal pelo volume de toras carregadas.

- A adoção de medidas de eficiência operacional com vistas à melhoria no sistema de colheita florestal poderá trazer ganhos significativos para a empresa, sendo mostrado pela redução no custo do sistema de colheita otimizado, que passou de R\$ 21,21/m³ para R\$ 17,4/m³, gerando economia de 18,1%.

5 AGRADECIMENTO

Oa autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAGIO, A. J.; STOHR, G. W. D. Resultados preliminares de um levantamento dos sistemas de exploração usados em florestas implantadas no Sul do Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 76-96, 1978.

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.

MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 468 p.

REZENDE, J. L. P.; PEREIRA, A. R.; OLIVEIRA, A. D. Espaçamento ótimo para a produção de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 7, n. 1, p. 30-43, 1983.

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.

SOUZA, D. R. **História da CODEMIN**. Goiânia: Terra, 2003. 300 p.

TRINDADE, C.; REZENDE, J. L. P.; JACOVINE, L. A. G.; SARTORIO, M. L. **Ferramentas da qualidade**: aplicação na atividade florestal. Viçosa, MG: UFV, 2000. 124 p.