

DIEGO WESLLY FERREIRA DO NASCIMENTO SANTOS

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA  
ALTERNATIVO DE COLHEITA FLORESTAL DE TORAS CURTAS**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola, para  
obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S237a  
2016 Santos, Diego Weslly Ferreira do Nascimento, 1989-  
Avaliação técnica e econômica de um sistema alternativo  
de colheita florestal de toras curtas / Diego Weslly Ferreira do  
Nascimento Santos. – Viçosa, MG, 2016.  
xi, 94f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Economia florestal. 2. Madeira - Exploração.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Agrícola. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola.

II. Título.

CDD 22. ed. 634.98

DIEGO WESLLY FERRERIA DO NASCIMENTO SANTOS

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA  
ALTERNATIVO DE COLHEITA FLORESTAL DE TORAS CURTAS**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola, para  
obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

APROVADA: 19 de fevereiro de 2016.

---

Domingos Sárvio Magalhães Valente

---

Luciano José Minette

---

Haroldo Carlos Fernandes  
(Orientador)

*Dedico esse trabalho a Dalva Maria, minha avó, por sempre ter demonstrado muito amor e carinho por mim e que infelizmente não está presente, fisicamente, para compartilhar esse momento tão especial.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por me conceder a vida e sempre iluminar meu caminho.

A minha mãe, pelo apoio incondicional e por ser essa pessoa maravilhosa que sempre me deu muito carinho, amor e educação.

A Universidade Federal de Viçosa e em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela estrutura, acolhimento e pela realização do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola.

Ao professor Haroldo Carlos Fernandes pela oportunidade, confiança, paciência e orientação durante esses dois anos.

Ao professor Paulo Roberto Cecon pela contribuição na construção dessa pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão do auxílio financeiro.

A empresa Veracel celulose S.A. pela oportunidade de realização dessa pesquisa nos povoamentos florestais pertencentes à empresa.

A toda minha família, por parte de mãe, que sempre me apoiou e me incentivou. Em especial ao meu avô a quem sigo como exemplo e minha tia Amélia pela ajuda nos momentos difíceis.

Aos meus irmãos de coração, Tiery, Filipe, Matheus, Eduardo, Tony e Lucas, pelas trocas de conhecimento, conversas e por sempre poder contar com eles.

A todos os meus colegas do Laboratório de Mecanização Agrícola pelo acolhimento.

A minha namorada pelo apoio, incentivo e por me tranquilizar nos momentos difíceis.

Aos colegas Bruno Meira, Yves sol e Max Sandino pela ajuda durante a coleta de dados.

E aos demais que de alguma forma contribuíram para a realização desse estudo.

## **BIOGRAFIA**

DIEGO WESLLEY FERREIRA DO NASCIMENTO SANTOS, filho de Marcelino Ferreira do Nascimento e Marineide Ferreira do Nascimento, nasceu no dia 25 de novembro de 1989 no município de Senhor do Bonfim, Bahia.

De 2006 a 2008 concluiu o ensino médio pelo Colégio Modelo Luiz Eduardo Magalhães.

De 2009 a 2014 graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia em 2014.

Em 2014, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Mecanização Agrícola, em nível de mestrado, pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Em fevereiro de 2016, submeteu-se à defesa pública de dissertação, para a obtenção do título de Magister Scientiae.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	VIII
ABSTRACT .....	X
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	5
AVALIAÇÃO TÉCNICA DE UM SISTEMA DE COLHEITA FLORESTAL TORAS CURTAS .....	6
1. INTRODUÇÃO .....	8
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1. ÁREA DE ESTUDO .....	10
2.2. SISTEMA DE COLHEITA ALTERNATIVO .....	11
2.2.1. <i>Descrição operacional do corte florestal</i> .....	11
2.2.2. <i>Descrição operacional do processamento</i> .....	11
2.2.3. <i>Descrição operacional da extração</i> .....	12
2.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS MÁQUINAS AVALIADAS.....	13
2.3.1. <i>Feller-buncher</i> .....	13
2.3.2. <i>Harvester</i> .....	15
2.3.3. <i>Forwarder</i> .....	17
2.4. DESCRIÇÃO DO CICLO OPERACIONAL DAS MÁQUINAS .....	18
2.4.1. <i>Ciclo operacional do feller-buncher</i> .....	18
2.4.2. <i>Ciclo operacional do harvester</i> .....	19
2.4.3. <i>Ciclo operacional do forwarder</i> .....	19
2.5. ESTUDO DE TEMPOS E MOVIMENTOS .....	19
2.6. PRODUTIVIDADE .....	20
2.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	21
2.8. DISPONIBILIDADE MECÂNICA .....	22
2.9. EFICIÊNCIA OPERACIONAL .....	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
3.1. <i>FELLER-BUNCHER</i> .....	23
3.1.1. <i>Análise dos elementos do ciclo operacional efetivo</i> .....	23
3.1.2. <i>Produtividade</i> .....	25
3.1.3. <i>Disponibilidade mecânica</i> .....	27
3.1.4. <i>Eficiência operacional</i> .....	28
3.2. <i>HARVESTER</i> .....	29

3.2.1. <i>Análise dos elementos do ciclo operacional efetivo</i> .....	29
3.2.2. <i>Produtividade</i> .....	32
3.2.3. <i>Disponibilidade mecânica</i> .....	34
3.2.4. <i>Eficiência operacional</i> .....	35
3.3. <i>FORWARDER</i> .....	36
3.3.1. <i>Análise dos elementos do ciclo operacional efetivo</i> .....	36
3.3.2. <i>Produtividade</i> .....	39
3.3.3. <i>Disponibilidade mecânica</i> .....	41
3.3.4. <i>Eficiência operacional</i> .....	42
3.4. <i>AVALIAÇÃO DO SUBSISTEMA</i> .....	42
4. <i>CONCLUSÕES</i> .....	45
5. <i>RECOMENDAÇÕES</i> .....	46
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> .....	47
<i>AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UM SISTEMA ALTERNATIVO DE</i> <i>COLHEITA FLORESTAL TORAS CURTAS</i> .....	51
1. <i>INTRODUÇÃO</i> .....	53
2. <i>MATERIAL E MÉTODOS</i> .....	55
2.1. <i>ÁREA DE ESTUDO</i> .....	55
2.2. <i>SISTEMA DE COLHEITA ALTERNATIVO</i> .....	55
2.3. <i>CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA DAS MÁQUINAS AVALIADAS</i> .....	56
2.3.1. <i>Feller-buncher</i> .....	56
2.3.2. <i>Harvester</i> .....	57
2.3.3. <i>Forwarder</i> .....	59
2.4. <i>ANÁLISE ECONÔMICA</i> .....	60
2.4.1. <i>Custo operacional (CO)</i> .....	60
2.4.1.1. <i>Custos fixos (Cf)</i> .....	61
2.4.1.2. <i>Custos variáveis (Cv)</i> .....	63
2.4.2. <i>Custo de produção (Pr)</i> .....	66
2.4.3. <i>Análise de sensibilidade</i> .....	67
2.4.4. <i>Ponto de equilíbrio</i> .....	67
2.4.5. <i>Taxa Interna de Retorno (TIR)</i> .....	68
3. <i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i> .....	69
3.1. <i>FELLER-BUNCHER</i> .....	69
3.1.1. <i>Custo operacional</i> .....	69

3.1.2. Custo de produção .....	70
3.1.3. Análise de sensibilidade .....	71
3.1.4. Ponto de equilíbrio .....	72
3.1.5. Taxa Interna de Retorno (TIR) .....	73
3.2. HARVESTER .....	74
3.2.1. Custo operacional .....	74
3.2.2. Custo de produção .....	75
3.2.3. Análise de sensibilidade .....	77
3.2.4. Ponto de equilíbrio. ....	78
3.2.5. Taxa Interna de Retorno (TIR) .....	78
3.3. FORWARDER .....	79
3.3.1. Custo operacional .....	79
3.3.2. Custo de produção .....	81
3.3.3. Análise de sensibilidade .....	83
3.3.4. Ponto de equilíbrio .....	84
3.3.5. Taxa Interna de Retorno .....	85
3.4. AVALIAÇÃO DO SUBSISTEMA .....	86
4. CONCLUSÕES .....	87
5. RECOMENDAÇÕES .....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	89
APÊNDICES .....	91
APÊNDICE A .....	92

## RESUMO

SANTOS, Diego Weslly Ferreira do Nascimento, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Avaliação técnica e econômica de um sistema alternativo de colheita florestal de toras curtas.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Objetivou-se com a presente pesquisa avaliar técnica e economicamente um sistema de colheita florestal toras curtas composto pelas máquinas: *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder*. O trabalho foi realizado em uma área reflorestada com clones de *Eucalyptus*, com 6,5 anos de idade, plantados com espaçamento 4x3 metros. O corte das árvores era realizado por um *feller-buncher*, o processamento por *harvester* e a extração por *forwarder*. Para a execução do estudo foram demarcadas 14 parcelas experimentais, para cada máquina, contendo 75 árvores cada. A análise técnica compreendeu ao estudo de tempos e movimentos, produtividade, disponibilidade mecânica e eficiência operacional. O estudo de tempos e movimentos do *feller-buncher* e *harvester* foi realizado através do método multimomento e do *forwarder* executado através da cronometragem de tempo contínuo. O rendimento foi determinado por hora efetiva de trabalho, através da divisão entre o volume nas parcelas e o tempo gasto nas mesmas. A disponibilidade mecânica e eficiência operacional foram determinadas através do banco de dados fornecido pela empresa. A análise econômica compreendeu a determinação do custo operacional e de produção, análise de sensibilidade, ponto de equilíbrio e taxa interna de retorno. O custo operacional foi calculado através do somatório dos custos fixos e variáveis. O custo de produção foi estimado a partir do quociente do custo operacional e produtividade por hora efetiva de trabalho. Para a análise de sensibilidade foi realizada uma variação de  $\pm 20\%$  nos elementos mais representativos no custo operacional das máquinas. Dentre as máquinas do subsistema avaliado o *forwarder* foi a que demandou maior quantidade de tempo para completar seu ciclo operacional 1.116 segundos. Já o *feller-buncher* demonstrou a maior produtividade por hora efetiva de trabalho. A maior disponibilidade mecânica e eficiência operacional foram apresentadas pelo *harvester* e *forwarder*, respectivamente. Com relação à

análise de custos do subsistema, constatou-se um custo operacional de US\$ 254.02  $\text{he}^{-1}$ , e custo de produção de US\$ 5.16  $\text{m}^{-3}$ . As variáveis mais influentes no custo operacional das máquinas foram: valor de aquisição, horas efetivas de uso anual, manutenção e reparos, combustível, juros e depreciação. O menor ponto de equilíbrio e maior taxa interna de retorno foram apresentados pelo *forwarder*.

## ABSTRACT

SANTOS, Diego Wesley Ferreira do Nascimento, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2016. **Technical and economic evaluation of an alternative system of forest harvesting of cut to length.** Advisor: Haroldo Carlos Fernandes.

This research aimed to evaluate technical and economic one cut to length forest harvesting system formed by machines: feller-buncher, harvester and forwarder. The study was conducted in a reforested area of Eucalyptus clones, with 6.5 years of age, planted with 4x3 meters spacing. The cutting of trees was conducted by a feller-buncher, processing of logs for harvester and forwarder extraction. For the implementation of the study were marked 14 experimental plots for each machine containing 75 trees each. Technical analysis includes the motion and time study, productivity, mechanical availability and operational efficiency. The study of time and motion of the feller-buncher and harvester was performed using the method multimomento and forwarder run through the continuous-time timing. The yield was determined by effective hour of work, by dividing the volume in the plots and the time spent in the same. The mechanical availability and operational efficiency were determined via the database provided by the company. The economic analysis involved the determination of the operating cost and the production, the sensitivity analysis, breakeven point and internal rate of return. The Operational cost was calculated by adding up the fixed and variable costs. The production cost was estimated from the ratio of operational costs and productivity per effective hour of work. A sensitivity analysis was performed through the 20% variation in the most representative elements of the operating cost of the machines. Among the subsystem machines rated the forwarder was that demanded greater amount of time to complete its 1.116 s operating cycle. Already the feller-buncher demonstrated the highest productivity per effective hour of work. The highest values of mechanical availability and operational efficiency were presented by the harvester and forwarder, respectively. Regarding the subsystem cost analysis, there was an operating cost of US \$ 254.02 h<sup>-1</sup>, and production cost of US \$ 5.16 m<sup>-3</sup>. The most influential variables in the operating cost of the

machines were: acquisition cost, actual hours of annual use, maintenance and repairs, fuel, interest and depreciation. The lowest point of balance and higher internal rate of return were presented by the forwarder.

## INTRODUÇÃO GERAL

O setor de base florestal do Brasil é um grande impulsor do desenvolvimento econômico do país, pois segundo a ABRAF (2013) o mesmo emprega cerca de 4,4 milhões de pessoas e contribui com 0,48% da arrecadação de tributos nacionais.

Até o ano de 2012 o Brasil possuía cerca 7,18 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 82,2% dessa área povoada com plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* (ABRAF, 2013). A madeira proveniente dessa área é utilizada para abastecer empresas de papel e celulose, painéis de madeira industrializada, madeira processada mecanicamente, siderurgia a carvão vegetal, biomassa, entre outros.

Entre as diversas áreas que compõem o setor florestal a colheita florestal se destaca, por ser uma atividade complexa e de alto custo econômico. Segundo Silva et al. (2010) a colheita pode representar mais de 50% do custo final da madeira posta na fábrica.

Até no ano de 1970, boa parte da colheita florestal brasileira era realizada de forma rudimentar, sendo a maioria das operações realizadas de forma manual, que em consequência causava elevado desgaste físico aos trabalhadores. A partir do ano de 1970, com a introdução de novas máquinas e equipamentos florestais, o corte das árvores passou a ser realizado de forma semimecanizada com auxílio de motosserras, já a extração de toras que era realizada com auxílio de animais passou a ser realizada de forma mecanizada, utilizando tratores autocarregáveis e *skidders* (MACHADO et al., 2014). A introdução dessas máquinas e equipamentos proporcionaram algumas melhorias nas condições de trabalho dos operadores, porém foi no ano de 1994, com a abertura das importações de máquinas, que ocorreu uma intensa mecanização da colheita florestal brasileira, proporcionando ganhos em produtividade, redução de custos e diminui a participação do ser humano nas atividades manuais e semimecanizadas (MACHADO et al., 2014).

A colheita florestal mecanizada pode ser entendida como um conjunto de operações executadas no interior dos talhões, onde os operadores não têm um contato físico com as árvores, sendo a mesma realizada com

máquinas-motoras dotadas de mecanismos que permitem o acionamento direto (LIMA; LEITE, 2014). A colheita pode ser realizada através de diversos tipos de sistema de colheita, sendo que a adoção de determinado sistema vai depender basicamente do uso final da madeira, declividade do terreno, dentre outros.

O sistema toras curtas (*cut-to-length*) é bastante utilizado no Brasil, principalmente por empresas de papel e celulose, sendo este caracterizado pelo processamento das árvores no local do corte e a madeira transportada até as margens das estradas na forma de toras de até 6 metros de comprimento (MACHADO, 1985). As principais máquinas utilizadas nesse sistema são *harvesters* e *forwarders*, porém recentemente empregou-se o *feller-buncher*.

O *harvester* é um trator florestal que, convencionalmente, tem a função de abater as árvores e realizar o processamento (descascamento, desgalhamento e traçamento) das mesmas. É composta por uma máquina base de pneus ou esteira, uma lança hidráulica e um cabeçote (MACHADO et al., 2014). Composto o cabeçote *harvester* tem se os braços acumuladores, que tem a função de segurar as toras durante o corte e processamento, os rolos de alimentação que movimentam as toras no sentido horizontal e realizam o descascamento, as laminas que executam o desgalhamento e um sabre ou serra para realizar o traçamento das toras.

Já o *forwarder* é empregado para extrair a madeira do local de corte até a margem da estrada ou pátio intermediário. Essa máquina é autocarregável, sendo formada por uma lança hidráulica, uma garra e uma caixa de carga com capacidade de até 20 toneladas. Existem diversos tipos de fabricantes e modelos dessa máquina, porém em sua maioria o chassi do *forwarder* é articulado e com relação à tração dos pneus, essa máquina pode ser do tipo 4x4, 6x6, 8x8 (MACHADO et al., 2014). Esse trator possui uma cabina de proteção ao operador, com sistema de ar condicionado e assento giratório para melhorar a visibilidade do operador e facilitar a execução das operações.

O *feller-buncher* ou trator florestal cortador-acumulador foi projetado para realizar o corte e acúmulo das árvores e posteriormente depositar as mesmas na superfície do solo na forma de feixe. É uma máquina robusta,

constituída por uma máquina base de pneus ou esteiras, uma lança hidráulica e um cabeçote, podendo operar em áreas com até 27° de declividade (OLIVERIA JUNIOR et al., 2009). O cabeçote dessa máquina é rígido e pesado, sendo formado por braços acumuladores, para segurar as árvores, e um disco dentado ou tesoura ou uma serra de corrente para realizar o corte das árvores

A mecanização da colheita florestal é um processo irreversível, sendo a mesma em função da política econômica e industrial do país, custo e disponibilidade de mão-de-obra e custo dos equipamentos florestais (SANTOS, 1995).

Segundo Leite (2012) a colheita mecanizada é um processo contínuo de melhorias nas condições de trabalho e redução do custo final da madeira, sendo necessários estudos que visem o aumento da produtividade e redução dos custos, como por exemplo, avaliações técnicas e econômicas.

O planejamento da colheita florestal é realizado de acordo com as características intrínsecas de cada empresa, levando em consideração os aspectos técnicos e econômicos (MACHADO; LOPES, 2014). Os aspectos técnicos e econômicos interferem de forma significativa nas condições operacionais, mediante isso é necessário ter conhecimento e controle desses fatores para que se possa executar as operações dentro de critérios estabelecidos.

As avaliações técnicas, a exemplo do estudo de tempos e movimentos, produtividade, disponibilidade mecânica e eficiência operacional, ajudam na tomada de decisão da empresa e facilitam a elaboração do planejamento florestal. À partir dessas ferramentas é possível determinar a produtividade de cada máquina, assim como prever possíveis problemas e identificar as variáveis envolvidas no processo produtivo.

As máquinas e equipamentos de colheita florestal possuem elevado valor de aquisição, sendo que o custo da colheita varia de acordo com o sistema adotado, das condições de trabalho, das máquinas utilizadas, dentre outros, por isso essa ferramenta deve ser avaliada constantemente, a fim de identificar as atividades mais onerosas da operação, assim como selecionar as máquinas mais apropriadas.

Mediante o exposto, percebe-se que a colheita florestal é uma atividade dinâmica e de constante renovação, com isso torna-se evidente a necessidade da realização de estudos que visem o aumento da produtividade e redução dos custos da colheita florestal, principalmente dos subsistemas alternativos de colheita florestal.

O presente trabalho está dividido em dois capítulos. No primeiro capítulo objetivou-se avaliar tecnicamente um módulo de colheita florestal formado pelas máquinas: *feller-buncher*, *harvester*, e *forwarder*. Com o segundo capítulo tem-se o propósito de realizar uma análise econômica de um módulo de colheita florestal formado pelas máquinas: *feller-buncher*, *harvester*, e *forwarder*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico**: ano base 2012/ABRAF. Brasília, DF, 2013. 146 p.

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

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C (Editor.). **Colheita Florestal**. 3ed. Viçosa-MG: UFV, 2014. P. 46-73.

MACHADO, C. C. **Exploração florestal**. 4 ed. Viçosa, MG: UFV. Impr. Univ., 1985. 60 p

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Planejamento. In: MACHADO, C. C (Editor.). **Colheita Florestal**. 3ed. Viçosa-MG: UFV, 2014. P. 15-45.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S.; CASTRO, G. P. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C (Editor.). **Colheita Florestal**. 3ed. Viçosa-MG: UFV, 2014. P. 15-45.

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

SANTOS, S. L. M. **Alocação ótima de máquinas na colheita de madeira**. 1995. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, E. N. et al. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de *Pinus sp.* com *harvester*. **Revista Árvore**, v.34, n.4, p.745-753, 2010.

## CAPÍTULO 1

### AVALIAÇÃO TÉCNICA DE UM SISTEMA ALTERNATIVO DE COLHEITA FLORESTAL TORAS CURTAS

**Resumo:** Objetivou-se com esse capítulo, avaliar tecnicamente um sistema de colheita florestal toras curtas formado pelas máquinas: *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder*. O trabalho foi conduzido na cidade de Eunápolis- BA, em uma área reflorestada com clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*, plantados em espaçamento 4x3 metros. O corte raso das árvores aos 6,5 anos de idade foi realizado por um *feller-buncher*, o processamento por *harvester* e a extração por *forwarder*. Para a execução do estudo foram demarcadas 14 parcelas experimentais, para cada máquina, contendo 75 árvores cada. A análise técnica compreendeu ao estudo de tempos e movimentos, produtividade, disponibilidade mecânica e eficiência operacional. O estudo de tempos e movimentos do *feller-buncher* e *harvester* foi realizado através do método multimomento e do *forwarder* executado através da cronometragem de tempo contínuo. A produtividade, por hora efetiva de trabalho, foi determinada através da divisão entre o volume nas parcelas e o tempo gasto nas mesmas. A disponibilidade mecânica e eficiência operacional foram calculadas através de equações específicas das variáveis, sendo os dados empregados nas fórmulas fornecidos pela empresa. O *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder* gastaram 33,57; 29,29; e 1.116 segundos, respectivamente, para completar o ciclo operacional. A produtividade do subsistema foi de 32,02 m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>, sendo que a produtividade do mesmo ficou limitada em função do rendimento do *harvester*. O *feller-buncher* apresentou os menores valores de disponibilidade mecânica e eficiência operacional, já a colhedora florestal *harvester* e o *forwarder* demonstraram os maiores valores para as variáveis citadas, respectivamente. Para a otimização do subsistema é necessário a introdução de 4 *harvester* e 3 *forwarders*.

## CHAPTER 1

### TECHNICAL EVALUATION OF AN ALTERNATIVE SYSTEM OF FOREST HARVESTING OF CUT TO LENGHT

**Abstract:** aimed to this chapter, technically evaluate a cut to lenght forest harvesting system formed by machines feller-buncher, harvester and forwarder. The work was conducted in the city of Eunápolis- BA in a reforested area with clones of Eucalyptus grandis X hybrid of Eucalyptus urophylla planted in spacing 4x3 meters. Clear felling of trees to 6.5 years of age was conducted by a feller-buncher, processing for harvester and forwarder extraction. For the execution of the study were marked 14 experimental plots for each machine containing 75 trees. Technical analysis comprises the study of time and motion, productivity, mechanical availability and operational efficiency. The study of time and motion of the feller-buncher and harvester was performed using the method multimomento the forwarder run through the continuous-time timing. The productivity per effective hour of work, was determined by dividing the volume in the plots and the time spent in the same. The mechanical availability and operational efficiency were calculated using specific formulas of the variables, and the data used in the formulas provided by the company. The feller-buncher, harvester and forwarder spent 33.57; 29.29; and 1.116 seconds, respectively, to complete the operating cycle. Subsystem productivity was  $32.02 \text{ m}^{-3} \text{ he}^{-1}$ , being limited due to the havester yield. The feller-buncher had the lowest values of mechanical availability and operational efficiency, as forest combine harvester showed the highest values for the mentioned variables. For the subsystem optimization is necessary to introduce 4 harvester and 3 forwarder.

## 1. INTRODUÇÃO

As boas condições edafoclimáticas de cultivo, a grande extensão territorial do Brasil, concessão de incentivos fiscais e as pesquisas de melhoramento genético das plantas contribuíram para que o Brasil aumentasse de 400 mil hectares de florestas plantadas no ano de 1960 para 7,18 milhões em 2012, consolidando a importância do setor florestal não só na área econômica, mas também nas áreas social e ambiental (ABRAF, 2013) e (MACHADO et al., 2014).

Durante o passar dos anos ocorrem diversas mudanças no setor florestal brasileiro, sendo a maioria deles com o objetivo de aumentar a produtividade por hectare a fim de atender a demanda de madeira do mercado, que no ano de 2012 atingiu os 182 milhões de metros cúbicos de madeira serrada (ABRAF, 2013). Dentre essas mudanças, uma das principais, foi à mecanização de diversas atividades, principalmente da colheita florestal.

A colheita pode ser entendida como um conjunto de operações realizadas no interior da floresta, que tem o propósito de levar madeira até fábrica ou centro consumidor, sendo a mesma uma atividade onerosa que pode ser realizada em diversos tipos de sistemas de colheita, assim como por vários tipos de máquinas.

Dentre todos os sistemas, o sistema toras curtas (*cut to length*) é o mais antigo empregado no Brasil e atualmente é um dos mais utilizados, devido a maior facilidade para retirar as toras do interior dos talhões, a não exportação de nutrientes da área e por poder ser utilizado com menor grau de mecanização (MALINOVSKI et al., 2014). Quando realizado de forma mecanizada, as principais máquinas utilizadas no sistema toras curtas são *harvesters* e *forwarders*.

Apesar da evolução da colheita florestal nos últimos anos, é necessário que ocorra uma constante otimização do processo, buscando sempre diminuir os custos e aumentar a produtividade das máquinas, e para isso, é necessário realizar estudos que mostrem os fatores que afetam as operações de colheita florestal, para que se possa realizar um planejamento florestal mais eficiente e de maior previsibilidade. O estudo de tempos e movimentos, a produtividade por hora efetiva de trabalho, a disponibilidade

mecânica e a eficiência operacional das máquinas são indicadores essenciais ao planejamento e controle das operações.

Segundo Peinado e Graeml (2007) através do estudo de tempos e movimentos é possível obter o tempo gasto em cada atividade de uma determinada operação e dessa forma é possível eliminar tempos gastos desnecessariamente presentes na operação, além de poder determinar a melhor e mais eficiente maneira de executar tal operação.

Segundo Leite (2012) determinar a produtividade das máquinas é de extrema importância, pois a partir da mesma é possível identificar os pontos críticos e dessa forma fornecer técnicas que melhorem o desempenho operacional das máquinas.

Disponibilidade mecânica de uma máquina florestal pode ser entendida como o tempo em que a máquina se encontra disponível para executar determinada operação, sendo a mesma influenciada pela qualidade com que a manutenção corretiva e preventiva é realizada (FONTES; MACHADO, 2014).

A porcentagem de tempo efetivamente trabalhado, onde desconsidera o tempo gasto com paradas, por uma máquina é denominado de eficiência operacional. As condições climáticas, terreno, espécie vegetal, horas de descanso e de alimentação do operador são alguns dos fatores que influenciam na eficiência de uma máquina (ANDERSSON; LAESTADIUS, 1987).

Mediante o exposto e a necessidade de sempre estar buscando alternativas para aprimorar a colheita florestal tem-se por objetivo no presente capítulo avaliar tecnicamente um módulo de colheita florestal formado pelas máquinas: *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em uma área de operação de colheita florestal pertencente à empresa Veracel celulose S.A., cujo povoamento florestal, objeto do presente estudo, estava localizado na cidade de Eunápolis – BA (Figura 1).



Figura 1 - Vista geral da área após o corte e processamento da madeira (Eunápolis, BA).

A área de coleta de dados está localizada nas coordenadas 16°23'34"S latitude e 39°49'3.77"W longitude. Segundo a classificação de Koppen a região apresenta clima do tipo tropical úmido (Af), temperatura média de 23 °C, e precipitação pluviométrica média anual de 1.256 mm. O solo dessa área é classificado como Argissolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2006), com relevo plano e altitude de 187 m.

A área era povoada com clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*, plantadas no espaçamento 3,00 m entre plantas e 4,00 m entre linhas. As árvores apresentavam volume médio de 0,26 m<sup>3</sup> e estavam com 6,5 anos de idade. A madeira proveniente da área era utilizada para a produção de celulose branqueada.

## 2.2. Sistema de colheita alternativo

A colheita florestal foi realizada em um sistema toras curtas (*cut-to-length*), sendo o corte realizado pelo *feller-buncher*, o processamento (desgalhamento, descascamento e traçamento) executado por um *harvester* e o baldeio das toras de 6,20 metros feito por um *forwarder*. As operações das máquinas foram acompanhadas no período diurno (das 06h00min às 15h00min), entre os meses de janeiro e fevereiro de 2015.

### 2.2.1. Descrição operacional do corte florestal

O *feller-buncher* realizava o corte, acúmulo e a derrubada das árvores deixando as mesmas sobre a superfície do solo na forma de feixes (Figura 2). Essa máquina trabalhava em eitos de 3 linhas de plantio, sendo que as árvores eram derrubadas para o lado oposto das árvores que ficavam em pé e dessa forma os feixes ficavam paralelos as linhas de plantio.

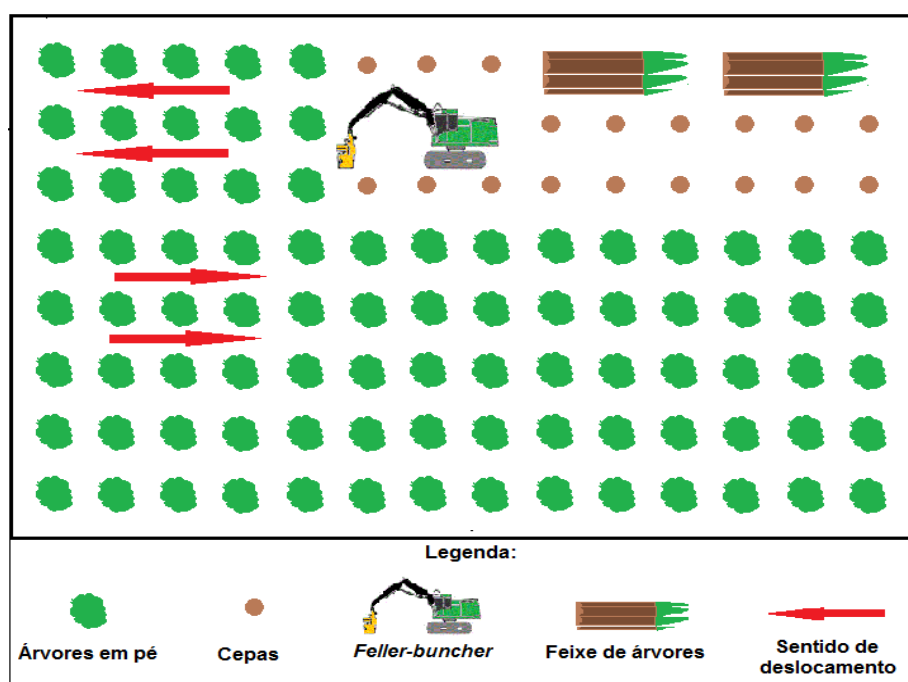


Figura 2 - Desenho representando o corte das árvores com *feller-buncher*.

### 2.2.2. Descrição operacional do processamento

Posteriormente, o *harvester* realizava o desgalhamento, descascamento, traçamento e empilhamento dos fustes, formando pequenas pilhas de toras que ficavam posicionadas paralelamente ao sentido de deslocamento da máquina (Figura 3).

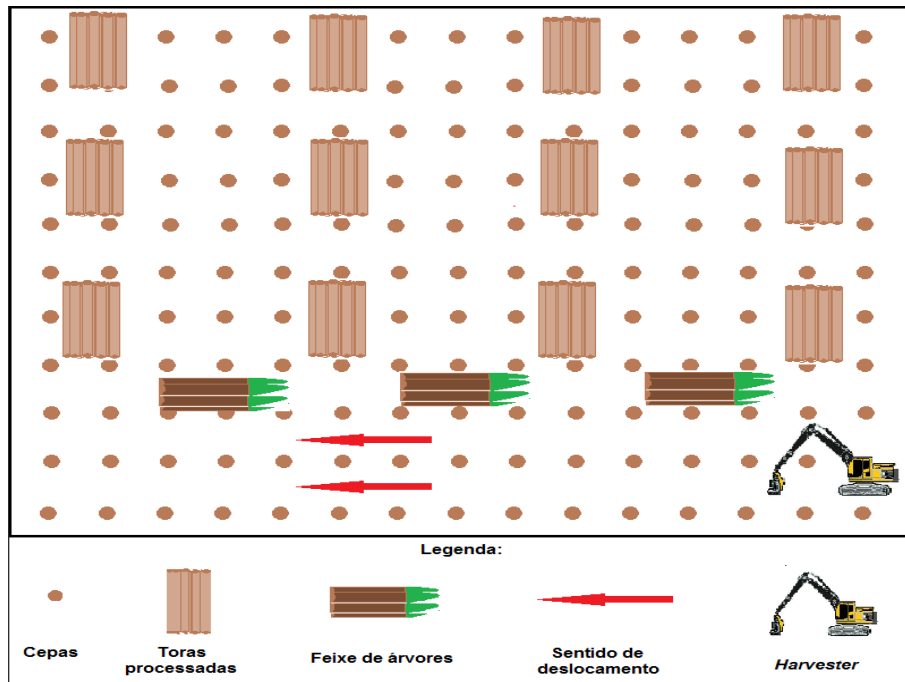


Figura 3 - Desenho representando o processamento das toras com harvester.

### 2.2.3. Descrição operacional da extração

Em seguida, a extração das toras era realizada pelo *forwarder*. Inicialmente o *forwarder* deslocava-se vazio e de marcha ré, da margem da estrada até o último feixe a ser carregado e iniciava o auto-carregamento (Figura 4). Após concluir o carregamento a máquina se deslocava carregada em direção a margem da estrada, local este onde a máquina realizava o descarregamento. Durante o descarregamento as toras eram posicionadas em pilhas formadas paralelamente ao sentido de deslocamento da estrada. Em média as pilhas tinham 6,20 m de largura, 5 m de altura e 60 m de comprimento.

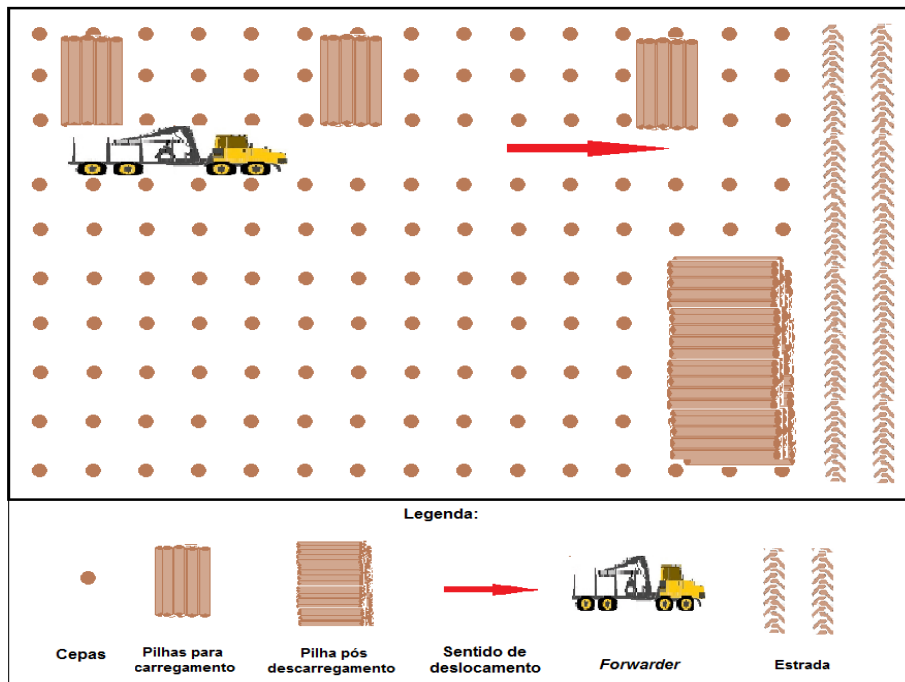


Figura 4 - Desenho representando a extração das toras com *forwarder*.

### 2.3. Características técnicas das máquinas avaliadas

#### 2.3.1. *Feller-buncher*

Utilizou-se o *feller-buncher* de esteiras da marca John Deere<sup>®</sup>, modelo 903K, equipado com o motor *PowerTech™plus* 6090H de 6 cilindros, 9 l de cilindrada e 275 HP (224 kW) de potência (Figura 5). Esse modelo possui mecanismos de nivelamento do material rodante, e dessa forma permite que a cabine se mantenha nivelada mesmo quando a esteira está inclinada em 27° para frente, 14° nas laterais e 7° para trás.

Essa máquina possui uma lança hidráulica de 8,88 m de alcance, sendo na sua extremidade acoplado o cabeçote FR22B. Todo o conjunto pesa 31.590 Kg. No momento do estudo a máquina estava com 6.652 horas trabalhadas.



Figura 5 – *Feller-buncher* da marca John Deere<sup>®</sup>, modelo 903k.

Compondo o cabeçote têm-se os braços acumuladores, com capacidade de acumulo de até 0,48 m<sup>3</sup>, garras para segurar as árvores durante o corte, que é realizado por uma serra a disco com 142,2 cm de diâmetro, 18 dentes e velocidade máxima de 1.150 rpm (Figura 6). O FR22B pesa cerca de 3.540 kg, pode cortar árvores de até 55,90 cm de diâmetro e possui articulação parafusada, de alta rotação, que permite até 312 graus de giro.



Figura 6 – Vista frontal do cabeçote do *Feller-buncher*, modelo FR22B.

### **2.3.2. Harvester**

O *harvester* empregado é formado por uma escavadeira hidráulica de esteira, modelo EC 210BF prime, da marca Volvo® (Figura 7). Formando a escavadeira tem-se uma lança hidráulica com alcance máximo de 8,2 metros e um cabeçote modelo H7 da marca Ponsse®.

A escavadeira com a lança e braço pesa 25.000 kg, sendo o motor o Volvo D6E EAE2 de 6 cilindros, 5,7 l de cilindrada e 148 HP (110 kW) de potência.



Figura 7 – Escavadeira hidráulica modelo EC 210BF prime da marca Volvo e cabeçote modelo H7 da marca Ponsse.

O cabeçote H7 pesa cerca de 1.150 kg, é formado por 3 rolos dentados alimentadores, laminas para realizar o desgalhamento, braços prensos para segurar as árvores durante o corte e processamento e um sabre para realizar o corte e traçamento (Figura 8). Esse cabeçote corta e processa árvores de até 60 cm de diâmetro.



Figura 8 – Cabeçote de processamento de árvores da marca Ponsse<sup>®</sup>, modelo H7.

### 2.3.3. Forwarder

Utilizou-se um *forwarder* da marca Ponsse<sup>®</sup>, modelo *Buffaloking* com motor Mercedes-Benz OM 906 LA EU Stage IIIA de 6 cilindros com 275 HP (205 kW) de potência, tração nas 8 rodas (8X8) e pode atingir até 23 km/h (Figura 9). O *forwarder* é autocarregável, sendo formado, basicamente, por a cabina de comando climatizada, caixa de carga e grua hidráulica.

A caixa de carga tem 5,9 m de comprimento, 3,3 m de largura e capacidade para 18.000 kg de madeira. A grua hidráulica, modelo k100+S, possui alcance máximo de 7,8 m e pode levantar aproximadamente 1.500 kg durante o carregamento e descarregamento.

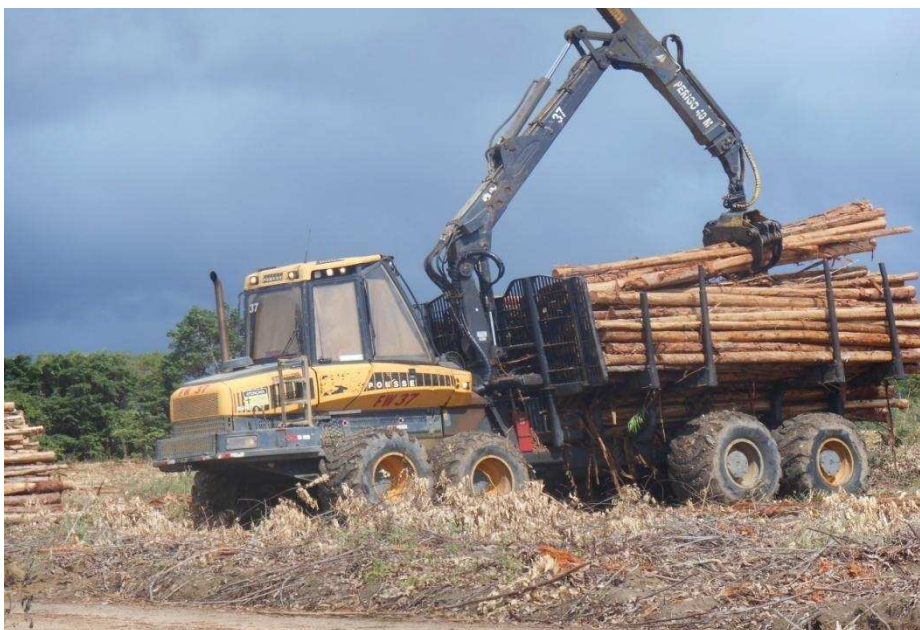


Figura 9 – *Forwarder* da marca Ponsse®, modelo *Buffaloking*.

#### **2.4. Descrição do ciclo operacional das máquinas**

Para realização do estudo de tempos e movimentos foi realizada uma subdivisão das atividades desempenhadas pelas máquinas, sendo as mesmas denominadas elementos do ciclo operacional. Vale ressaltar que foi levado em consideração o tempo efetivo de trabalho das máquinas, ou seja, não foram consideradas as pausas técnicas e pessoais.

##### **2.4.1. Ciclo operacional do *feller-buncher***

Deslocamento e busca: iniciava quando o *feller-buncher*, após completar derrubada de um feixe, deslocava-se para a próxima árvore a ser abatida e finalizava quando a máquina apoiava o cabeçote na árvore.

Corte: começava após a máquina apoiar o cabeçote na árvore, sendo finalizado após o corte da última árvore, quando completava a capacidade de carga do cabeçote.

Derrubada: originava-se após o corte da última árvore, sendo concluído no momento em que todo o feixe de árvores estava sobre a superfície do solo.

#### **2.4.2. Ciclo operacional do *harvester***

Deslocamento e busca: iniciava quando a máquina finalizava o traçamento das toras, deslocava-se para a próxima árvore a ser processada e finalizava quando o cabeçote estava apoiado na árvore abatida.

Desgalhamento e descascamento: começava quando o cabeçote estava apoiado nas árvores, sendo finalizado quando a máquina terminava o desgalhamento.

Traçamento: iniciava quando o sabre era acionado, dando se inicio ao traçamento do primeiro torete, e finalizava após o traçamento do último torete.

#### **2.4.3. Ciclo operacional do *forwarder***

Deslocamento vazio: começava no momento em que o *forwarder* iniciava o deslocamento da beira da estrada em direção aos feixes de madeira localizados no interior do talhão e terminava no momento em que a máquina era posicionada ao lado do primeiro feixe de madeira a ser carregado, sendo acionada a grua hidráulica.

Carregamento: dava-se inicio no momento que o operador acionava a grua hidráulica para realizar o carregamento do primeiro feixe de madeira, e finaliza após a grua hidráulica ser posicionada sobre a caixa de carga totalmente completa.

Deslocamento carregado: iniciava no momento em que a máquina deslocava-se do interior do talhão em direção a beira da estrada e finalizava no momento que o autocarregável era posicionado ao lado da pilha de madeira.

Descarregamento: começava no momento em que a grua era acionada para realizar o descarregamento do primeiro feixe de madeira, sendo concluído após o posicionamento da grua sobre a caixa de carga vazia.

### **2.5. Estudo de tempos e movimentos**

O estudo foi realizado conforme a metodologia proposta por Barnes (1968), sendo que, preliminarmente, foi feito um estudo piloto com a coleta de 18 ciclos, para cada máquina, a fim de determinar o número mínimo de

observações, para um erro de amostragem fixado em 5%, por meio da Equação 1.

$$n = \frac{t^2 CV^2}{E^2}$$

eq. 1

onde:

n = número mínimo de ciclos operacionais necessários;

t = Valor de “t”, para o nível de probabilidade desejado (n-1);

CV = coeficiente de variação (%); e

E = erro admissível (%).

Para o *feller-buncher* foi calculado um número mínimo de 28 ciclos operacionais, para *harvester* 43 ciclos e para o *forwarder* 23 ciclos operacionais.

A coleta de dados de tempos e movimentos do *harvester* e *feller-buncher* foi efetuada pelo método multimomento, com frequência de coleta de dados a cada 15 segundos. Para o *forwarder* os dados foram coletados pelo método de cronometragem de tempo contínuo, sem detenção do cronômetro, registrando o início e o final de cada atividade.

Para medir o tempo gasto de cada atividade do ciclo operacional das máquinas foi utilizado um cronometro digital da marca Vollo<sup>®</sup>, modelo VL 1809. À distância percorrida pelo *forwarder* com o deslocamento vazio e deslocamento carregado foi mensurada com o hipsômetro da marca Laser Technology<sup>®</sup>, modelo *Trupulse* 200B, com distância de alcance de até 2.000 m.

## 2.6. Produtividade

A produtividade foi determinada em metros cúbicos de madeira com casca (*feller-buncher*) e sem casca (*harvester*) por hora efetiva de trabalho ( $m^3 \text{ he}^{-1}$ ), através da Equação 2.

$$P = \frac{V}{T} \quad \text{eq. 2}$$

onde:

P = Produtividade ( $\text{m}^3 \text{he}^{-1}$ );

V = volume na parcela ( $\text{m}^3$ ); e

T = Tempo gasto na parcela (min.).

O volume, em metros cúbicos de madeira, foi obtido multiplicando-se o número de árvores da parcela pelo volume médio individual das árvores, fornecido pelo inventário florestal da empresa.

Com relação ao *forwarder* a produtividade por hora efetiva de trabalho foi determinada por meio da Equação 3. Inicialmente foi determinado o volume da madeira empilhada ( $\text{m}^3$ ), obtido através da multiplicação de todas as dimensões da pilha (altura, largura e comprimento), sendo o mesmo convertido em volume de madeira sólida ( $\text{m}^3$ ), utilizando o fator de correção de 0,66, conforme Finger (1992). Posteriormente o volume de madeira sólida foi dividido pelo número de viagens (cargas) da máquina, obtendo assim o volume de madeira por carga.

$$P = \frac{Vc}{T} \quad \text{eq. 3}$$

onde:

P = produtividade ( $\text{m}^3 \text{he}^{-1}$ );

Vc = volume por carga ( $\text{m}^3$ ); e

T = Tempo gasto na parcela (horas).

## 2.7. Análise estatística dos dados

Foram marcadas 14 parcelas ou unidades experimentais para cada máquina. Cada parcela era constituída por três linhas com 25 árvores cada, totalizando 75 árvores e 576  $\text{m}^2$  de área. Para marcar as parcelas utilizou-se um *spray*. Os dados coletados foram avaliados através de uma estatística descritiva.

Foram realizadas análises de regressão do custo de produção em função da produtividade para todas as máquinas. Além dessas análises, para o *feller-buncher* foi realizada uma análise de regressão da variável resposta (produtividade) em função do número de ciclos operacionais. Para o *harvester* realizou-se uma regressão linear da produtividade em função do tempo gasto em cada ciclo operacional. Para o *forwarder* foi realizada uma análise de regressão linear da variável resposta, produtividade, em função da distância de extração. As análises foram feitas com o auxílio do software SigmaPlot 12.0.

## 2.8. Disponibilidade mecânica

As informações para o cálculo do parâmetro foi obtido por meio do banco de dados de empresa, sendo as mesmas empregadas na Equação 4.

$$DM = \frac{(HT - HPM)}{HT} 100 \quad \text{eq. 4}$$

onde:

DM = grau de disponibilidade mecânica (%);

HPM = horas de paradas para manutenção (h); e

HT = horas totais (h).

## 2.9. Eficiência operacional

A eficiência operacional, das máquinas, foi calculada através da Equação 5, sendo as informações obtidas através dos relatórios da empresa.

$$EO = \frac{He}{He + HPO} 100 \quad \text{eq. 5}$$

onde:

EO = Eficiência operacional (%);

He = Horas de trabalho efetivo (h); e

HPO = horas de paradas operacionais (h).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. *Feller-buncher*

##### 3.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional efetivo.

Para o estudo dessa máquina foram coletados 214 ciclos, sendo que o estudo piloto apontou a necessidade de coletar no mínimo 28 ciclos. O tempo total gasto nas 14 parcelas foi de 2,03 horas, sendo que foram derrubadas 1050 árvores, com média 4,83 árvores por ciclo.

O trator florestal cortador-acumulador apresentou um tempo médio de 33,57 segundos para cada ciclo. Esse resultado é semelhante com o encontrado por Simões et al. (2014) e Simões et al. (2010b), porém é inferior aos resultados encontrados por Araujo (2014) e Nascimento et al. (2011) devido o cabeçote da máquina utilizada pelos os autores ter maior capacidade de acúmulo, sendo que quanto maior o número de árvores acumuladas maior o tempo gasto no ciclo. A representatividade média de cada elemento que compõem o ciclo operacional do *feller-buncher* é mostrada na Figura 10.

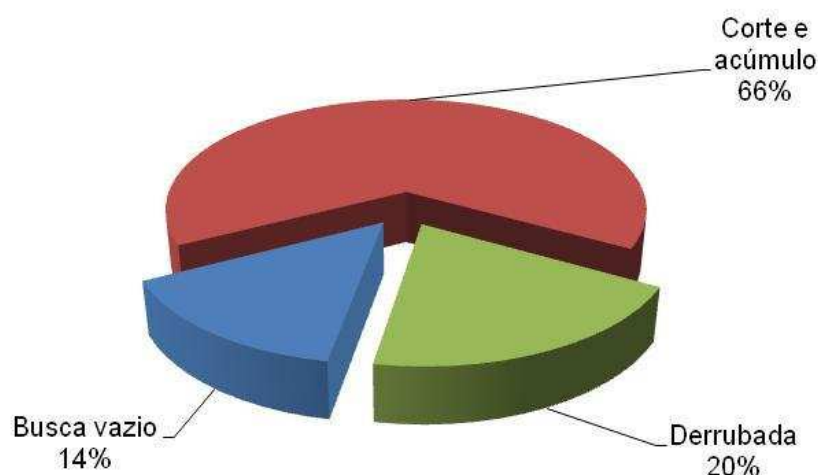


Figura 10 - Representatividade, em percentual, das operações que compõem o ciclo operacional efetivo do *feller-buncher*.

Dentre os elementos que compõem o ciclo operacional do *feller-buncher* o corte e acúmulo foi o que demandou maior quantidade de tempo, 66% que corresponde a 22,07 s. O alto poder de corte da serra de disco resultava em cortes rápidos, porém a boa capacidade de acúmulo do

cabeçote, que acumulava de 4 a 6 árvores por ciclo, foi o que mais contribuiu para aumentar o tempo da operação, pois quanto maior o número de árvores acumuladas maior o tempo gasto na operação. Esse valor é análogo com os encontrados por Simões et al. (2014), Nascimento et al. (2011).

Fernandes et al. (2009) avaliaram um sistema de colheita florestal de árvores inteiras e encontraram um tempo para o corte e acúmulo superior ao encontrado no presente trabalho, isso pode ter sido em razão da menor potência da máquina avaliada pelos autores, o que pode resultar em uma menor potência disponibilizada ao cabeçote, o que torna o corte mais demorado assim como diminui a velocidade de deslocamento da máquina na busca das árvores a serem abatidas.

A derrubada correspondeu a 20% do tempo total do ciclo operacional da máquina o que equivale a 6,60 s. O que contribuiu para reduzir o tempo da derrubada foi à boa articulação do cabeçote, pois o mesmo possibilitava o giro de até 312 graus o que facilitava a deposição do feixe de árvores sobre a superfície do solo. Valor semelhante foi encontrado por Araujo (2014), Nascimento et al. (2011), Fernandes et al. (2009) na produtividade de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e por Minette et al. (2008a).

Busca vazia foi o elemento de menor representatividade no ciclo operacional do *feller*, representando 14% que corresponde a 4,91 s. O baixo tempo desse elemento é devido ao baixo sub-bosque que facilitava a visibilidade do operador durante a busca e as boas condições do relevo. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Nascimento et al. (2011), Simões et al. (2010b) e Minette et al. (2008a). Já Simões et al. (2014) e Fernandes et al. (2009) encontraram valores superiores, possivelmente, em virtude das menores potências das máquinas estudadas pelos autores o que resulta em menor velocidade de deslocamento.

A partir do Quadro 1 é possível visualizar a estatística descritiva das operações. O elemento busca vazia demonstrou maior heterogeneidade nos dados, pois apresentou maior coeficiente de variação.

Já corte e acúmulo apresentou maiores valores de desvio padrão e erro padrão amostral, o que demonstra que os valores estão mais dispersos em torno da média, possivelmente, devido a máquina acumular de 4 a 6

árvores por ciclo operacional, fato este que aumenta ou diminui o tempo da atividade.

Quadro 1 – Estatística descritiva do ciclo operacional do *feller-buncher*.

Operações	Medidas de posição		
	$\bar{X}_p$ (s)		
Busca vazio	4,91		
Corte e acúmulo	22,07		
Derrubada	6,60		
Operações	Medidas de dispersão		
	$S_x$ (s)	CV (%)	$S_{\bar{x}}$ (s)
Busca vazio	1,75	35,74	0,47
Corte e acúmulo	1,93	9,09	0,54
Derrubada	1,27	19,21	0,34

$\bar{X}_p$  = média aritmética simples;  $S_x$  = desvio padrão amostral; CV = coeficiente de variação;  $S_{\bar{x}}$  = erro padrão da média.

### 3.1.2. Produtividade

O *feller-buncher* apresentou uma produtividade média de 137,57 m<sup>3</sup>cc he<sup>-1</sup>, que corresponde a 517 árvores abatidas por hora efetiva de trabalho. Valor considerado alto quando comparado com os dados de produtividade do banco de dados da empresa. A alta produtividade da máquina é devido às boas condições do terreno, não declivoso, a habilidade do operador e a alta potência da máquina que possibilitava um corte rápido das árvores e facilitava o deslocamento da máquina dentro das parcelas. Outro fator que contribuiu para o aumento da produtividade foi a boa capacidade de acúmulo do cabeçote, pois, quanto maior o número de árvores acumuladas por ciclo menor era o tempo gasto na parcela e em consequência maior a produtividade.

Nascimento et al. (2011) analisou técnica e economicamente o corte com *feller-buncher*, em duas posições de tombamento de árvores e encontrou valores inferiores aos do presente trabalho, isso pode ser devido ao menor volume por hectare da área estudado pelos autores, associado com a menor potência da máquina avaliada pelos mesmos.

Oliveira Junior et al. (2009) avaliando a produtividade do *feller-buncher* em áreas de relevo acidentado encontrou valor inferior ao do presente trabalho, provavelmente, em razão da área estudada pelos autores

apresentar relevo acentuado, menor volume por hectare, baixa sobrevivência das árvores e menor potência da máquina.

No Quadro 2 é mostrado a estatística descritiva da produtividade da máquina avaliada. É possível verificar que foi obtido um valor relativamente baixo de desvio padrão, erro padrão e coeficiente de variação, o que mostra a homogeneidade das parcelas quanto a tamanho, declividade do terreno, características dendrométricas das árvores, condições climáticas e tamanhas do sub-bosque.

Quadro 2 - Estatística descritiva da produtividade do *feller-buncher* em metros cúbicos por hora efetiva de trabalho (m<sup>3</sup>).

	Medidas de posição		
	$\bar{X}_p$ (m <sup>3</sup> cc he <sup>-1</sup> )		
Produtividade	137,57		
	Medidas de dispersão		
	$S_x$ (m <sup>3</sup> )	CV (%)	$S_{\bar{x}}$ (m <sup>3</sup> )
	12,21	8,87	3,26

$\bar{X}_p$  = média aritmética simples;  $S_x$  = desvio padrão amostral; CV = coeficiente de variação;  $S_{\bar{x}}$  = erro padrão da média.

Na Figura 11 é mostrado uma regressão linear da produtividade (m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>) em função do número de ciclos operacionais por hora, onde é possível verificar que a produtividade do *feller-buncher* diminui de maneira linear com o aumento do número de ciclos operacionais da máquina. Isso é possível porque quanto menor o número de ciclos, menor será o tempo gasto para realizar a operação e em consequência maior é a produtividade.

Para a variável dependente (produtividade), a variável independente (número de ciclos operacionais) originou um coeficiente de determinação que explicou 81% da produtividade. O aumento de um ciclo operacional por hora efetiva de trabalho ocasiona um decréscimo de 1,089 m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup> na produtividade da máquina.

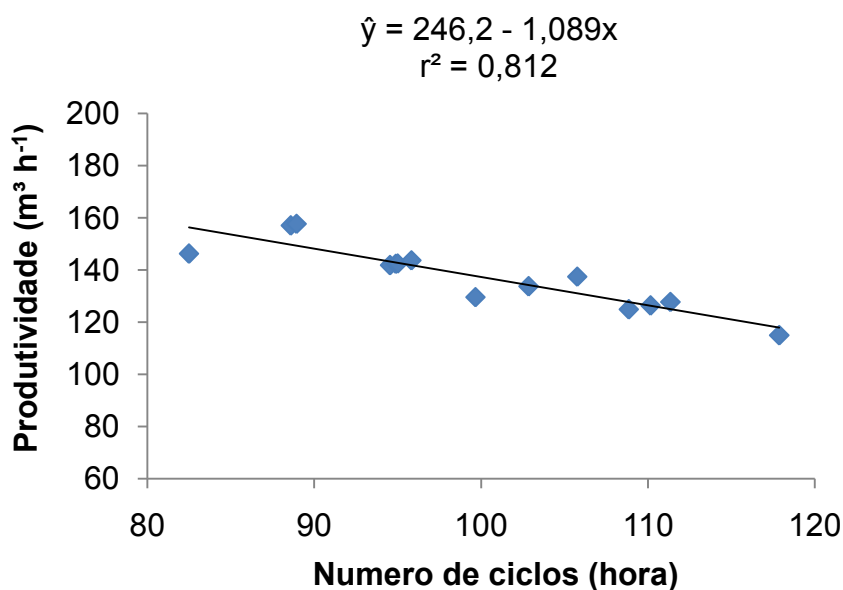


Figura 11 – Equação de regressão da variável produtividade ( $m^3\ he^{-1}$ ) em função do número de ciclos operacionais do *feller-buncher*.

### 3.1.3. Disponibilidade mecânica

O *feller-buncher* apresentou uma disponibilidade mecânica de 70% para o período avaliado, valor abaixo da meta de disponibilidade mecânica da empresa (Quadro 3). O valor também é muito abaixo do esperado, pois, no momento do estudo o horímetro da máquina marcava 6.643 horas de trabalho, ou seja, a máquina estava no início do segundo ano de vida útil. Esse baixo valor é devido as máquinas estarem em período de teste e o fabricante disponibilizava apenas uma equipe de manutenção para atender os três módulos de colheita da empresa, sendo que cada módulo tinha dois *feller-bunchers*. Mediante isso quando uma máquina quebrava era preciso esperar a equipe de manutenção chegar até o local para fazer a manutenção corretiva.

Quadro 3 – Valor da meta de disponibilidade mecânica (MD), quantidade de horas programadas para o trabalho (HPT), horas trabalhadas (HT), horas efetivamente trabalhadas (HE), horas de paradas para manutenção (HPM), e disponibilidade mecânica (%) durante o período de 18 dias.

MD (%)	HPT (h)	HT (h)	HE (h)	HPM (h)	DM (%)
84	288:00:00	212:00:00	117:04:00	64:10:00	69,73

É provável que a falta de uma equipe de manutenção disponível durante todo o turno de trabalho tenha prejudicado a manutenção preventiva das máquinas ou diminuído a qualidade da mesma, e em consequência diminui a disponibilidade mecânica da máquina. Segundo Fontes & Machado (2014) para que se tenha uma boa qualidade nos serviços de manutenção é necessário dispor de uma equipe bem dimensionada e bem treinada compatível com a demanda de serviços. Segundo os mesmos autores a manutenção preventiva quando realizada de forma correta tende a aumentar a capacidade produtiva da máquina.

Fiedler et al. (2008) ao analisarem a disponibilidade mecânica de um sistema árvores inteiras encontraram resultado inferior ao do presente trabalho, isso em virtude dos autores terem realizado a pesquisa próximo ao período programado para realizar a manutenção preventiva das máquinas, sendo que nesse período a máquina está mais suscetível a falhas mecânicas devido o desgaste das peças.

Simões et al. (2014) encontraram uma disponibilidade mecânica de 97% para um *feller-buncher* de esteira, valor bem acima do encontrado no atual trabalho, em virtude da máquina estudada pelos autores ter 3.680 horas de trabalho, sendo que quanto mais nova a máquina maior a disponibilidade mecânica.

Já Araujo (2014) estudou a disponibilidade mecânica de um *feller-buncher* da marca Cartepillar<sup>®</sup>, modelo 541, e obteve um valor superior ao da atual pesquisa, possivelmente devido a não disponibilização de uma equipe de manutenção para acompanhar as operações da máquina estudada no atual trabalho.

#### **3.1.4. Eficiência operacional**

No Quadro 4 consta a meta de eficiência operacional da empresa, a eficiência operacional e os valores utilizados para determinar a EO.

Quadro 4 – Valor da meta de eficiência operacional (ME), quantidade horas programadas para o trabalho (HPT), horas trabalhadas (HT), horas efetivamente trabalhadas (HE), horas de paradas operacionais (HPO) e eficiência operacional (%) durante o período de 18 dias.

ME (%)	HPT (h)	HT (h)	HE (h)	HPO (h)	EO (%)
84	288:00:00	212:00:00	117:04:00	30:46:00	79,19

A máquina avaliada apresentou uma eficiência operacional média igual a 80%, valor considerado satisfatório, pois segundo Machado (1989) a eficiência das máquinas de colheita florestal não deve ser menor que 70%, porém a mesma é abaixo da meta estabelecida pela empresa.

Resultados semelhantes foram encontrados por Araujo (2014) e Fernandes et al. (2009), porém Simões et al. (2014) encontraram valor superior ao do vigente trabalho, provavelmente, devido ao menor número de paradas operacionais durante a pesquisa dos autores.

## 3.2. *Harvester*

### 3.2.1. Análise dos elementos do ciclo operacional efetivo

Para o estudo de tempos e movimentos do *harvester* foram coletados 1.050 ciclos, sendo que o estudo piloto apontou a necessidade de coletar no mínimo 43 ciclos. O tempo total gasto nas 14 parcelas foi de 8,54 horas, sendo que foram derrubadas 1.050 árvores, ou seja, cada árvore representava um ciclo operacional da máquina. Na Figura 12 está a representatividade média de cada elemento que compõem o ciclo operacional da máquina estudada.

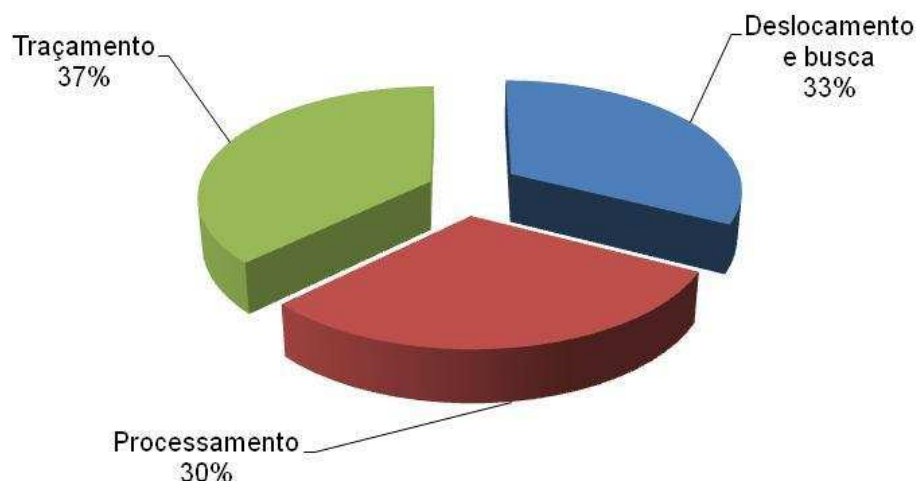


Figura 12 - Representatividade, em percentual, das operações que compõem o ciclo operacional efetivo do *harvester*.

O tempo necessário para que o *harvester* completasse seu ciclo operacional, ou seja, tempo gasto para máquina buscar, processar e traçar uma árvore de eucalipto de 27 m de altura e 18 cm de diâmetro foi de 29,29 s, que equivale a 0,48 min.

Oliveira (2013), Paula (2011) e Martins (2008) encontraram um tempo médio para o ciclo operacional das máquinas de 30 s, 27 s e 37 s, respectivamente, valores próximos ao encontrado na atual pesquisa, apesar das diferenças nas atividades que compõem o ciclo operacional das máquinas.

Lopes et al. (2007) encontraram valor superior ao do presente trabalho, tal fato pode ser justificado devido a presença de declividade na área, maior volume individual das árvores e por a máquina realizar o corte das árvores sendo que todas as características dificultam a realização do ciclo operacional da máquina.

Valor inferior foi encontrado por Simões et al. (2010a), possivelmente, em virtude do maior número de árvores por hectare, que em consequência diminui o tempo gasto com deslocamento da máquina em busca de novas árvores a serem abatidas.

A atividade traçamento foi a que requereu maior quantidade de tempo para ser completada, representando 37% do tempo do ciclo operacional da máquina. Para cada árvore processada era necessário a realização de 4 traçamentos em média, além do destopamento das toras, o que contribuía

para aumentar o tempo da atividade. Outro fator que colaborou para aumentar o tempo do traçamento foi que o sabre em alguns momentos prendia nas árvores e em consequência não realizava o corte, sendo necessário o reposicionamento do mesmo na tora.

Na pesquisa realizada por Seixas e Batista (2014), ao pesquisarem *harvesters* de esteiras, a atividade traçamento foi a que demandou maior quantidade de tempo, representando 34,8% do tempo do ciclo operacional da máquina, resultado similar ao da atual pesquisa.

O elemento deslocamento e busca necessitou de 33% do tempo do ciclo operacional da máquina para ser concluído. As toras que formavam os feixes, deixados pelo *feller-buncher*, ficavam muito próximas umas das outras e isso dificultava a busca, constantemente o cabeçote tinha problemas para pegar individualmente as toras e por isso pegava duas ou três toras, sendo necessária a dispensa do excesso, pois o cabeçote só processa uma tora de cada vez. Outro fator que contribui para aumentar o tempo desse elemento era que, frequentemente, o operador da máquina arrumava as pilhas de toras processadas, formadas pelo *harvester*, com o objetivo de facilitar o carregamento realizado pelo *forwarder*.

Costa (2012) quando avaliou tempos e movimentos de um *harvester* em floresta de eucalipto encontrou um tempo de 8,2 s para a atividade, tempo semelhante ao do presente trabalho.

Simões et al. (2010a) ao avaliarem um *harvester* da marca *Caterpillar*<sup>®</sup>, modelo CAT 320 CL e Lopes et al. (2007) um *harvester* da marca *Caterpillar*<sup>®</sup>, modelo CAT 320 *Short Tail* encontraram valores inferiores ao do vigente trabalho, devido as atividades das máquinas dos referidos autores compreender apenas o deslocamento da máquina no talhão, desconsiderando o tempo gasto para buscar as árvores.

O processamento, que compreendia as atividades de desgalhamento e descascamento, foi o elemento com menor representatividade no ciclo operacional do *harvester*, representando 30%. Árvores de fuste reto e a presença de galhos somente na parte superior das toras, próximo a copa das árvores, contribuíram para reduzir o tempo da atividade.

Na pesquisa realizada por Burla (2008) a atividade desgalhamento e descascamento compreendeu 29% do tempo do ciclo operacional da máquina, percentual semelhante ao da atual pesquisa.

Costa (2012) e Lopes et al. (2007) ambos ao pesquisarem o corte de madeira com *harvester* obtiveram valores acima do encontrado na atual pesquisa, devido o processamento realizado pelas máquinas dos autores, compreender o traçamento, atividade esta que foi considerada a parte, na atual pesquisa.

A partir do Quadro 5 é possível visualizar a estatística descritiva de cada elemento que compõem o ciclo operacional do *harvester*. O processamento foi o elemento que apresentou maiores valores para as medidas de dispersão, indicando maior dispersão dos valores em torno da média. Essa variação era provocada porque em algumas toras os operadores passavam mais vezes os rolos descascadores sobre as toras, do que em outras toras, tal fato aumentava ou diminuía o tempo da operação, que em consequência resultava na variação do tempo da atividade.

Quadro 5 - Estatística descritiva do ciclo operacional do *harvester* em segundos (s).

Operações	Medidas de posição		
	$\bar{X}_p$ (s)		
Deslocamento e busca	9,51		
Processamento	8,89		
Traçamento	10,89		
Operações	Medidas de dispersão		
	$S_x$ (s)	CV (%)	$S_{\bar{x}}$ (s)
Deslocamento e busca	0,83	8,71	0,22
Processamento	1,11	12,48	0,30
Traçamento	0,93	8,52	0,25

$\bar{X}_p$  = média aritmética simples;  $S_x$  = desvio padrão amostral; CV = coeficiente de variação;  $S_{\bar{x}}$  = erro padrão da média.

### 3.2.2. Produtividade

Os resultados mostram uma produtividade média para o *harvester* igual a 32,01 m<sup>3</sup>sc he<sup>-1</sup>, que equivale a 123 árvores processadas e traçadas por hora efetiva de trabalho. Valor superior quando comparado com os valores de produtividade da empresa, possivelmente, em virtude das condições climáticas favoráveis no momento do estudo, relevo plano da área

e por ser produtividade por hora efetiva de trabalho, ou seja, desconsiderando as horas com paradas.

Oliveira (2013) quando avaliou o processamento de toras realizadas por uma máquina base da marca John Deere<sup>®</sup>, modelo 903j, acoplado a um cabeçote *harvester* da marca Haratah<sup>®</sup>, modelo HTH622B, encontrou uma produtividade de 33,6 m<sup>3</sup>cc h<sup>-1</sup>.

Já Leite et al. (2014) em pesquisa com *harvester* cortando e processamento madeira, encontraram uma produtividade de 31,50 m<sup>3</sup>sc he<sup>-1</sup>, para um espaçamento de povoamento de 3x4 e volume individual das árvores de 0,40 m<sup>3</sup>.

Seixas e Batista (2014) encontraram uma produtividade de 36,05 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, para o *harvester* da marca Komatsu<sup>®</sup>, modelo PC 228, valor semelhante ao da atual pesquisa, apesar da máquina avaliada pelos autores realizar o corte e processamento das árvores. A partir da análise dos valores da estatística descritiva, Quadro 6, percebe-se pequenos valores para as medidas de dispersão, em virtude do pequeno intervalo de variação da produtividade que foi de 30 a 34 m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>.

Quadro 6 - Estatística descritiva da produtividade do *harvester* em metros cúbicos por hora efetiva de trabalho (m<sup>3</sup>sc he<sup>-1</sup>).

	Medidas de posição		
	$\bar{X}_p$ (m <sup>3</sup> cc he <sup>-1</sup> )		
	32,01		
	Medidas de dispersão		
	$S_x$ (m <sup>3</sup> )	CV (%)	$S_{\bar{x}}$ (m <sup>3</sup> )
Produtividade	1,00	3,13	0,27

$\bar{X}_p$  = média aritmética simples;  $S_x$  = desvio padrão amostral; CV = coeficiente de variação;  $S_{\bar{x}}$  = erro padrão da média.

Na Figura 13 consta regressão linear da produtividade em função do tempo gasto em cada ciclo operacional do *harvester*. Verifica-se que o aumento do tempo no ciclo operacional da máquina causa redução na produtividade da mesma. O aumento de 1 segundo no ciclo operacional do *harvester* resulta na queda de 1,08m<sup>3</sup> de madeira sem casca por hora efetiva de trabalho.

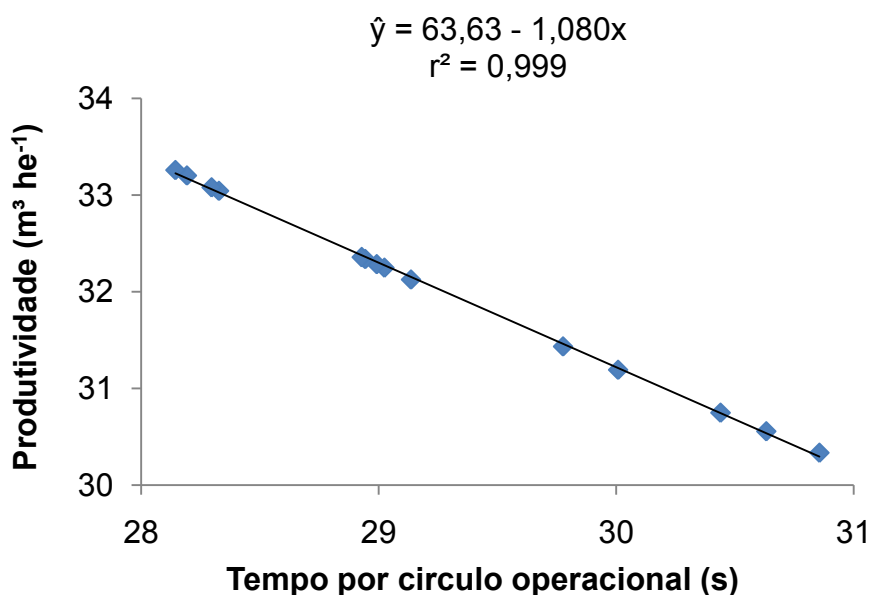


Figura 13 - Equação de regressão da variável produtividade ( $\text{m}^3 \text{he}^{-1}$ ) em função do tempo gasto (s) em cada ciclo operacional do *harvester*.

### 3.2.3. Disponibilidade mecânica

A meta de disponibilidade mecânica (MD), e os demais valores utilizados para orçar a disponibilidade mecânica são mostrados no Quadro 7.

A máquina apresentou uma disponibilidade mecânica de 87% durante o período do estudo, valor acima da meta da empresa. Devido o alto valor de DM, pode-se afirmar que existe um bom gerenciamento na manutenção das máquinas, tanto a manutenção preventiva como a corretiva. Segundo Fontes e Machado (2014) o aumento da disponibilidade mecânica de uma máquina é devido à redução do número de falhas ocorridas, aumento da rapidez com que as falhas são corrigidas e melhora na qualidade do trabalho.

Quadro 7 – Valores da meta de disponibilidade mecânica (MD), quantidade de horas programadas para o trabalho (HPT), horas trabalhadas (HT), horas efetivamente trabalhadas (HE), horas de paradas para manutenção (HPM), e disponibilidade mecânica (%) durante o período de 18 dias.

MD (%)	HPT (h)	HT (h)	HE (h)	HPM (h)	DM (%)
83	288:00:00	274:00:00	201:21:00	36:31:00	86,67

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2010) quando avaliaram o *harvester* da marca John Deere®, modelo 200C LC, e Simões e Fenner (2010b) ao estudarem uma máquina base da marca

Cartepillar<sup>®</sup>, acoplada ao um cabeçote *harvester* da marca Waratah<sup>®</sup>, modelo 616.

A disponibilidade mecânica encontrada foi bem acima da determinada por Robert (2013), tal fato pode ser justificado devido à máquina estudada pelo autor ter quebrado durante a realização do estudo, sendo o conserto realizado fora da área de trabalho, o que gastou muito do tempo programado para o trabalho.

#### 3.2.4. Eficiência operacional

No Quadro 8 é mostrado a meta de eficiência operacional (ME), e os valores utilizados para calcular a eficiência operacional da máquina.

Constatou-se uma eficiência operacional de 85% para o *harvester*, valor satisfatório, pois atendeu a meta estabelecida pela empresa. Valores similares foram encontrados por Simões e Fenner (2010b) e Lopes et al. (2007).

Quadro 8 – Valor médio da meta de eficiência operacional (ME), quantidade horas programadas para o trabalho (HPT), horas trabalhadas (HT), horas efetivamente trabalhadas (HE), horas de paradas operacionais (HPO) e eficiência operacional (%) durante o período de 18 dias.

ME (%)	HPT (h)	HT (h)	HE (h)	HPO (h)	EO (%)
83	288:00:00	274:00:00	201:21:00	36:08:00	84,78

Resultados inferiores, aos do presente trabalho foram encontrados por Robert (2013), segundo o autor devido á máquina estar em período de testes e por isso demandava maior numero de paradas em razão da necessidade de realizar ajustes no programa computacional de registro de dados.

Silva et al. (2010) analisaram um sistema mecanizado e verificaram um valor de eficiência operacional inferior ao do presente trabalho, em virtude do cabeçote ter apresentado problemas de desgastes no sabre.

### **3.3. Forwarder**

#### **3.3.1. Análise dos elementos do ciclo operacional efetivo**

Para realizar o estudo de tempos e movimentos do *forwarder* foram coletados 47 ciclos operacionais da máquina, sendo que o estudo piloto apontou a necessidade de coletar 23 ciclos. O estudo durou 14,57 horas, sendo extraído cerca 587 m<sup>3</sup>sc, de madeira de uma distância média de extração igual a 186 metros.

O *forwarder* demorou 1.116 segundos, que equivale a 18,60 minutos para completar seu ciclo operacional, ou seja, tempo gasto para realizar o deslocamento vazio, carregamento, deslocamento carregado e descarregamento, resultado semelhante foi encontrado por Minette et al., (2004).

Oliveira et al. (2009) quando trabalharam com um *forwarder* da marca Valmet<sup>®</sup>, encontraram um tempo médio para o ciclo operacional da máquina de 27 min., para uma distância média de extração de 120,5 m, valor superior ao encontrado no presente trabalho, possivelmente, devido ao menor volume e comprimento das toras extraídas pela máquina avaliada pelos referidos autores, já que as máquinas comparadas apresentam a mesma capacidade carga, sendo que quanto menor for o volume e o tamanho dos toretes maior será o número de toras a serem carregadas e descarregadas e em consequência irá aumentar o tempo das atividades mencionadas.

Na Figura 14 é apresentada a distribuição, em porcentagem, de cada elemento que compõe o ciclo operacional da máquina. Como pode ser observado o carregamento e descarregamento consumiram 75% do tempo do ciclo operacional da máquina. Esse resultado confirma a afirmação de Seixas e Castro (2014), pois segundo os autores a maior parte do tempo operacional do *forwarder* é gasto com carga e descarga. Segundo os mesmos autores a rapidez com que essas atividades são realizadas, depende basicamente da capacidade de carga da grua e do alcance da mesma. Nas pesquisas de Souza (2013), Oliveira et al. (2009) e Minette et al. (2004) as atividades mencionadas representaram, respectivamente, 75; 78; e 80% do ciclo operacional das máquinas.

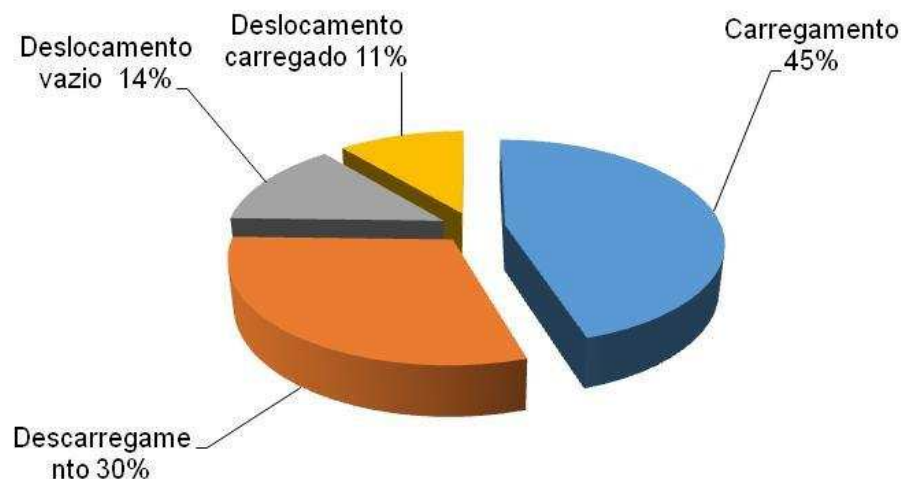


Figura 14 - Representatividade, em percentual, das operações que compõem o ciclo operacional efetivo do *forwarder*.

Bentel (2006) ao avaliar três subsistemas de colheita florestal encontrou valores superiores para o carregamento e descarregamento, quando comparados com os valores do atual trabalho, tal fato pode ser justificado devido à menor potência do *forwarder* avaliado pelo autor, já que as características das gruas das máquinas comparadas são similares.

Apesar do carregamento e descarregamento serem atividades parecidas, normalmente, o carregamento demanda maior quantidade de tempo para ser realizado, em razão da máquina realizar várias “estacionadas” ao lado das pilhas que ficam equidistantes no interior do talhão. Quanto maior o volume de madeira nas pilhas menor será o número de estacionadas e em consequência menor será o tempo do carregamento.

Deslocamento vazio e deslocamento carregado representaram 14% e 11%, respectivamente, do ciclo operacional. O motivo que leva o deslocamento vazio consumir mais tempo, apesar de maior velocidade de deslocamento, é devido à maior distância que a máquina percorre para realizar o carregamento, pois a partir do momento que a máquina realizava o carregamento dos feixes no ramal, a mesma se aproximava mais da margem da estrada e em consequência reduzia a distância que a máquina percorria carregada.

Os resultados dos elementos deslocamento vazio e carregado são semelhantes com os encontrados por Bentel (2006). Já Minette et al. (2004) ao pesquisarem a extração de madeira em diferentes distâncias de extração

encontraram valores inferiores para os elementos, em razão das menores distância de extração.

No Quadro 9 estão apresentadas as equações estimadas do deslocamento vazio e deslocamento carregado com seus respectivos coeficientes de determinação. Para uma mesma distância de extração o deslocamento carregado demora mais tempo para completar o percurso, isso é em virtude da máquina esta carregada o que requer uma menor velocidade de deslocamento.

Quadro 9 - Equações de regressão ajustadas do tempo gasto com deslocamento com carga e sem carga, em função da distância de extração.

Equações estimadas	r <sup>2</sup> (%)
DÊSV = 0,647*X + 29,41	85
DÊSC= 0,651*X + 30,66	81

DÊSV: deslocamento vazio (s); DÊSC: deslocamento carregado (s); r<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; X: distância de extração (m); CV: coeficiente de variação; \*: significativo a 5%.

No Quadro 10 encontra-se a estatística descritiva dos elementos que compõem o ciclo operacional da máquina. Ambos os deslocamentos apresentaram os maiores valores para as medidas de dispersão, isso é devido à variação da distância de extração, que em consequência aumenta ou diminui o tempo das operações.

Quadro 10 - Estatística descritiva do ciclo operacional do *forwarder* em segundos (s).

Operações	Medidas de posição		
	$\bar{X}_p$ (s)		
Deslocamento vazio	150		
Carregamento	505		
Deslocamento carregado	124		
Descarregamento	337		
Operações	Medidas de dispersão		
	$S_x$ (s)	CV (%)	$S_{\bar{x}}$ (s)
Deslocamento vazio	58	38,68	8,49
Carregamento	31	6,15	4,52
Deslocamento carregado	53	42,77	7,72
Descarregamento	22	6,58	3,24

$\bar{X}_p$  = média aritmética simples;  $S_x$  = desvio padrão amostral; CV = coeficiente de variação;  $S_{\bar{x}}$  = erro padrão da média.

### 3.3.2. Produtividade

O *forwarder* extraiu 36,28 m<sup>3</sup>sc de madeira por hora efetiva de trabalho. Dois fatores podem ter contribuído de forma negativa na produtividade da máquina: 1) Frequentemente, durante o carregamento, a grua que coloca as toras em cima da caixa de carga, não era operada em sua capacidade máxima e 2) O operador realizava o carregamento em um único sentido do ramal, o que de certa forma aumentava a distância de extração, pois a máquina tinha que voltar no mesmo local para carregar às pilhas que ficavam paralelas as pilhas que já tinham sido carregadas.

Minette et al. (2004) quando avaliaram o *forwarder* em 3 subsistemas de colheita encontrou valores similares ao do atual trabalho nos subsistemas 1 e 2. Valores similares também foram encontrados por Oliveira et al. (2009) nos sortimentos 5 e 6.

Em outro trabalho conduzido por Minette et al. (2008b) foi encontrado valor inferior ao do atual trabalho, em virtude das toras extraídas pelo *forwarder* estudado pelos referidos autores terem apenas 2,80 metros de comprimento, o que acarreta aumento de espaços vazios e em consequência diminui a quantidade de madeira transportada.

Os valores referentes às medidas de posição e dispersão podem ser visualizados a partir da estatística descritiva da variável apresentada no Quadro 11. O valor de coeficiente de variação obtido é considerado baixo,

assim como os demais valores de medidas de dispersão, possivelmente, devido à homogeneidade das parcelas, associado a pouca variação do tempo do total do ciclo operacional da máquina.

Quadro 11 - Estatística descritiva da produtividade do *forwarder* em metros cúbicos por hora efetiva de trabalho ( $m^3sc\ he^{-1}$ ).

	Medidas de posição		
	$\bar{X}_p$ ( $m^3cc\ he^{-1}$ )		
Produtividade	36,28		
	Medidas de dispersão		
	$S_x$ ( $m^3$ )	CV (%)	$S_{\bar{x}}$ ( $m^3$ )
	3,49	9,63	0,51

$\bar{X}_p$  = média aritmética simples;  $S_x$  = desvio padrão amostral; CV = coeficiente de variação;  $S_{\bar{x}}$  = erro padrão da média.

A regressão linear da variável dependente (produtividade) em função da variável independente (distância de extração) é mostrada na Figura 15, sendo que 72% da variação da variável dependente é explicada. A partir desta Figura é possível verificar que a produtividade do *forwarder* diminui quando a distância de extração aumentou isso é em virtude da máquina demandar mais tempo para realizar o deslocamento vazio e deslocamento carregado. Tal característica é enfatizada por Oliveira et al. (2009), pois os mesmos avaliaram a produtividade do *forwarder* em diferentes distância de extração encontrou o mesmo resultado.

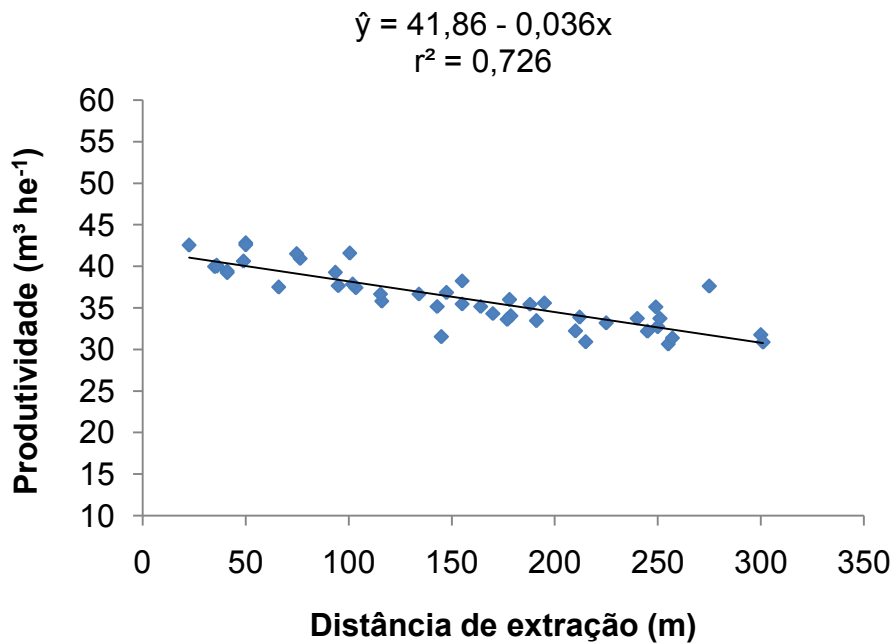


Figura 15 – Equação de regressão da variável produtividade (m³ he<sup>-1</sup>) em função da distância de extração (m).

### 3.3.3. Disponibilidade mecânica

Os valores, em horas, utilizados para realizar o cálculo da disponibilidade mecânica, assim como a meta de disponibilidade mecânica da empresa, podem ser visualizados no Quadro 12. A disponibilidade mecânica da máquina foi de 85%, valor idêntico ao estipulado pela empresa. A máquina apresentou uma DM menor que 90%, possivelmente, devido no momento do estudo a máquina ter 17.126 horas trabalhadas, sendo que quanto mais próximo a máquina estiver do final de sua vida útil mais susceptível ela fica de apresentar falhas mecânicas, devido, a mesma trabalhar com material pesado e em condições adversas de clima e relevo o que pode aumentar a quebra de peças e em consequência diminuir a DM. Resultados similares foram encontrados por Simões e Fenner (2010a)

Robert (2013) ao pesquisar um *forwarder* da marca Komatsu Forest®, em diferentes condições de operação encontrou valores além dos encontrados no atual trabalho, em razão da máquina estudada por ele ter apenas 529 horas de trabalho.

Quadro 12 - Valores da meta de disponibilidade mecânica (MD), quantidade de horas programadas para o trabalho (HPT), horas trabalhadas (HT), horas efetivamente trabalhadas (HE), horas de paradas para manutenção (HPM), e disponibilidade mecânica (%) durante o período de 18 dias.

MD (%)	HPT (h)	HT (h)	HE (h)	HPM (h)	DM (%)
84	288:00:00	275:00:00	199:21:00	43:47:00	84,08

### 3.3.4. Eficiência operacional

A partir do Quadro 13 é possível visualizar os valores utilizados para determinar a eficiência operacional e a meta de eficiência operacional da empresa (ME). Durante o período do estudo constatou-se uma eficiência operacional de 86% para a máquina avaliada. Resultado semelhante foi encontrado por Simões e Fenner (2010a).

Robert (2013) encontrou valores médios de EO de 69,4 e 60,7% em áreas com diferentes declividades. Segundo o mesmo autor a baixa eficiência da máquina é devido à falta de balanceamento de produção entre as operações de corte e a extração, pois frequentemente o *forwarder* ficava parado, aguardando o *harvester* finalizar um eito ou talhão, para iniciar a extração.

Quadro 13 – Valor meta de eficiência operacional (ME), quantidade de horas programadas para o trabalho (HPT), horas trabalhadas (HT), horas efetivamente trabalhadas (HE), horas de paradas operacionais (HPO) e eficiência operacional (%) durante o período de 18 dias.

ME (%)	HPT (h)	HT (h)	HE (h)	HPO (h)	EO (%)
85	288:00:00	275:00:00	199:21:00	31:17:00	86,43

### 3.4. Avaliação do subsistema

No Quadro 14 é mostrado um resumo dos valores médios das produtividades das máquinas. O módulo de colheita avaliado apresentou uma produtividade média de  $32,01 \text{ m}^3\text{sc he}^{-1}$ , apesar da produtividade do *feller-buncher* ser superior a esse valor e também a produtividade das demais máquinas, o *harvester* limita a produtividade do subsistema, já que apresenta a menor produtividade. Para a otimização do subsistema, ou seja, tudo que seja produzido pelo *feller-buncher*, seja processado pelo *harvester*

e extraído pelo *forwarder* momentaneamente, é necessário a introdução de quatro *harvester* e três *forwarder* e dessa forma as máquinas poderiam trabalhar simultaneamente, respeitando a distância de segurança, e o subsistema apresentaria uma produtividade média de 128,04 m<sup>3</sup>sc por hora efetiva de trabalho.

Quadro 14 – Valores médios das produtividades de cada máquina.

Variável	Máquinas		
	<i>Feller-buncher</i>	<i>Harvester</i>	<i>Forwarder</i>
Produtividade (m <sup>3</sup> he <sup>-1</sup> )	137,57	32,01	36,28

A partir do Quadro 15 é possível visualizar uma simulação da produtividade do *harvester* em diferentes volumes, onde a produtividade da máquina aumenta com o aumento do volume individual das árvores.

Quadro 15 – Simulação da produtividade do *harvester* (m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>), em função do volume individual das árvores (m<sup>3</sup>/árv).

Volume (m <sup>3</sup> /árv)	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40
Prod. (m <sup>3</sup> /he)	24,63	27,09	29,55	32,01	34,48	36,94	39,40	41,86	44,33	46,79	49,25

Em trabalho desenvolvido por Burla (2008) a produtividade média do *harvester* executando o corte e processamento das árvores, foi de 28 m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup> para um volume individual de 0,23 m<sup>3</sup> por árvore.

Já Seixas e Batista (2014) ao avaliarem as operações de corte e processamento do *harvester* da marca Volvo®, modelo EC 210 B, determinou uma produtividade de 37,10 m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>, para um volume individual de 0,33 m<sup>3</sup> árv<sup>-1</sup>.

Quando Simões e Fenner (2010b) estudaram o desempenho do *harvester* em diferentes classes de declividade, foi encontrada uma produtividade média por hora efetiva de trabalho igual a 43,15 e 36,87 m<sup>3</sup> nas declividades de 5,85 e 6,75°, respectivamente, para um volume individual de 0.33 m<sup>3</sup> árv<sup>-1</sup>.

A partir dos resultados comparados, percebe-se que não existe muita diferença na produtividade do *harvester* cortando e processamento e somente processando árvores, o que pode ser explicado devido o tempo gasto com o elemento busca e corte, ser equivalente ao tempo gasto com o deslocamento e busca das árvores deixadas pelo *feller-buncher*, já que as toras ficavam muito próximas uma das outras e em consequência dificultava que o cabeçote pegasse as toras individualmente. Frequentemente o cabeçote levantava duas ou três toras simultaneamente, sendo necessária a dispensa das toras e repetir a operação de busca, já que o cabeçote processa uma tora por vez. Essa ação provocava o aumento do tempo do ciclo operacional da máquina e em consequência reduzia a produtividade da máquina.

Mediante isso a introdução de mais uma máquina, como o *feller-buncher*, não aumenta a produtividade do subsistema, já que o subsistema convencional formado por *harvester* e *forwarder* apresenta a mesma produtividade quando comparado com o subsistema avaliado na atual pesquisa.

#### 4. CONCLUSÕES

O corte e acúmulo, traçamento e carregamento foram as atividades mais representativas no ciclo operacional do *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder*, respectivamente, sendo necessárias medidas mitigadoras para aperfeiçoar as atividades.

O *feller-buncher* foi a máquina que apresentou maior produtividade por hora efetiva de trabalho.

O *harvester* apresentou a maior disponibilidade mecânica e o *forwarder* a maior eficiência operacional.

O *harvester* limitou a produtividade do subsistema, o que inviabiliza a utilização do subsistema analisado.

## **5. RECOMENDAÇÕES**

Recomenda-se a realização do mesmo estudo, porém em diferentes volumes das árvores, declividades, volume por hectare e espaçamento do povoamento.

Recomenda-se a realização de uma análise técnica comparando o harvester cortando e processando madeira com a máquina apenas processando as toras, em diferentes volumes das árvores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSSON, S.; LAESTADIUS, L. *Efficiency in highly mechanized wood harvesting systems*. SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, 1., 1987, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Fupef, 1987. p. 133-143.

ARAÚJO, L. C. **Influência de corredores ecológicos na produtividade de máquinas de colheita florestal**. 65 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – UFVJM, Diamantina – MG, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico**: ano base 2012/ABRAF. Brasília, DF, 2013. 146 p.

BARNES, R.M. **Motion and time study**: design and measurement of work. 6 ed. New York: John Willey & Sons, 1968. 799 p.

BANTEL, C. A. Análise de extração de madeira de eucalipto com *forwarder* em floresta de primeira e segunda rotação. 126 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP, Botucatu – SP, 2006.

BURLA, E. R. **Avaliação técnica e econômica do harvester na colheita do eucalipto**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

COSTA, E. M. **Avaliação do desempenho e de custos de um harvester em floresta de eucalipto de baixa produtividade**. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – UFV, Viçosa – MG, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

FERNANDES, H C. et al. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 225-232, set. 2009.

FIEDLER, N. C.; ROCHA, E. B.; LOPES, E. S. Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no Norte do estado de Goiás. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 4, p. 577-586, out./dez. 2008.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. Santa Maria. UFSM/CEPEF, 1992. 269p.

FONTES, J. M.; MACHADO, C. C. Manutenção mecânica. In: MACHADO, C. C. (Editor). **Colheita florestal**. 3ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. p. 288-334.

LEITE, E. S. et al. Desempenho do *harvester* na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.1, 2014.

LEITE, E. S. **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas**. 109 p. Tese (Doutorado) – UFV, 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, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

MACHADO, C. C. **Exploração florestal**. Viçosa: UFV, 1989.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S.; CASTRO, G. P. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C (Editor.). **Colheita Florestal**. 3ed. Viçosa-MG: UFV, 2014. P. 15-45.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; CASTRO, G. P. Sistemas. In: MACHADO, C. C (Editor.). **Colheita Florestal**. 3 ed. Viçosa-MG: UFV, 2014. P. 178-205.

MARTINS, R. J. **Efeito do espaçamento e arranjo do plantio do eucalipto na capacidade operacional e custo da colheita com colhedora florestal**. 84 p. Tese (Doutorado) – ESALQ/USP, Piracicaba, 2008.

MINETTE, L. J.; MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; SILVA, K. R. Análise técnica e econômica do *forwarder* em três subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.1, p.91-97, 2004.

MINETTE, L. J.; SILVA, E. N.; FREITAS, K. E.; SOUZA, A. P.; SILVA, E. P. Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada em Niquelândia, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.659–665, Abril. 2008a.

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

NASCIMENTO, A. C.; LEITE, A. M. P.; SOARES, T. S. FREITAS, L. C. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com *feller-buncher*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 9-15, jan./mar. 2011.

OLIVEIRA JUNIOR, E. D. Produtividade do *feller-buncher* em povoamentos de eucalipto em relevo acidentado. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 4, p. 905-912, out./dez. 2009.

OLIVEIRA, D. **Análise operacional e custos de sistemas de colheita de madeira em povoamentos de eucalipto**. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – UNICENTRO, Irati – PR, 2013.

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

PAULA, E. N. S. O. **Avaliação técnica, de custos e ambiental de dois modelos de harvester na colheita florestal**. 2011. 82 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007, 748 p.

ROBERT, R. C. G. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita mecanizada em plantios de *Eucalyptus* spp. em duas condições de relevo acidentado**. 113 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2013.

SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Comparação técnica e econômica entre de pneus e com máquinas base de esteiras. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 185-191, jan.-mar., 2014.

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

SILVA, E. N. et al. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de *Pinus sp.* com *harvester*. **Revista Árvore**, v.34, n.4, p.745-753, 2010.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de madeira em povoamentos de eucalipto de primeiro corte. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 711-720, out./dez. 2010a.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com *harvester*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 611-618, dez. 2010a.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Avaliação técnica e econômica de corte de eucalipto com *feller-buncher* em diferentes condições operacionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 649-656, out.-dez., 2010b.

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

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

SOUZA, M. C. S. **Avaliação da extração de madeira de eucalipto com forwarder em áreas declivosas**. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – UFVJM, Diamantina – MG, 2013.

## CAPÍTULO 2

### AValiação EconôMica de um sistema Alternativo de Colheita Florestal Toras Curtas

**Resumo:** Objetivou-se com o presente capítulo realizar uma análise econômica de um sistema de colheita florestal toras curtas formado pelas máquinas: *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder*. Os dados necessários para realização da análise de custos foram coletados em uma empresa florestal localizada no Sul da Bahia, com sede na cidade de Eunápolis – BA. Composto o subsistema de colheita tem-se o *feller-buncher* que realizava o corte das árvores, *harvester* que processava as toras e o *forwarder* que baldeava a madeira. A análise econômica baseou-se na determinação do custo operacional, custo de produção, análise de sensibilidade, ponto de equilíbrio e taxa interna de retorno. O custo operacional foi calculado através do somatório dos custos fixos e variáveis. O custo de produção foi estimado a partir do quociente entre o custo operacional (US\$  $he^{-1}$ ) e produtividade ( $m^3 he^{-1}$ ). Para a análise de sensibilidade foi realizada uma variação de  $\pm 20\%$  nos elementos mais representativos no custo operacional das máquinas, e posteriormente plotou-se graficamente as curvas das variáveis no plano (x, y). Constatou-se um custo operacional para o subsistema de US\$ 253,56  $he^{-1}$ , sendo o *feller-buncher* responsável por 40% do valor, o *forwarder* por 35% e os demais 25% ficou a cargo do *harvester*. O custo de colheita do subsistema foi de US\$ 5,18  $m^{-3}$ , sendo o *forwarder* a máquina que mais contribui para o valor, com 47%, e o *feller-buncher* a máquina que menos contribui, representando apenas 14% do valor total. Com relação à análise de sensibilidade, as variáveis mais influentes no custo operacional das máquinas foram: valor de aquisição, horas efetivas de uso anual, manutenção e reparos, combustível, juros e depreciação. O ponto de equilíbrio, das máquinas, foi de 2.179; 2.416; e 2.144  $h ano^{-1}$  para *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder*, respectivamente. A maior taxa interna de retorno, 57%, foi apresentada pelo *forwarder* no quinto ano de vida útil da máquina. O *feller-buncher* foi o trator florestal que mais limitou a utilização do subsistema, pois apresentou maior custo operacional. A redução de 10% no custo com as variáveis: valor de aquisição, manutenção e reparos, combustível, juros e depreciação e aumento de 10% na quantidade de horas efetivas de uso anual, resultaria em um decréscimo de 17% no custo operacional do subsistema, que equivale a US\$ 44,15  $he^{-1}$ .

## CHAPTER 2

### ECONOMIC EVALUATION OF AN ALTERNATIVE SYSTEM OF FOREST HARVESTING OF CUT TO LENGHT

**Abstract:** This chapter aims to conduct an economic analysis of a forest harvesting system cut the lenght formed by machines feller-buncher, harvester and forwarder. The data needed to conduct the cost analysis were collected in a forestry company located in southern Bahia, located in the city of Eunápolis - BA. Compounding the subsystem harvest has the feller-buncher who performed the cutting of trees, harvester that processed the logs and the forwarder that extract wood. The economic analysis was based on the determination of the operating cost, production cost, sensitivity analysis, break-even point and internal rate of return. The operating cost was calculated by adding the fixed and variable costs. The production cost was estimated from the ratio between operating costs (US\$  $he^{-1}$ ) and productivity ( $m^3 he^{-1}$ ). A sensitivity analysis was performed by means of variation of  $\pm 20\%$  in the most representative elements of the operating cost of machinery subsequently represented graphically by means of curves in the plane of variables (X, Y). It found an operating cost for the subsystem to US\$ 253.56  $he^{-1}$ , the feller-buncher being responsible for 40% of the forwarder by 35% and the remaining 25% was in charge of harvester. The cost subsystem harvest was god US\$ 5.18  $m^{-3}$ , and the forwarder machine that contributes most to the value of 47% of the total and the feller-buncher machine that less contributes, representing only 14% of the total. In relation to sensitivity analysis, the most influential variables in the operating cost of the machines were: acquisition cost, actual hours of annual use, maintenance and repairs, fuel, interest and depreciation. The balance point of the machines, was 2,179; 2,416; and 2,144  $h year^{-1}$  to feller-buncher, harvester and forwarder, respectively. The highest internal rate of return, 57%, was presented by the forwarder in the fifth year useful life of the machine. The feller-buncher was the forestry machine that most limits the use of the subsystem, as presented higher operating costs. The 10% reduction in cost variables: acquisition cost, maintenance and repairs, fuel, interest and depreciation and 10% increase in the number of actual hours of annual use would result in a 17% decrease in operating costs of the subsystem , equivalent to US\$ 44.15  $he^{-1}$ .

## 1. INTRODUÇÃO

A formação de povoamentos florestais, no Brasil, com objetivos econômicos se deu com a introdução do gênero *Eucalyptus*, sendo a madeira, proveniente dessas áreas, utilizada para produção de dormentes, postes e lenha (MACHADO et al., 2014). Até o ano de 2012 o Brasil tinha 7,18 milhões hectares de florestas plantadas, sendo 82,8% dessa área ocupada pelos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. O aumento da área reflorestada com esses gêneros é, principalmente, em razão da utilização dos mesmos para a produção de celulose, pois 35,2% da madeira proveniente de florestas plantadas é utilizada para a produção desse carboidrato (ABRAF, 2013).

A evolução do setor florestal brasileiro, devido o aperfeiçoamento do processo produtivo e a introdução de novas tecnologias, proporcionou aumento da produtividade em todas as atividades do setor, porém apesar de toda essa evolução, o Brasil ocupa a quarta posição entre os países com maior custo de produção (ABRAF, 2013).

Dentre as atividades florestais, a colheita apresenta o maior impacto sobre o custo de produção, podendo representar de 30 a 60% do custo final da madeira posta na fábrica ou centro consumidor.

A colheita de madeira é um conjunto de operações, que tem objetivo de cortar e transportar a madeira até as margens das estradas ou pátio intermediário, sendo a operação final do ciclo de produção florestal. É uma operação bastante complexa, devido à influência de fatores técnicos, ambientais, ergonômicos e econômicos.

O alto custo de aquisição e de operação das máquinas e equipamentos florestais são alguns dos fatores que contribuem para o aumento do custo com colheita, mediante isso é necessário uma análise criteriosa do sistema de colheita a ser empregado assim como das máquinas a serem adotadas.

O custo operacional, o custo de produção, análise de sensibilidade, ponto de equilíbrio e taxa interna de retorno, são algumas das ferramentas que podem auxiliar na escolha de máquinas e equipamentos florestais, pois a partir das mesmas é possível determinar os dispêndios de cada operação e determinar as variáveis mais influentes no custo das máquinas.

O custo operacional é resultado do somatório dos custos fixos e variáveis, sendo que os custos fixos não variam em função da quantidade de horas de trabalho das máquinas, já os custos variáveis serão maiores com o aumento das horas de operação. O custo de operação é à base de uma análise econômica, pois a partir dele é possível realizar estudos comparativos entre máquinas e sistemas de colheita florestal.

O custo de produção é o valor que se gasta para produzir uma unidade de determinado produto, sendo que quanto maior a produtividade da máquina por hora, menor o custo de produção.

A partir da análise de sensibilidade é possível determinar as variáveis mais influentes no custo operacional das máquinas, e dessa forma é possível decidir quais variáveis devem ser otimizadas, a fim de reduzir o custo com das mesmas (SILVA et al., 2014).

Já a taxa interna de retorno pode ser entendida como a rentabilidade do investimento (SILVA, 2014). O conhecimento dessa variável é importante, pois o empreendimento só será economicamente viável se a taxa for positiva, o que indica que as receitas superam os custos.

A determinação do ponto de equilíbrio permite saber a quantidade de horas mínimas que se deve trabalhar por ano para viabilizar a compra de determinado trator florestal, sendo que se for trabalhar por uma quantidade menor de horas é mais viável alugar a máquina, pois o custo será menor (SILVA et al., 2014).

A avaliação econômica de máquinas e módulos de colheita florestal contribui de forma significativa para determinação da viabilidade econômica da atividade, além de contribuir para a racionalização e otimização dos recursos empregados.

Mediante o exposto, neste capítulo tem-se como objetivo avaliar economicamente um módulo de colheita florestal formado pelas máquinas *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em uma área de operação de colheita florestal pertencente à empresa Veracel celulose S.A., cujo povoamento florestal, objeto do presente estudo, estava localizado na cidade de Eunápolis – BA (Figura 1).



Figura 1 – Vista geral da área após o corte e processamento da madeira (Eunápolis, BA).

A área de coleta de dados está localizada nas coordenadas 16°23'33.92"S latitude sul e 39°49'3.77"W longitude oeste. Segundo a classificação de Koppen a região apresenta clima do tipo tropical úmido (Af), temperatura média de 23 °C, e precipitação pluviométrica média anual de 1.256 mm. O solo dessa área é classificado como Argissolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2006), com relevo plano e altitude de 187 m.

A área era povoada com clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*, plantadas no espaçamento 3,00 m entre plantas e 4,00 m entre linhas. As árvores apresentavam volume médio de 0,26 m<sup>3</sup> e estavam com 6,8 anos de idade. A madeira proveniente da área era utilizada para a produção de celulose branqueada.

### 2.2. Sistema de colheita alternativo

A colheita florestal foi realizada em um sistema toras curtas (*cut-to-length*), sendo o corte realizado pelo *feller-buncher*, o processamento

(desgalhamento, descascamento e traçamento) executado por um *harvester* e o baldeio das toras de 6,20 metros feito por um *forwarder*. As operações das máquinas foram acompanhadas no período diurno (das 06h00min às 15h00min), entre os meses de janeiro e fevereiro de 2015.

### 2.3. Caracterização técnica das máquinas avaliadas

#### 2.3.1. *Feller-buncher*

Utilizou-se o *feller-buncher* de esteiras da marca John Deere®, modelo 903K, equipado com o motor *PowerTech™plus* 6090H de 6 cilindros, 9 l de cilindrada e 275 HP (224 kW) de potência (Figura 2). Esse modelo possui mecanismos de nivelamento do material rodante, e dessa forma permite que a cabine se mantenha nivelada mesmo quando a esteira está inclina em 27° para frente, 14° nas laterais e 7° para trás.

Essa máquina possui uma Lança hidráulica de 8,88 m de alcance, sendo na sua extremidade acoplado o cabeçote FR22B. Todo o conjunto pesa 31.590 Kg. No momento do estudo a máquina estava com 6.652 horas trabalhadas.



Figura 2 – *Feller-buncher* da marca John Deere®, modelo 903k.

Compondo o cabeçote têm-se os braços acumuladores, com capacidade de acúmulo de até 0,48 m<sup>3</sup>, garras para segurar as árvores durante o corte, que é realizado por uma serra a disco com 142,2 cm de diâmetro, 18 dentes e velocidade máxima de 1.150 rpm (Figura 3). O FR22B pesa cerca de 3.540 kg, pode cortar árvores de até 55,90 cm de diâmetro e possui articulação parafusada, de alta rotação, que permite até 312 graus de giro.



Figura 3 – Vista frontal do cabeçote do *Feller-buncher*, modelo FR22B.

### **2.3.2. Harvester**

O *harvester* empregado era formado por uma escavadeira hidráulica de esteira, modelo EC 210BF prime, da marca Volvo<sup>®</sup> (Figura 4). Formando a escavadeira tinha-se o conjunto lança e braço hidráulicos com alcance máximo de 8,2 metros e um cabeçote modelo H7 da marca Ponsse<sup>®</sup>.

A escavadeira com a lança e braço pesa 25.000 kg, sendo o motor o Volvo D6E EAE2 de 6 cilindros, 5,7 l de cilindrada e 148 HP (110 kW) de potência.



Figura 4 – Escavadeira hidráulica modelo EC 210BF prime da marca Volvo® e cabeçote modelo H7 da marca Ponsse® .

O cabeçote H7 pesa cerca de 1.150 kg, é formado por 3 rolos dentados alimentadores, laminas para realizar o desganhamento, braços prensos para segurar as árvores durante o corte e processamento e um sabre para realizar o corte e traçamento (Figura 5). Esse cabeçote corta e processa árvores de até 60 cm de diâmetro.



Figura 5 – Cabeçote de processamento de árvores da marca Ponsse®, modelo H7.

### **2.3.3. Forwarder**

Utilizou-se um *forwarder* da marca Ponsse, modelo Buffaloking com motor Mercedes-Benz OM 906 LA EU Stage IIIA de 6 cilindros com 275 HP (205 kW) de potência, tração nas 8 rodas (8X8) e pode atingir até 23 km/h (Figura 6). O *forwarder* é autocarregável, sendo formado, basicamente, por a cabina de comando climatizada, caixa de carga e grua hidráulica.

A caixa de carga tem 5,9 m de comprimento, 3,3 m de largura e capacidade para 18.000 kg de madeira. A grua hidráulica, modelo k100+S, possui alcance máximo de 7,8 m e pode levantar aproximadamente 1.500 kg durante o carregamento e descarregamento.

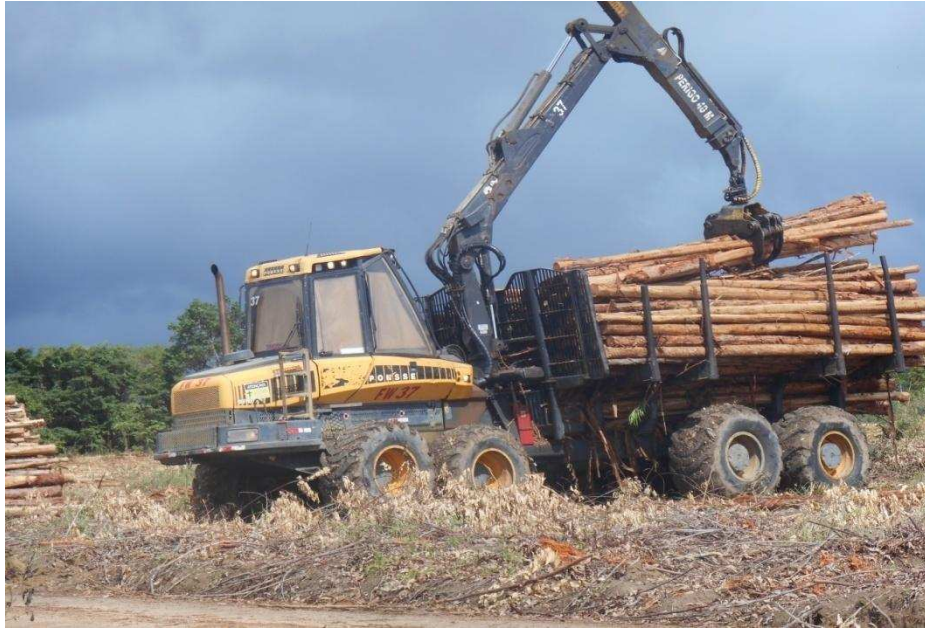


Figura 6 – *Forwarder* da marca Ponsse®, modelo *Buffaloking*.

## 2.4. Análise econômica

Foi realizada uma análise econômica para cada máquina que compõe o módulo de colheita estudado, onde determinou-se o custo operacional, custo de produção, análise de sensibilidade, ponto de equilíbrio e taxa interna de retorno. Os dados utilizados para realizar a análise foram fornecidos pela empresa, sendo que os dados utilizados para calcular o custo operacional estão apresentados no apêndice A.

### 2.4.1. Custo operacional (CO)

Foi determinado pelo método contábil utilizando valores reais e estimados. O custo operacional foi obtido através do somatório dos custos fixos e variáveis, Equação 1, seguindo a metodologia proposta por Silva et al. (2014) complementada conforme a *American Society of Agricultural Engineers – ASAE* (2001).

O Custo operacional foi expresso em reais e em dólares por hora efetiva de trabalho, utilizando uma taxa de câmbio de 1 US\$ = 3,92 R\$, cotado no dia 18 de setembro de 2015.

$$Ct = Cf + Cv$$

eq. 1

em que:

Ct = custo operacional total (US\$ he<sup>-1</sup>);

Cf = custo fixo (US\$ he<sup>-1</sup>); e

Cv = custo variável (US\$ he<sup>-1</sup>).

#### 2.4.1.1. Custos fixos (Cf)

Foi determinado mediante o somatório dos custos com depreciação; juros, seguros e impostos, abrigo; e taxas administrativas, conforme Equação 2.

$$CF = D + JSI + A + T \quad \text{eq. 2}$$

em que:

CF = custo fixo (US\$ he<sup>-1</sup>);

D = depreciação (US\$ he<sup>-1</sup>);

JSI = juros, seguro e impostos (US\$ he<sup>-1</sup>);

A = abrigo (US\$ he<sup>-1</sup>); e

T = taxas administrativas (US\$ he<sup>-1</sup>).

#### a) Depreciação (Dp)

Foi calculada através do método exponencial, por ser considerado o método mais coerente, pois a depreciação varia ao longo da vida útil da máquina. Para determinar a variável utilizou-se a Equação 3, conforme Silva et al., 2014.

$$V_n = 1 + \frac{V_a (1 - t)^n}{H_e} \quad \text{eq. 3}$$

em que:

V<sub>n</sub> = valor do ativo no período “n” (US\$ he<sup>-1</sup>);

V<sub>a</sub> = valor de aquisição da máquina (US\$);

t = taxa de depreciação;

n = ano em consideração;

H<sub>e</sub> = horas efetiva de uso anual (h);

A taxa de depreciação (t) foi calculada conforme a Equação 4 (Silva, et al. 2014).

$$t = 1 - \sqrt[N]{\frac{Vr}{Va}} \quad \text{eq. 4}$$

em que:

t = taxa de depreciação;

N = vida útil (anos);

Va = valor de aquisição da máquina (US\$); e

Vr = valor residual (US\$).

### **b) Juros, seguros e impostos (JSI)**

Os três dispêndios foram calculados em conjuntos, de acordo com a Equação 5 (SILVA et al., 2014). Utilizou-se uma taxa de juros de 12% a.a.

$$JSI = \frac{(IMA \cdot i)}{He} \quad \text{eq. 5}$$

em que:

JSI = custo de juros, seguros e impostos (US\$ he<sup>-1</sup>);

IMA= investimento médio anual (US\$);

i = taxa de juros (%);

He = horas efetiva de uso anual (h);

O investimento médio anual (IMA) foi determinado conforme a Equação 6 (Silva, et al. 2014).

$$IMA = \frac{(Va - Vr) (N + 1)}{(2 N)} + Vr \quad \text{eq. 6}$$

em que:

IMA= investimento médio anual (US\$);

Va = valor de aquisição da máquina (US\$);

Vr = valor residual (US\$); e

N = vida útil (anos).

**c) Abrigo (A)**

O custo com abrigo foi calculado por meio da Equação 7, considerando um fator de ajuste (FA) de 0,75% (ASAE, 2001).

$$A = \frac{(Va \cdot FA)}{He} \quad \text{eq. 7}$$

em que:

A = Custo com abrigo (US\$ he<sup>-1</sup>);

Va = valor de aquisição da máquina (US\$);

FA = Fator de ajuste (%); e

He = horas efetiva de uso anual (h).

**d) Taxas administrativas (T)**

Foi determinado de acordo ASAE (2001), onde se considerou um fator de ajuste (FA) igual 2%, Equação 8.

$$T = \frac{(Va \cdot FA)}{He} \quad \text{eq. 8}$$

em que:

T = custo com taxas administrativas (US\$ he<sup>-1</sup>);

Va = valor de aquisição da máquina (US\$);

FA = fator de ajuste (%); e

He = horas efetiva de uso anual (h).

**2.4.1.2. Custos variáveis (Cv)**

O custo variável de cada máquina foi obtido através da Equação 9.

$$Cv = Cc + Cl + Co + Cp + RM + MO \quad \text{eq. 9}$$

em que:

$C_v$  = custos variáveis (US\$  $he^{-1}$ );

$C_c$  = custo com combustível (US\$  $he^{-1}$ );

$C_l$  = custo com lubrificante (US\$  $he^{-1}$ );

$C_o$  = custo com óleo hidráulico (US\$  $he^{-1}$ );

$C_p$  = custo com pneus ou esteiras (US\$  $he^{-1}$ );

RM = custo com reparos e manutenção (US\$  $he^{-1}$ );

MO = custo com mão-de-obra (US\$  $he^{-1}$ ) e;

#### **a) Custo com combustível ( $C_c$ )**

Esse dispêndio foi calculado por meio da Equação 10 (SILVA et al., 2014). O consumo médio de combustível foi obtido através de dados históricos das máquinas.

$$C_c = P_u C \quad \text{eq. 10}$$

em que:

$C_c$  = custo de combustível (US\$  $he^{-1}$ );

$P_u$  = preço do litro de combustível (US\$  $L^{-1}$ ); e

$C$  = consumo de combustível ( $L he^{-1}$ ).

#### **b) Custo com lubrificantes ( $C_l$ )**

Foi calculado por meio da Equação 11 conforme (SILVA et al., 2014). Foi utilizado um índice de custos com lubrificantes de 23; 22 e 25% para *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder*, respectivamente.

$$C_l = C_c IL \quad \text{eq. 11}$$

em que:

$C_l$  = custo de lubrificantes (US\$  $he^{-1}$ );

IL = índice de custos com lubrificantes (%); e

$C_c$  = custos com combustíveis (US\$  $he^{-1}$ ).

### c) Custo com óleo hidráulico (Co)

O custo com óleo hidráulico foi determinado multiplicado o custo com combustível por o índice de consumo de óleo hidráulico por meio da Equação 12 (SILVA et al., 2014). Utilizou-se um índice de consumo de óleo hidráulico de 15% para *harvester* e *feller-buncher* e de 13% para *forwarder*, sendo todos fornecidos pela empresa.

$$Co = Cc \cdot lo \quad \text{eq.12}$$

em que:

Co = custo com óleo hidráulico (US\$  $he^{-1}$ );

Cc = custo do combustível (US\$  $L^{-1}$ ); e

lo = índice de consumo de óleo hidráulico por máquina (%).

### d) Custo com pneus ou esteiras (Pe)

O custo foi calculado através da Equação 13 (SILVA et al., 2014). Os dados referentes à vida útil e preços dos pneus e esteiras foram fornecidos pela empresa.

$$Pe = \frac{Npe \cdot Vpe}{Hpe} \quad \text{eq. 13}$$

em que:

Pe = custo de pneus e, ou, esteiras (US\$  $he^{-1}$ );

Npe = número de pneus por máquina e ou, esteiras;

Vpe = valor de um pneu e, ou, esteira da máquina (US\$  $unid^{-1}$ ); e

Hpe = vida útil do pneu e, ou, esteira (h  $unid^{-1}$ ).

### e) Custo de Manutenção e Reparos

Foram os gastos com as manutenções e reparos das máquinas durante sua vida útil, como por exemplo, mão de obra e encargos sociais, peças de reposição e outros materiais, sendo que os mesmos foram determinados através da Equação 14, conforme ASAE (2001).

$$RM = \frac{Va FR_1 \left(\frac{h + He}{1000}\right)^{FR_2} - Fv \left(\frac{h}{1000}\right)^{FR_2}}{He} \quad \text{eq. 14}$$

em que:

RM = custos de reparo e manutenção (US\$ he<sup>-1</sup>);

Va = valor de aquisição da máquina (US\$);

FR1 = fator de reparo 1;

h = horas de uso acumulada (h);

He = horas efetiva de uso anual (h); e

FR2 = fator de reparo 2.

#### f) Custo de mão de obra (MO)

Esse dispêndio foi calculado com base na Equação 15 (SILVA et al., 2014). Todas as informações foram fornecidas pela empresa, sendo que foram utilizados dois operadores, pois, a empresa só trabalha durante dois turnos.

$$MO = \left( \frac{Sop ES M}{He} \right) \quad \text{eq. 15}$$

em que:

MO = custo de mão de obra (US\$ he<sup>-1</sup>);

Sop = salários mensais dos operadores (US\$);

ES = taxa de encargos sociais;

M = meses no ano (12); e

He = horas efetivas de uso anual da máquina (h).

#### 2.4.2. Custo de produção (Pr)

O custo de produção das máquinas foi determinado pela divisão dos custos operacionais (US\$ he<sup>-1</sup>) em relação à produtividade (m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>), em conformidade com a Equação 16, sendo o valor do custo dado em US\$ m<sup>-3</sup>.

$$Cp = \frac{CT}{P} \quad \text{eq. 16}$$

em que:

$C_p$  = custo de produção (US\$ m<sup>-3</sup>);

$CT$  = custo operacional total (US\$ he<sup>-1</sup>); e

$P$  = produtividade (m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>).

Na determinação do custo de produção considerou-se apenas o tempo efetivamente trabalhado pela máquina, sendo que foram utilizados os valores médios de produtividade do capítulo anterior.

### 2.4.3. Análise de sensibilidade

Objetivando determinar os valores mínimos, médios e máximos dos componentes mais relevantes que compõem o custo operacional do *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder* efetuou-se uma análise de sensibilidade, onde foi considerada uma variação de 40% (20% para mais e 20% para menos) nos componentes que compõem o custo operacional das máquinas. A partir dos resultados os valores foram plotados graficamente, através do diagrama de *Spiderplot*, para cada máquina avaliada.

### 2.4.4. Ponto de equilíbrio

As máquinas florestais apresentam um número mínimo de horas que devem trabalhar por ano para justificar sua compra, sendo o mesmo denominado ponto de equilíbrio. Essa variável foi determinada conforme a Equação 17 (SILVA et al., 2014).

$$H = \frac{C_f H_e}{PU (R - C_v)} \quad \text{eq. 17}$$

em que:

$H$  = horas trabalhadas por ano (h ano<sup>-1</sup>);

$C_f$  = custo fixo (US\$ he<sup>-1</sup>);

$H_e$  = horas efetivas de uso anual da máquina (h);

$PU$  = preço da hora trabalhada (US\$ he<sup>-1</sup>);

$R$  = rendimento (m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>); e

$C_v$  = custo variável (US\$ h<sup>-1</sup>).

#### 2.4.5. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno foi obtida a partir da Equação 18 (SILVA et al., 2014), sendo a mesma expressa em porcentagem.

$$\sum_{j=0}^n R_j (1 + TIR)^j - \sum_{j=0}^n C_j (1 + TIR)^j = 0 \quad \text{eq. 18}$$

em que:

TIR = taxa interna de retorno (%);

R<sub>j</sub> = receitas do período de tempo j considerado;

C<sub>j</sub> = custos do período de tempo j considerado; e

n = duração do projeto em anos ou em número de períodos de tempo

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. *Feller-buncher*

##### 3.1.1. Custo operacional

O custo operacional do *feller-buncher* fabricado pela John Deere<sup>®</sup>, modelo 903k foi de US\$ 101,98 (R\$ 399,78) por hora efetiva de trabalho, sendo os custos fixos responsáveis por 34% e os 66% restantes ficou a cargo dos custos variáveis.

Fernandes et al. (2009) ao avaliarem o *feller-buncher* da marca Caterpillar<sup>®</sup>, modelo 320 CL determinaram um custo operacional de US\$ 68,62 valor considerado inferior ao da atual pesquisa, possivelmente devido a Cat 320 CL ser um trator menor, com menor potência, e ter um cabeçote mais leve, sendo que tais características contribuem para reduzir os custos fixos e variáveis da máquina.

Valores inferiores também foram calculados por Simões et al. (2014) e Simões et al. (2010b), quando trabalharam com o *feller-buncher* da marca Caterpillar<sup>®</sup>, modelo 320 CL, porém os autores não consideraram o custo com pneus e óleo hidráulico, a não consideração dos custos citados contribuiriam reduzir o custo da máquina.

A Figura 7, evidência os componentes e a representatividade de cada um no custo operacional do trator florestal. O dispêndio com combustível foi o maior, correspondendo a 29% do custo total. O alto custo com combustível é devido à alta potência da máquina, 224 kW, necessária para executar as operações de corte, acúmulo e derrubada das árvores, sendo que para produzir toda essa potência o motor consome em média 40L/h de combustível.

O custo com depreciação representou 23% do custo operacional, tendo dessa forma a segunda maior influência, em razão do alto valor de aquisição da máquina e por a mesma está no segundo ano vida útil, já que a quota de depreciação é variável, decrescendo ao longo da vida útil do trator florestal.

O terceiro maior dispêndio foi à manutenção e reparos com 17%, seguida da mão de obra, juros, lubrificantes, óleo hidráulico, taxas administrativas, esteiras, abrigo, transporte de pessoal e maquinário.

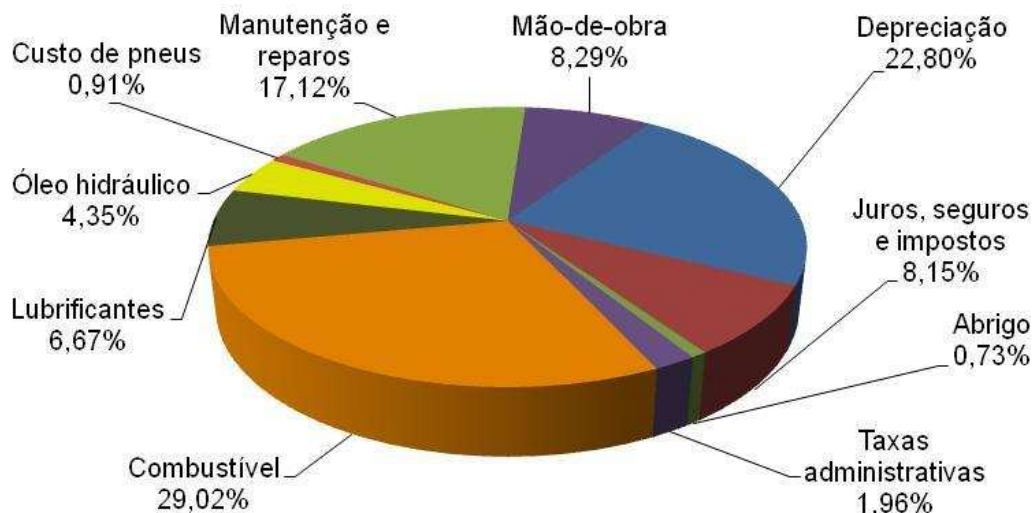


Figura 7 – Representatividade, em porcentagem, dos componentes do custo operacional do *feller-buncher*.

Na pesquisa desenvolvida por Simões et al. (2014) os custos com maior representatividade foram; combustível, mão de obra e depreciação. Já na pesquisa desenvolvida por Simões et al., (2010b) os dispêndios mais influentes no custo total da máquina foram; combustível, mão de obra e manutenção. Os resultados encontrados em ambas as pesquisas diferem do encontrado na presente pesquisa, devido às diferenças técnicas das máquinas comparadas e também as diferenças inerentes entre as empresas. Apesar das diferenças nos resultados, percebe-se que o custo com combustível apresenta a maior representatividade no custo operacional da máquina, em todas as pesquisas, fato este que concretiza o alto consumo da máquina, sendo necessária a adoção de medidas para minimizar o mesmo.

### 3.1.2. Custo de produção

A máquina avaliada apresentou um custo de produção médio igual a US\$ 0,75 m<sup>-3</sup>cc (R\$ 2,91). Na Figura 8 é mostrado que o custo de produção diminui com o aumento da produtividade, sendo que o custo da colheita variou de US\$ 0,65 m<sup>-3</sup>, para a produtividade 158 m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>, até US\$ 0,89 m<sup>-3</sup>

para a produtividade  $115 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ . O aumento de  $1 \text{ m}^3$  na produtividade do *feller-buncher* reduz em US\$ 0,005 o custo de produção.

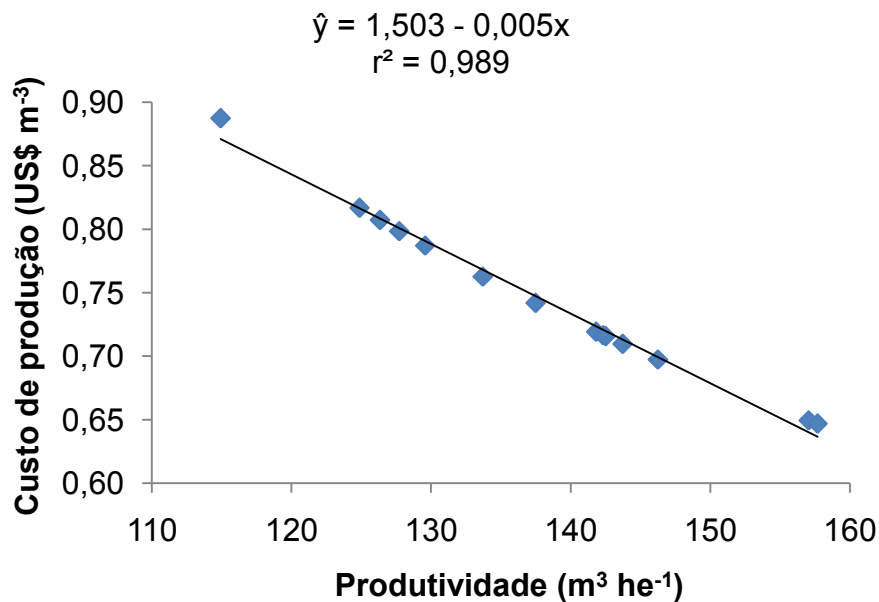


Figura 8 – Equação de regressão da variável custo de produção ( $\text{US\$ m}^{-3}\text{sc}$ ) em função da produtividade ( $\text{m}^3 \text{ he}^{-1}$ ) do *feller-buncher*.

Simões et al. (2014) e Simões et al. (2010b) determinaram um custo de produção médio de  $\text{US\$ } 0,72 \text{ m}^{-3}$ ; e  $\text{US\$ } 0,86 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente, resultados semelhantes ao da atual pesquisa.

Fernandes et al. (2009) ao calcular o custo de produção em uma áreas com 100; 200 e  $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , determinaram um custo de 4,97; 2,90 e  $\text{US\$ } 1,68 \text{ m}^{-3}$ , nesta ordem. O alto custo, quando comparado ao dispêndio do atual trabalho, é em razão da baixa produtividade da máquina, que foi de 13,81; 23,67 e  $40,84 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ , para as áreas com 100; 200 e  $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , respectivamente.

Nascimento et al. (2011) encontraram um custo de produção de R\$  $3,95 \text{ m}^{-3}$ , ou seja, R\$  $0,65 \text{ m}^{-3}$  a mais que o determinado no presente trabalho. Tal fato se justifica devido a menor produtividade da máquina avaliada pelos autores, que foi de  $48,8 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ .

### 3.1.3. Análise de sensibilidade

Na Figura 9 consta a análise de sensibilidade, onde é possível observar as variáveis mais influentes no custo operacional do *feller-buncher*.

O valor de aquisição foi a variável mais influente, devido ao alto investimento para comprar a máquina, sendo que essa variável tem influência direta nos custos fixos. A redução de 10% no valor de aquisição do *feller-buncher* implica no decréscimo de 5% do custo operacional da máquina.

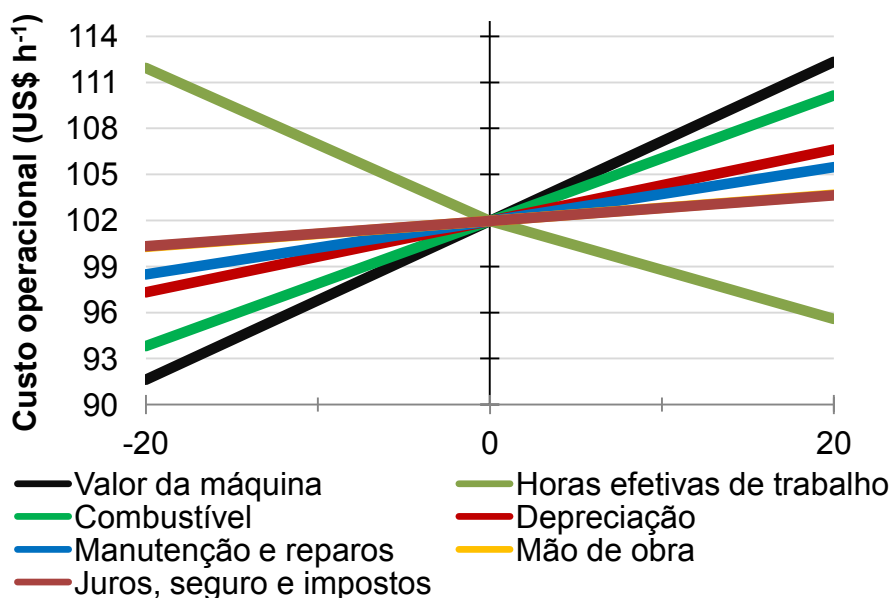


Figura 9 – Diagrama de Spiderplot mostrando as principais variáveis que compõem o custo operacional do *feller-buncher*.

As horas efetivas de trabalho apresentaram a segunda maior representatividade, porém o aumento de 10% na quantidade horas trabalhadas reduz em 3,15% o custo operacional do *feller-buncher*.

A terceira variável mais influente foi o combustível, devido o alto consumo de óleo Diesel por hora de trabalho, associado ao alto preço do litro de combustível. Seguido o combustível tem-se a depreciação, manutenção e reparos, mão de obra e juros.

Caso a empresa onde o estudo foi realizado reduzisse em 10% o custo de todas as variáveis com ângulo positivo e aumentasse em 10% a eficiência operacional da máquina, teria uma redução de 17,83% no custo operacional da máquina, o que equivale a US\$ 18.22  $he^{-1}$ .

### 3.1.4. Ponto de equilíbrio

O ponto de equilíbrio do *feller-buncher* foi de 2.179  $h\ ano^{-1}$ , mediante isso a empresa faz bom uso da máquina, pois a mesma é utilizada em média

durante  $3.475 \text{ h ano}^{-1}$ . O baixo ponto de equilíbrio dessa máquina é devido à alta produtividade da mesma e o baixo custo de produção.

### 3.1.5. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A partir da Figura 10 é possível visualizar que a TIR aumenta até o quinto ano de vida útil da máquina. Entre o segundo e o terceiro ano, terceiro e quarto ano, e quarto e quinto ano a TIR aumentou 53, 23, e 12%, respectivamente. A redução do aumento da rentabilidade é devido o aumento dos custos variáveis da máquina, principalmente o custo com manutenção e reparos.

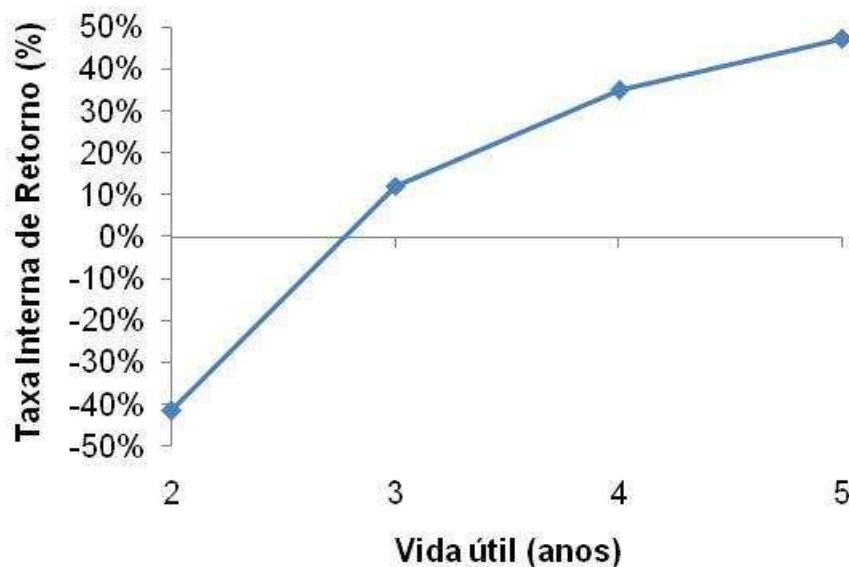


Figura 10 – Taxa interna de Retorno (TIR), em função da vida útil (anos) do *feller-buncher*.

A TIR do *feller-buncher* só passa a ser positiva no final do segundo ano de vida útil, em razão do alto investimento inicial da máquina que em consequência diminui as receitas nos primeiros anos. A maior rentabilidade do investimento, 47%, foi obtida no quinto ano de vida útil da máquina.

## 3.2. *Harvester*

### 3.2.1. Custo operacional

O *harvester* estudado apresentou um custo operacional por hora efetiva de trabalho igual a US\$ 64,20  $\text{he}^{-1}$  (R\$ 251,12  $\text{he}^{-1}$ ), sendo que os custos fixos e variáveis corresponderam a 25 e 75%, respectivamente, do custo operacional da máquina.

Seixas e Batista (2014) ao pesquisarem diferentes tipos de *harvesters* encontraram valores próximos ao do atual trabalho para o *harvester* Valmet<sup>®</sup>, modelo 941.1 e para o *harvester* John Deere<sup>®</sup>, modelo 1270. Simões e Fenner (2010b) também acharam um valor próximo ao da atual pesquisa.

Na Figura 11 são apresentados os componentes, e a representatividade de cada um deles, no custo operacional do *harvester* avaliado. O custo com manutenção e reparos foi o mais expressivo, representando 35% do custo total, seguido do custo combustível (20%) e depreciação (14%).

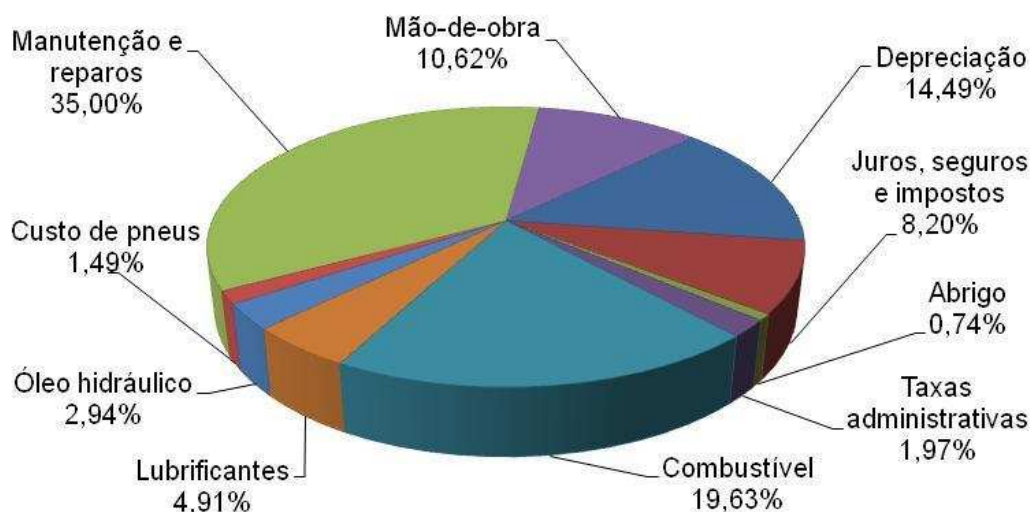


Figura 11 – Componentes do custo operacional do *harvester*, em porcentagem (%).

O que contribuiu para o aumento do custo com manutenção e reparos é que o *harvester* trabalhava em dois turnos (16 horas por dia) e isso aumentou o desgaste de peças, devido à intensa utilização da máquina. Vale ressaltar que as máquinas trabalham com material pesado e em

condições adversas de clima e relevo do terreno, tais fatores contribuem para o desgaste da máquina.

Já o custo com combustível foi alto porque o *harvester* requer elevada potência para realizar o processamento das árvores e se deslocar no talhão, que em consequência aumenta a demanda por combustível.

Com relação à depreciação, o aumento desse dispêndio foi devido o alto valor de aquisição da máquina, sendo que quanto maior o valor de aquisição maior será a depreciação. Em oposição tem-se a quantidade de horas efetivas de uso anual, sendo que quanto maior essa variável menor a depreciação, porém apesar da máquina avaliada ser utilizada por cerca de 4.318,00 horas por ano, esse valor não foi capaz de conter o aumento do custo com depreciação. O aumento de 100 horas na quantidade de horas efetivas de uso anual do trator acarretaria em um decréscimo 2,26% no custo com depreciação.

A sequência da representatividade, do maior para o menor, dos dispêndios que compõem o custo operacional do *harvester* do atual trabalho é semelhante com a sequência encontrada por Costa (2012) e Leite (2012), porém difere da encontrada por Robert (2013), em sua pesquisa o custo com depreciação representa o segundo maior dispêndio, em razão do alto valor de aquisição da máquina avaliada pelo mesmo.

### **3.2.2. Custo de produção**

Constatou-se para o *harvester* um custo de produção de US\$ 2,00 m<sup>-3</sup>sc que equivale a R\$ 7,84 m<sup>-3</sup>sc.

Na Figura 12 é apresentada uma regressão linear do custo de produção em função da produtividade, onde é possível verificar que o custo de produção aumenta com a redução da produtividade da máquina, tal relação é explicada pela equação que possui um coeficiente de correlação igual a 99%. Isso é possível porque o custo de produção é calculado através da razão entre o custo operacional e a produtividade da máquina, mediante isso quanto maior for à produtividade menor será o custo de produção.

O aumento de 1 metro cúbico na produtividade da colhedora florestal, resulta no decréscimo de US\$ 0,063 no custo produção.

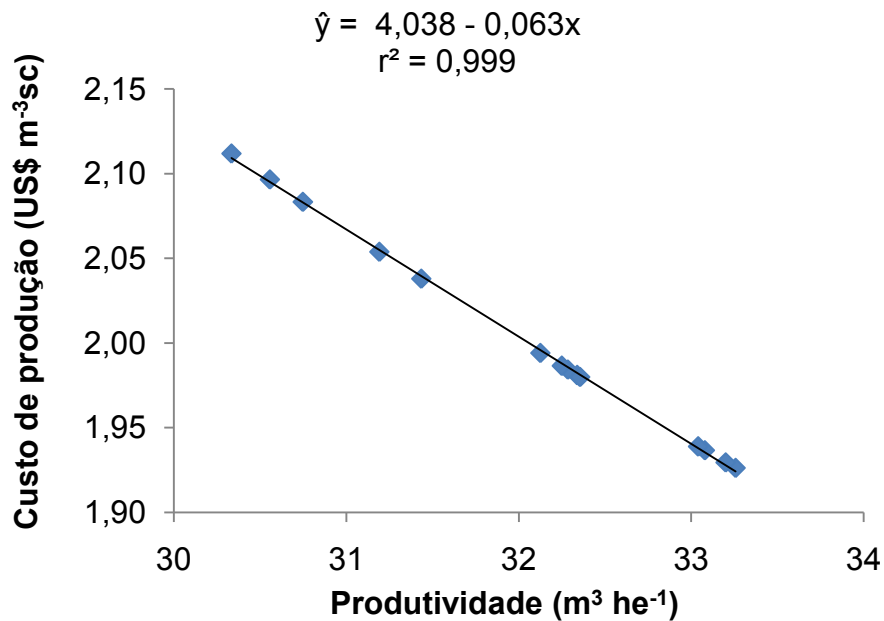


Figura 12 - Equação de regressão da variável custo de produção (US\$ m<sup>3</sup>sc) em função da produtividade (m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>) do *harvester*.

Oliveira (2013) ao avaliar o processamento de madeira com uma máquina base da marca John Deere®, modelo 903j, acoplada ao cabeçote *harvester* da marca Waratah®, modelo HTH622B encontrou um custo de produção de R\$ 7,00 m<sup>-3</sup>cc, valor similar ao encontrado na atual pesquisa.

Simões et al. (2010a) e Simões e Fenner (2010b), ambos, avaliaram um *harvester* em diferentes classes de declividade encontraram resultados similares com o da atual pesquisa, considerando declividade de até 15%.

O custo de produção encontrado no atual trabalho é inferior ao valor encontrado por Leite et al. (2014) e Robert (2013), possivelmente, devido os autores terem realizado os estudos em áreas declivosas, sendo que essa característica do terreno limita a produtividade da máquina e em consequência aumenta o custo de produção. É importante salientar que as máquinas avaliadas pelo autores realizava o corte das árvores, fato este que pode ter contribuído para diminuir a produtividade.

Lopes et al. (2007) determinaram um custo médio de produção de US\$ 3,56 m<sup>-3</sup> tal valor é superior ao deste trabalho devido ao alto custo operacional da máquina avaliada por ele, já que a produtividade das máquinas comparadas são semelhantes, apesar das máquina avaliada pelos autores citados realizar o corte e processamento.

Já Seixas e Batista (2014) em um trabalho conduzido com o *harvester* Volvo®, modelo EC 210 B; cortando e processando madeira, constataram um custo de produção de R\$ 6,07 m<sup>-3</sup>. O menor valor encontrado, quando comparado ao valor deste trabalho, é em razão do menor custo operacional da máquina, já que os tratores comparados apresentam produtividades semelhantes.

### 3.2.3. Análise de sensibilidade

Na Figura 13 é apresentada a análise de sensibilidade para a colhedora florestal *harvester*, onde é possível visualizar as principais variáveis e a influência das mesmas no custo operacional da máquina.

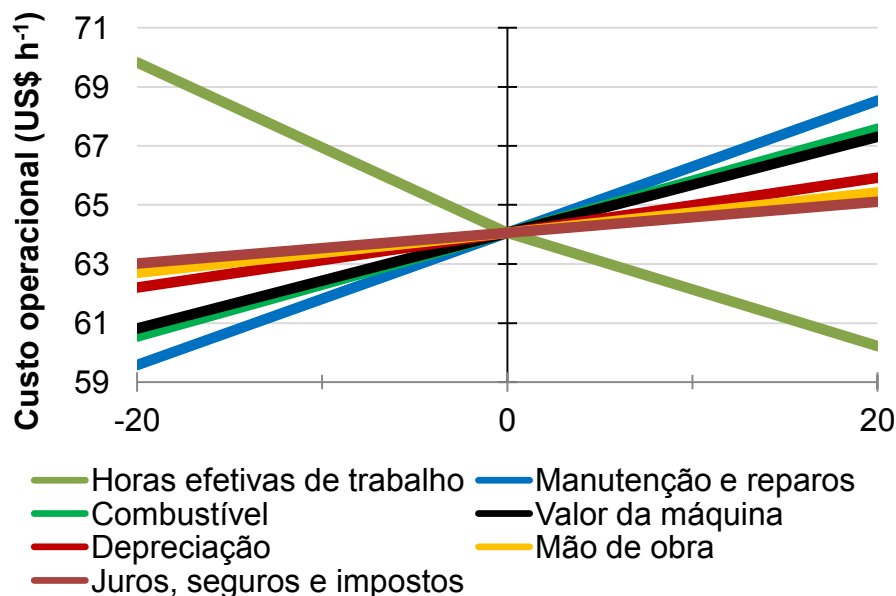


Figura 13 – Diagrama de Spiderplot mostrando as principais variáveis que compõem o custo operacional do *harvester*.

A variável, horas efetivas de trabalho, foi a que apresentou maior influência no custo operacional da máquina, pois apresentou maior ângulo de inclinação, em relação à abscissa (Figura 14). Quanto maior a quantidade de horas efetivas de trabalho menor é o custo operacional da máquina, isso é possível porque o aumento dessa variável resulta no decréscimo dos custos fixos da máquina.

O custo com manutenção e reparos teve a segunda maior representatividade, porém em situação oposta à quantidade de horas efetivas

de trabalho da máquina, pois o aumento do valor dessa variável ocasiona o aumento dos custos da máquina.

Seguindo a manutenção tem-se em ordem decrescente, combustível, valor da máquina, depreciação, mão de obra e juros.

A redução de 10% no custo das variáveis com ângulo positivo (Figura 13) e aumento de 10% na quantidade de horas efetiva de trabalho resultaria em uma redução de 15,10% no custo operacional da máquina avaliada.

Na análise de sensibilidade realizada por Santos (2014) as variáveis; horas efetivas de uso anual e manutenção e reparos foram as mais influentes no custo operacional da máquina.

Resultados distintos foram encontrados por Robert (2013) e Leite (2012), possivelmente, devido às diferenças entre as máquinas comparadas em relação ao valor de aquisição, consumo de combustível ( $L h^{-1}$ ), horas efetivas de uso anual e taxa de juro anual considerada.

#### **3.2.4. Ponto de equilíbrio.**

O *harvester* estudado apresentou um ponto de equilíbrio igual á 2.416 horas por ano, mediante isso, caso a máquina venha ser utilizada por uma quantidade de horas menor que a citada não é justificável sua compra e sim o aluguel da mesma.

Valores parecidos foram encontrados por Santos (2014) avaliando o *harvester* John Deere<sup>®</sup>, modelo 1270D. Já Leite (2012) determinou um ponto de equilíbrio superior ao deste trabalho, tal fato pode ser justificado devido o alto custo fixo da máquina estudada por ele, sendo que esse dispêndio funciona como numerador na equação de ponto de equilíbrio.

#### **3.2.5. Taxa Interna de Retorno (TIR)**

Considerando uma taxa de 20% sobre o custo de produção do *harvester*, plotou-se o comportamento da Taxa Interna de Retorno (TIR) em função da vida útil da máquina (Figura 14). A partir da figura é possível visualizar que a TIR aumenta de forma expressiva até o quarto ano de vida útil da máquina, sendo que após esse período a TIR aumenta, porém de forma menos expressiva, devido o final da vida útil da máquina, que em

consequência aumenta os custos variáveis, principalmente o custo com manutenção e reparos.

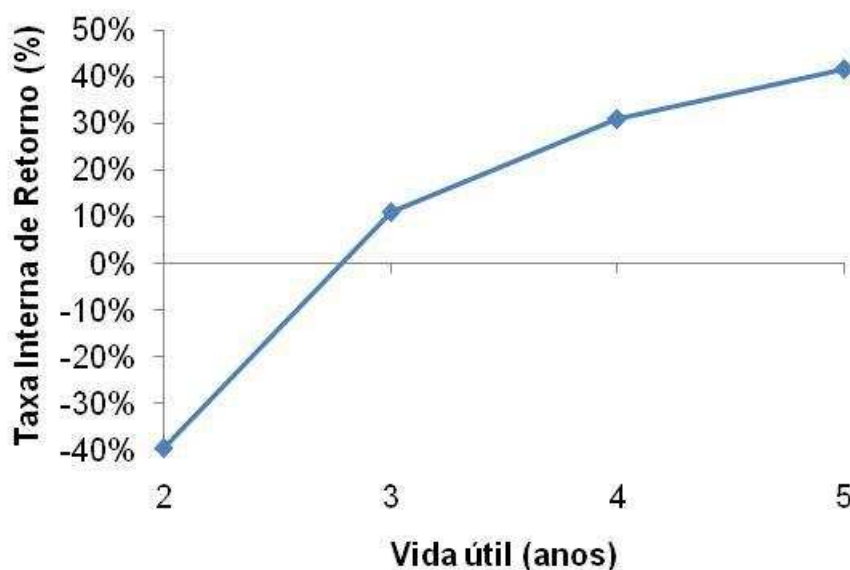


Figura 14 – Taxa interna de Retorno (TIR), em função da vida útil (anos) do *harvester*.

Ao final da vida útil da máquina encontrou-se uma rentabilidade do investimento de 42%, sendo que se aumentasse a vida útil da máquina para 6 anos teria um decréscimo na TIR, o que indica a necessidade de substituição da máquina avaliada no final do quinto ano de vida útil da mesma.

Ao avaliar um *harvester* operando em auge e declive, Leite (2012) encontrou valores inferiores ao do atual trabalho, possivelmente devido ao maior custo de produção determinado por ele nos dois sentidos, sendo que quanto maior o custo de produção menor a TIR.

### 3.3. *Forwarder*

#### 3.3.1. Custo operacional

Constatou-se um custo operacional de US\$ 87,52 (R\$ 343,06), sendo os custos fixos responsáveis por 21% do valor total e custos variáveis responsáveis por 79%. A alta representatividade dos custos variáveis é

devido, principalmente, ao alto custo com a manutenção e reparos apresentado pela máquina.

Quando avaliaram economicamente um *forwarder* da marca Valmet<sup>®</sup>, modelo 890.2/WD Simões e Fenner (2010a) encontraram um custo operacional de US\$ 92,47, valor similar com o encontrado na atual pesquisa.

Já Minette et al. (2004) ao analisarem um *forwarder* da marca Timberjack<sup>®</sup>, modelo 1210B determinaram valor inferior quando comparado com o valor determinado na presente pesquisa, em virtude da máquina avaliada por estes autores apresentar menor capacidade de carga, menor potência, menor número de pneus e possivelmente menor valor de aquisição, sendo que tais características influenciam no custo operacional.

Um valor superior ao deste trabalho, foi encontrado por Leite (2012) tal fato pode ser explicado em virtude da máquina estudada por ele ter maior valor de aquisição, maior custo com graxas e lubrificantes, óleo hidráulico e necessitar de 3 operadores, pois trabalhava 24 horas por dia.

Na Figura 15 são apresentados os componentes e a representatividade de cada um, no custo operacional da máquina estudada. O custo com manutenção e reparos foi o componente de maior representatividade com 50%, seguido do custo com combustível, depreciação, juros, seguros e impostos, mão de obra, lubrificante, pneus, óleo hidráulico, taxas administrativas e abrigo.

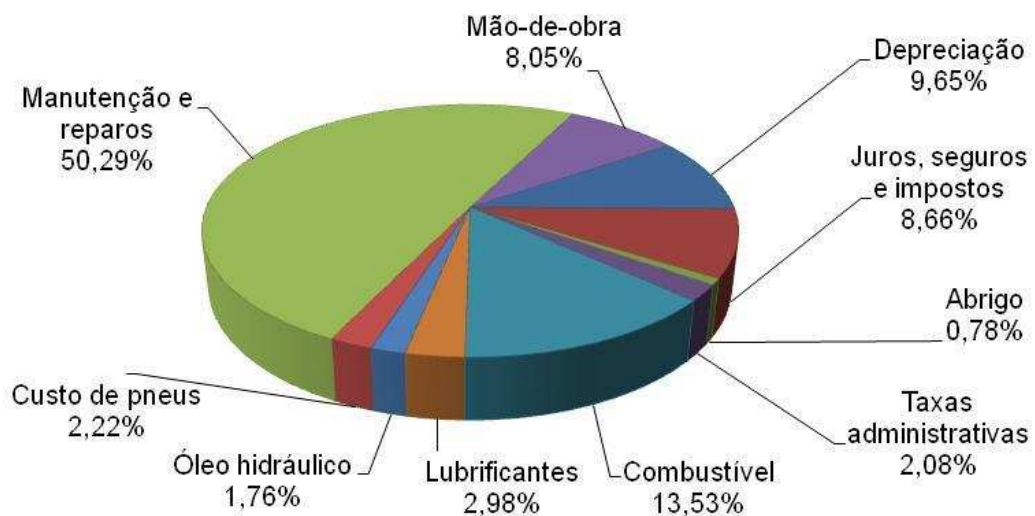


Figura 15 – Componentes do custo operacional do *forwarder* em porcentagem (%).

Um dos motivos que contribuiu para aumentar o custo com manutenção e reparos é que no momento do estudo a máquina apresentava 17.217 horas trabalhadas, sendo que quanto mais velha for a máquina, maior o custo com manutenção, devido às peças estarem mais desgastadas e em consequência mais susceptíveis a danos ou quebra. Vale ressaltar que muitas vezes as manutenções são realizadas no campo, em condições inadequadas e normalmente inferiores daquelas recomendadas pelos fabricantes o que provoca um desgaste mais acentuado da máquina em razão da baixa qualidade da manutenção (SILVA, et al. 2014).

Com relação ao custo com combustível, o mesmo é expressivo devido o *forwarder* ter a capacidade de transportar até 18 toneladas de madeira por carga, sendo que quanto maior o peso, maior a potência requerida e em consequência maior o consumo de combustível.

Nos trabalhos de Leite (2012) e Simões e Fenner (2010a) os componentes de maior expressividade no custo operacional da máquina foram: manutenção e reparos, combustível e depreciação.

Robert (2013) ao pesquisar um *forwarder*, fabricado pela Komatsu Forest<sup>®</sup>, encontrou a depreciação, mão de obra e manutenção e reparos como componentes de maior expressividade no custo operacional da máquina. Tal fato pode ser explicado devido à máquina estudada por ele ter 539 horas trabalhadas, o que contribui para aumentar o custo com depreciação, quando calculada através do método exponencial, e diminuir o custo com manutenção e reparos, pois a máquina está no primeiro ano de vida útil. Com relação ao custo com mão de obra, o mesmo é maior que o encontrado na atual pesquisa porque no trabalho de Robert (2012) a máquina trabalha durante três turnos de 8 horas cada, o que requer um maior número de operadores.

### **3.3.2. Custo de produção**

A máquina avaliada apresentou um custo de produção de US\$ 2,43 m<sup>3</sup>sc que corresponde a R\$ 9,47 m<sup>3</sup>sc.

Robert (2013) quando calculou o custo de produção, em diferentes áreas, para uma máquina nova com taxa de utilização de 60% encontrou valor de US\$ 2,75 m<sup>3</sup> e US\$ 2,64 m<sup>3</sup>, nas áreas A e B, respectivamente,

para uma produtividade  $31,79 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ , valores similares com o da atual pesquisa. No mesmo trabalho o autor calculou o custo de produção de uma máquina usada com 60% de taxa de utilização e encontrou um custo de produção de US\$ 3,84  $\text{m}^3$  e US\$ 3,64  $\text{m}^3$  para duas áreas. O aumento do custo de produção se deu devido o aumento do custo operacional da máquina, já que a produtividade foi à mesma.

Já Oliveira et al. (2009) quando trabalhou com um *forwarder* da marca Valmet<sup>®</sup>, modelo 890.3, em diferentes sortimentos determinou um custo médio de produção de R\$ 6,84  $\text{m}^3\text{cc}$  para uma produtividade de  $31,3 \text{ m}^3\text{cc he}^{-1}$ . O baixo custo de produção, quando comparado ao deste trabalho, calculado por eles é em razão do baixo custo operacional da máquina avaliada pelos mesmos.

Ao avaliarem um *forwarder* em 3 subsistemas de colheita, Minette et al. (2004) determinaram um custo de produção igual a US\$ 1,74  $\text{m}^3\text{cc}$  e US\$ 1,53  $\text{m}^3\text{cc}$  para os subsistemas 1 e 2, respectivamente, tais valores podem ser justificados devido a alta produtividade da máquina nos subsistemas citados, sendo que no subsistema 3 onde a produtividade caiu o custo de produção aumentou para US\$ 2,51  $\text{m}^3\text{cc}$ , valor próximo ao calculado na atual pesquisa.

Na Figura 16 é apresentada uma regressão linear da variável dependente, custo de produção, em função da variável independente, produtividade. É possível verificar que o aumento da produtividade causa a redução do custo de produção, isso é possível porque o custo de produção é o valor que se gasta para produzir uma unidade do produto e dessa forma quando maior for à produtividade menor o custo de produção. O acréscimo de 10% na produtividade da máquina provoca uma redução de 8% no custo de produção da máquina avaliada.

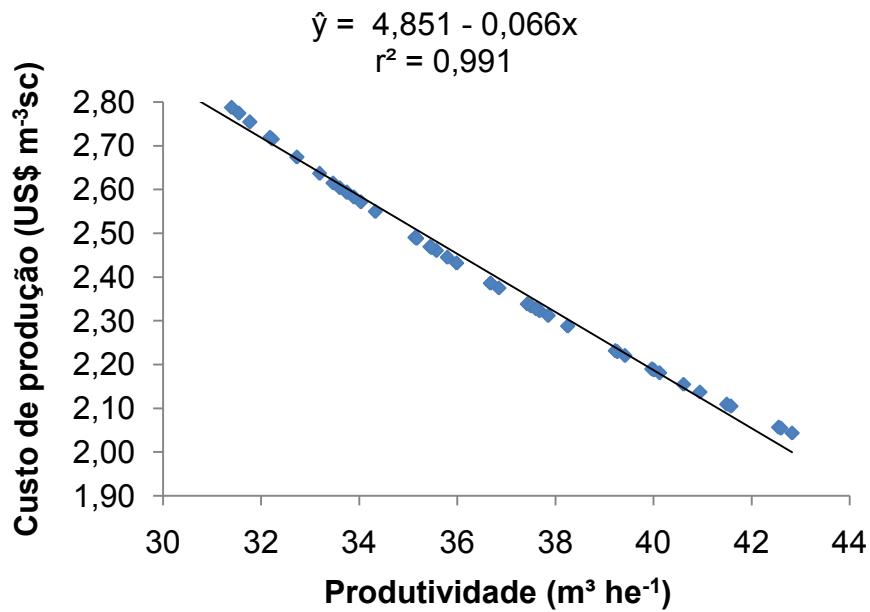


Figura 16 – Equação de regressão da variável custo de produção (US\$ m<sup>-3</sup>sc) em função da produtividade do trator florestal transportador (m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>).

### 3.3.3. Análise de sensibilidade

Na Figura 17 foram plotados, graficamente, as curvas dos principais componentes do custo operacional da máquina. O valor de aquisição foi à variável com maior expressividade no custo operacional do trator florestal, isso é devido ao elevado investimento inicial para obter essas máquinas, pois as mesmas são robustas, com motores potentes e apresentam alto nível tecnológico. A redução de 10% no valor de aquisição da máquina implica na redução de 7% no custo operacional do *forwarder*.

O custo com manutenção e reparos foi à variável com a segunda maior representatividade, seguida de horas efetivas de trabalho, combustível, depreciação, juros e mão de obra.

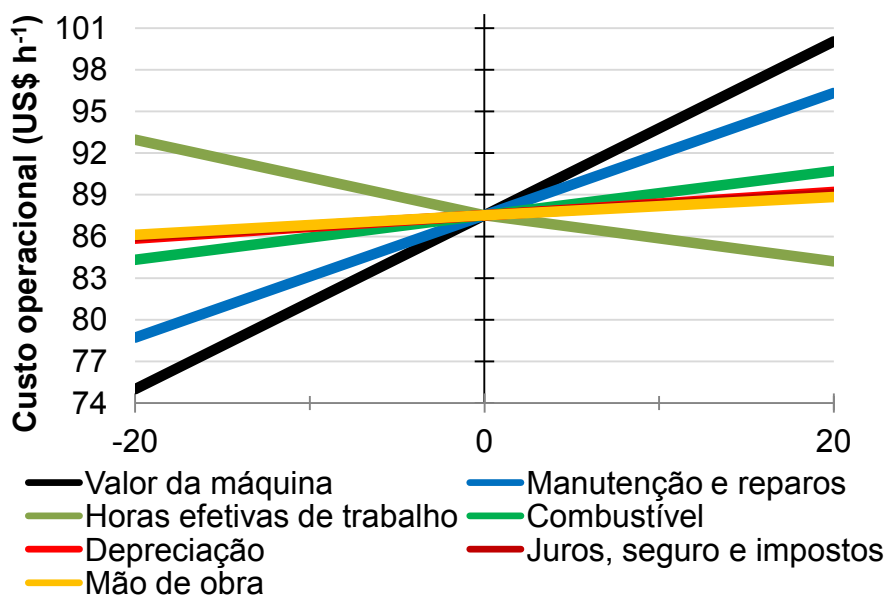


Figura 17 – Diagrama de Spiderplot mostrando as principais variáveis que compõem o custo operacional do *forwarder*.

Na análise de sensibilidade realizada por Leite (2012) as variáveis mais influentes no custo operacional da máquina foram valor de aquisição e manutenção e reparos, resultado análogo ao desta pesquisa.

Na análise de sensibilidade realizada por Robert (2013) os componentes mais influentes no custo da máquina foram: valor de aquisição, preço do combustível, vida útil, depreciação, salário dos operadores, taxa de juros e custo de manutenção e reparos. Segundo o autor a baixa representatividade do custo com manutenção é devido à máquina ser nova, ou seja, apresentava poucas horas de trabalho no momento do estudo.

### 3.3.4. Ponto de equilíbrio

O ponto de equilíbrio da máquina avaliada foi de 2.144 h ano<sup>-1</sup>. O baixo ponto de equilíbrio dessa máquina é devido à alta produtividade da mesma, associado aos baixos custos fixos.

Santos (2014) e Leite (2012) determinaram valores acima do encontrado na presente pesquisa, possivelmente, devido às máquinas avaliadas por eles apresentarem maiores valores de custos fixos, sendo 16% a mais no trabalho de Santos (2014) e 60% a mais na pesquisa de Leite (2012).

O aumento de 10% nos custos fixos da máquina avaliada na atual pesquisa resultaria no aumento de 214 h ano<sup>-1</sup> no ponto de equilíbrio da mesma.

### 3.3.5. Taxa Interna de Retorno

A maior TIR, (59%), foi obtida no quinto ano de operação da máquina, sendo que a partir da Figura 19 é possível visualizar que as receitas aumentam com o aumento da vida útil da máquina, porém após o quinto ano de vida útil da máquina a TIR tende a diminuir devido ao aumento dos custos variáveis.

A máquina só apresentou a TIR positivas no final do segundo ano de vida útil, em razão do alto investimento inicial necessário para adquirir o trator florestal, que em consequência reduz as receitas nos anos iniciais de operação.

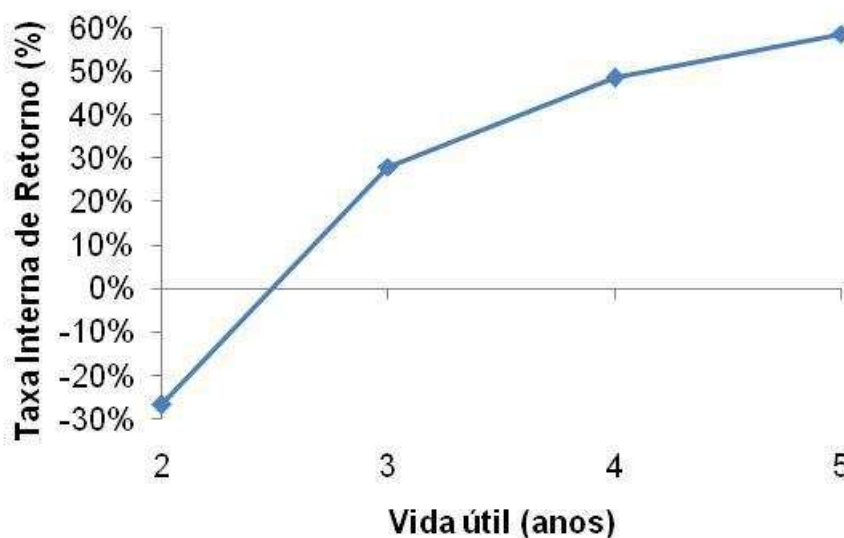


Figura 19 – Taxa interna de Retorno (TIR), em função da vida útil (anos) do *forwarder*.

Resultado inferior foi encontrado por Santos (2014), em virtude da máquina avaliada por ela apresentar um custo de produção 85% maior que o determinado na atual pesquisa

Quando Leite (2012), avaliou um *forwarder* operando em declive, encontrou resultado superior, em virtude da máquina avaliada por ele apresentar uma produtividade média de 40,33 m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>.

### 3.4. Avaliação do subsistema

A partir do Quadro 1 é possível verificar que o subsistema analisado apresentou um custo operacional de US\$ 254.02  $\text{he}^{-1}$ , e custo de produção de US\$ 5.16  $\text{m}^{-3}$ . O *feller-buncher* foi à máquina que mais onerou o custo operacional do subsistema com 40%, porém foi a que menos onerou o custo de produção com apenas 14%, devido a sua alta produtividade. Já o trator florestal transportador foi o que mais contribuiu para o custo de produção, com 47%.

Quadro 1 – Valores médios do custo operacional (US\$  $\text{he}^{-1}$ ) e custo de produção (US\$  $\text{m}^{-3}$ ) das máquinas avaliadas.

Máquinas	Custo operacional (US\$ $\text{he}^{-1}$ )	Custo de produção (US\$ $\text{m}^{-3}$ )
<i>Feller-buncher</i>	102.16	0.74
<i>Harvester</i>	64.20	2.00
<i>Forwarder</i>	87.66	2.42
Total	254.02	5.16

Ao avaliar um sistema toras curtas composto por *harvester* e *forwarder*, Oliveira (2013) encontrou um custo operacional de R\$ 352,79  $\text{h}^{-1}$ , ou seja, o custo operacional do atual subsistema é 182% superior.

Já Robert (2013) ao pesquisar um sistema toras curtas, formado por máquinas novas de *harvester* e *forwarder* com taxa de utilização de 75%, determinou um custo operacional de US\$ 182.45  $\text{he}^{-1}$ .

Cabral (2014) quando estudou o desbaste de árvores de *Pinus taeda*, sendo o corte e processamento realizado por *harvester* e o baldeio por *forwarder*, calculou um custo de operacional igual a R\$ 324  $\text{h}^{-1}$ , valor inferior quando comparado ao encontrado na atual pesquisa.

#### 4. CONCLUSÕES

O *harvester* apresentou o menor custo operacional, em oposição o *feller-buncher* apresentou o maior custo operacional por hora efetiva de trabalho.

O menor custo de produção foi obtido pelo *feller-buncher*, já o maior foi apresentado pelo *forwarder*.

O valor de aquisição, horas efetivas de uso anual, manutenção e reparos, combustível, juros e depreciação foram às variáveis mais influentes no custo operacional das máquinas avaliadas.

Constatou-se o menor ponto de equilíbrio para o *forwarder*, sendo o maior ponto de equilíbrio apresentado pelo *harvester*.

A maior e a menor TIR foram apresentadas pelo *forwarder* e pelo *harvester*, respectivamente.

Apesar do baixo custo de produção, o *feller-buncher* apresenta elevado custo operacional, sendo que tal característica limita a utilização do subsistema avaliado.

## **5. RECOMENDAÇÕES**

A partir dos resultados obtidos recomenda-se a realização de um estudo comparando o custo operacional do *harvester* processando madeira com a mesma máquina realizando o corte e processamento da madeira, em diferentes horas de uso das máquinas, afim de identificar se existem diferenças entre os custos, principalmente o custo com manutenção e reparos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico**: ano base 2012/ABRAF. Brasília, DF, 2013. 146 p.

CABRAL, O. M. J. V. Análise operacional da colheita de madeira em desbastes de *Pinus taeda* L. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – UNICENTRO, Irati – PR, 2014.

COSTA, E. M. **Avaliação do desempenho e de custos de um harvester em floresta de eucalipto de baixa produtividade**. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – UFV, Viçosa – MG, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

FERNANDES, H C. et al. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 225-232, set. 2009.

LEITE, E. S. et al. Desempenho do *harvester* na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.1, 2014.

LEITE, E. S. **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas**. 109 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UFV, Viçosa - MG, 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, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S.; CASTRO, G. P. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C (Editor.). **Colheita Florestal**. 3ed. Viçosa-MG: UFV, 2014. P. 15-45.

MINETTE, L. J.; MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; SILVA, K. R. Análise técnica e econômica do *forwarder* em três subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.1, p.91-97, 2004.

NASCIMENTO, A. C.; LEITE, A. M. P.; SOARES, R. S.; FREITAS, L. C. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com *feller-buncher*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 9-15, jan./mar. 2011.

OLIVEIRA, D. **Análise operacional e custos de sistemas de colheita de madeira em povoamentos de eucalipto**. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – UNICENTRO, Irati – PR, 2013.

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

ROBERT, R. C. G. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita mecanizada em plantios de *Eucalyptus* spp. em duas condições de relevo acidentado**. 113 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2013.

SANTOS, L. N. **Avaliação econômica da colheita florestal mecanizada com *harvester* e *forwarder***. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV, Viçosa - MG, 2014.

SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Comparação técnica e econômica entre *harvesters* de pneus e com máquinas base de esteiras. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 185-191, jan.-mar., 2014.

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

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de madeira em povoamentos de eucalipto de primeiro corte. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 711-720, out./dez. 2010a.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com *harvester*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 611-618, dez. 2010a.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Avaliação técnica e econômica de corte de eucalipto com *feller-buncher* em diferentes condições operacionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 649-656, out.-dez., 2010b.

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

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

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

Tabela 1A – Valores utilizados no cálculo do custo operacional do *feller-buncher*.

Itens	Valor
Valor de aquisição do <i>feller-buncher</i> (US\$)	346.938,78
Valor de revenda (10%)	34.693,88
Vida útil econômica (anos)	5,00
Horas trabalhadas no ano (h/ano)	5.840,00
Horas trabalhadas por dia (h/dia)	16,00
Dias trabalhados por ano (d/ano)	365,00
Eficiência operacional (%)	0,80
Horas efetivas de uso anual (he/ano)	3.474,80
Dias trabalhados por mês (d/mês)	30,00
Taxa de juros anuais (% a.a.)	0,13
Seguros (% a.a.)	0,02
Preço do combustível (US\$/L)	0,74
Consumo de combustível (L/h)	40,00
Índice de custo com óleo hidráulico (%)	15
Índice de custo com graxas e lubrificantes (%)	23
Preço do pneu (US\$/unid.)	7.397,96
Número de esteiras por máquina	2,00
Vida útil da esteira (h/unid)	16.000,00
Salário do operador (US\$/mês)	765,31
Número de operadores por máquina	2,00
Fator de encargos sociais (decimal)	1,60
Média de deslocamento diário (km dia <sup>-1</sup> )	100
Número de operadores por veículo de transporte	42
Índice de transporte de maquinário (%)	75

Tabela 2A – Valores utilizados no cálculo do custo operacional do *harvester*.

Itens	Valor
Valor de aquisição do <i>harvester</i> (US\$)	272.782,65
Valor de revenda (10%)	27.278,27
Vida útil econômica (anos)	5,00
Horas trabalhadas no ano (h/ano)	5.840,00
Horas trabalhadas por dia (h/dia)	16,00
Dias trabalhados por ano (d/ano)	365,00
Eficiência operacional (%)	0,85
Horas efetivas de uso anual (he/ano)	4.318,68
Dias trabalhados por mês (d/mês)	30,00
Taxa de juros anuais (% a.a.)	0,13
Seguros (% a.a.)	0,02
Preço do combustível (US\$/L)	0,74
Consumo de combustível (L/h)	17,00
Índice de custo com óleo hidráulico (%)	15
Índice de custo com graxas e lubrificantes (%)	25
Preço do pneu (US\$/unid.)	7.653,06
Número de pneus	2,00
Vida útil do pneu (h/unid)	16.000,00
Salário do operador (US\$/mês)	765,31
Número de operadores por máquina	2,00
Fator de encargos sociais (decimal)	1,60
Média de deslocamento diário (km dia <sup>-1</sup> )	100
Número de operadores por veículo de transporte	42
Índice de transporte de maquinário (%)	75

Tabela 3A – Valores utilizados no cálculo do custo operacional do *forwarder*.

Itens	Valores
Valor de aquisição do <i>forwarder</i> (US\$)	380.031,00
Valor de revenda (10%)	38.003,10
Vida útil econômica (anos)	5,00
Horas trabalhadas no ano (h/ano)	5.840,00
Horas trabalhadas por dia (h/dia)	16,00
Dias trabalhados por ano (d/ano)	365,00
Eficiência operacional (%)	0,86
Horas efetivas de uso anual (he/ano)	4.169,76
Dias trabalhados por mês (d/mês)	30,00
Taxa de juros anuais (% a.a.)	0,13
Seguros (% a.a.)	0,02
Preço do combustível (US\$/L)	0,74
Consumo de combustível (L/h)	16,00
Índice de custo com óleo hidráulico (%)	13
Índice de custo com graxas e lubrificantes (%)	22
Preço do pneu (US\$/unid.)	2.423,47
Número de pneus	8,00
Vida útil do pneu (h/unid)	10.000,00
Salário do operador (US\$/mês)	765,31
Número de operadores por máquina	2,00
Fator de encargos sociais (decimal)	1,60
Média de deslocamento diário (km dia <sup>-1</sup> )	100
Número de operadores por veículo de transporte	42
Índice de transporte de maquinário (%)	75