

REMO MACIEIRA FIGUEIREDO SILVA

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DOS TRATORES FLORESTAIS HARVESTER E
FORWARDER**

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
2015**

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

T

S586a
2015

Silva, Remo Macieira Figueiredo, 1989-

Avaliação econômica dos tratores florestais Harvester e
Forwarder / Remo Macieira Figueiredo Silva. – Viçosa, MG,
2015.

x, 52f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Fábio Lúcio Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.42-49.

1. Equipamentos agrícolas - Custos. 2. Máquinas Florestais.

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

CDD 22. ed. 631.3

REMO MACIEIRA FIGUEIREDO SILVA

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DOS TRATORES FLORESTAIS HARVESTER E
FORWARDER**

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*.

APROVADO: 24 de fevereiro de 2015.

Haroldo Carlos Fernandes
(Coorientador)

Joseph Kalil Khoury Junior

Fábio Lúcio Santos
(Orientador)

Dedico este trabalho a minha mãe Regina, pai Rômulo e tia Rose por me guiarem e me ajudarem a ser uma pessoa melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças e ter me guiado durante toda a minha vida.

Aos meus pais e minha tia Rose por me ensinarem a ser forte, pelo carinho e amor, por me corrigirem quando preciso e me mostrar os verdadeiros valores da vida.

Aos meus irmãos Rômulo e Rui por sempre estarem comigo e serem companheiros.

À Larissa por estar comigo e me apoiar nos momentos mais difíceis durante todo esse tempo.

À Tânia pelo amor, carinho, ajuda e por estar presente nos momentos difíceis.

À Amábelli, Angélica e Patrícia pela amizade e por me aturarem.

Ao professor Fábio Lúcio Santos pela oportunidade, orientação, compreensão, confiança, paciência, conselhos e amizade.

Ao professor Haroldo Carlos Fernandes pelo apoio, ajuda, ensinamentos, direcionamento e oportunidade para que tudo isso fosse possível.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso de Pós-Graduação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA), pela oportunidade e confiança. Em especial ao Edvaldes José de Amaral e Fabricio Geraldo dos Santos pela paciência e sugestões.

Aos amigos e colegas da Mecanização pelo companheirismo diário.

À Juliana e Júnior, pelas caronas, moradia, amizade e companheirismo.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

REMO MACIEIRA FIGUREIREDO SILVA, Rômulo Macieira Figueiredo Silva e Regina da Silva Figueiredo, nasceu em Nanuque, Minas Gerais, em 28 de outubro de 1989.

De 2008 a 2012 graduou-se em Engenharia Florestal pela Faculdade Pitágoras, Teixeira de Freitas, Bahia.

Em 2013, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, área de concentração em Mecanização Agrícola, pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Em fevereiro de 2015, submeteu-se aos exames de defesa da dissertação, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. Introdução	1
2. Objetivo	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. Revisão de literatura	4
3.1 Importância do setor florestal brasileiro	4
3.2 Mecanização da colheita florestal	4
3.3 Sistemas de colheita florestal	6
3.4 Sistema de toras curtas	7
3.5 Análise econômica aplicada ao setor florestal	9
3.5.1 Custo operacional	9
3.5.2 Análise de sensibilidade	10
3.5.3 Ponto de equilíbrio	11
3.5.4 Custo anual equivalente (CAE)	11
3.5.5 Taxa interna de retorno (TIR)	12
4. Material e métodos	14
4.1 Caracterização da área	14
4.2 Descrição das máquinas	14
4.3 Análises Econômicas	15
4.3.1 Análise de custos	16
4.3.1.1 Custos fixos (CF)	16
4.3.1.2 Custos variáveis	18
4.3.1.3 Custo total da máquina	22
4.3.1.4 Custo de produção por volume de madeira	22
4.3.2 Análise de sensibilidade	23
4.3.3 Ponto de equilíbrio	23
4.3.4 Custo anual equivalente (CAE)	24
4.3.5 Taxa interna de retorno (TIR)	24

5. Resultados e discussão	25
5.1 <i>Harvester</i>	25
5.1.1 Custo operacional	25
5.1.2 Análise de sensibilidade	29
5.1.2.1 Horas efetivas de trabalho	30
5.1.2.2 Manutenção e reparos	30
5.1.2.3 Mão de obra	30
5.1.2.4 Combustível	30
5.1.2.5 Depreciação	31
5.1.3 Custo de produção	31
5.1.4 Ponto de equilíbrio (H)	32
5.1.5 Custo anual equivalente (CAE)	33
5.1.6 Taxa interna de retorno (TIR)	33
5.2 <i>Forwarder</i>	34
5.2.1 Custo total	34
5.2.2 Análise de sensibilidade	37
5.2.2.1 Horas efetivas de trabalho	38
5.2.2.2 Manutenção e reparos	38
5.2.2.3 Mão de obra	38
5.2.2.4 Depreciação	38
5.2.2.5 Combustível	38
5.2.3 Custo de produção	39
5.2.4 Ponto de equilíbrio (H)	40
5.2.5 Custo anual equivalente (CAE)	41
5.2.6 Taxa interna de retorno (TIR)	41
6. Conclusão	42
7. Referências Bibliográficas	43
APÊNDICE	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Percentual de área e ângulo de inclinação da região.....	14
Quadro 2. Custos fixos, variáveis e totais por hora efetiva de trabalho de oito <i>harvesters</i> Komatsu, modelo PC-228	26
Quadro 3. Produtividade horária e custo de produção do <i>harvester</i>	31
Quadro 4. Correlação do custo de produção com a produtividade horária e as horas anuais de trabalho do <i>harvester</i>	32
Quadro 5. Custo anual equivalente (CAE) do <i>harvester</i>	33
Quadro 6. Custos fixos, variáveis e totais por hora efetiva de trabalho de seis <i>forwarders</i> Komatsu, modelo 890.3	35
Quadro 7. Produtividade horária e custo de produção do <i>forwarder</i>	39
Quadro 8. Correlação do custo de produção com produtividade horária e horas anuais de trabalho do <i>forwarder</i>	40
Quadro 9. Custo anual equivalente (CAE) do <i>forwarder</i>	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Trator florestal harvester fabricado pelo Komatsu, modelo 895. Fonte: Komatsu.....	8
Figura 2. Trator florestal Forwarder fabricado pela Komatsu, modelo 895. Fonte: Komatsu.....	9
Figura 3. Trator florestal <i>harvester</i> fabricado pela Komatsu, modelo PC-228. Fonte: CENIBRA.....	15
Figura 4. Trator florestal <i>forwarder</i> fabricado pela Komatsu, modelo 890.3. Fonte: CENIBRA.....	15
Figura 5. Distribuição dos componentes do custo total médio geral em dólares por hora efetiva (US\$ h ⁻¹) e porcentagem (%) do <i>harvester</i>	27
Figura 6. Custos fixos, variáveis e totais médios por hora efetiva de trabalho do <i>harvester</i> em função da vida útil em anos.	28
Figura 7. Diagrama de <i>spiderplot</i> das principais variáveis do custo total médio do <i>harvester</i>	30
Figura 8. Distribuição dos componentes do custo total médio geral em dólares por hora efetiva (US\$ h ⁻¹) e porcentagem (%) do <i>forwarder</i>	35
Figura 9. Custos fixos, variáveis e totais médios por hora efetiva de trabalho do <i>forwarder</i> em função da vida útil em anos.	36
Figura 10. Diagrama de <i>spiderplot</i> das principais variáveis do custo total médio do <i>forwarder</i>	38

RESUMO

SILVA, Remo Macieira Figueiredo, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Avaliação econômica dos tratores florestais harvester e forwarder**. Orientador: Fábio Lúcio Santos. Coorientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Neste trabalho objetivou-se avaliar economicamente os tratores florestais *harvester* e *forwarder* nas atividades de corte e extração de eucalipto. Foram utilizadas quatorze máquinas florestais, oito *harvesters* da marca Komatsu, modelo PC-228 utilizados na derrubada e processamento da madeira e seis *forwarders* da marca Komatsu, modelo 890.3 utilizados na extração da madeira. A base de dados utilizada foi fornecida por uma empresa florestal situada no estado de Minas Gerais, contendo todas as informações necessárias para o cálculo do custo operacional das máquinas, a análise de sensibilidade, o ponto de equilíbrio, o custo anual equivalente (CAE) e a taxa interna de retorno (TIR). O custo operacional foi obtido através do somatório dos custos fixos e variáveis. Para a análise de sensibilidade foi realizada uma variação de $\pm 20\%$ (10% para mais e 10% para menos) dos elementos mais representativos do custo total da máquina. O ponto de equilíbrio foi utilizado para determinar a quantidade de horas mínimas que as máquinas deveriam trabalhar para viabilizar sua compra. O CAE foi utilizado para determinar o ponto de troca do trator e a TIR foi utilizada para determinar a rentabilidade da operação. Os resultados obtidos para o custo total médio do sistema de toras curtas constituído pelo módulo de colheita *harvester* e do *forwarder* foi de US\$ 255,71 h⁻¹ e US\$ 199,82 h⁻¹ respectivamente. A redução de 10% dos custos com manutenção e reparos, mão de obra, combustível e depreciação resultou em uma economia de 9,36% do *harvester* e de 9,06% do *forwarder*. Estes elementos representaram aproximadamente 88% do custo total do *harvester* e 90% do custo total do *forwarder*. Somente para os anos de 2010 e 2011 foi encontrado o ponto de equilíbrio para os tratores florestais, sendo que para esses anos somente o *harvester* apresentou horas de trabalho suficiente para viabilizar a sua compra. Não foi encontrado o ponto de troca do *harvester* e *forwarder*. Para ambas as máquinas avaliadas não foi encontrada a TIR.

ABSTRACT

SILVA, Remo Macieira Figueiredo, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, february, 2015. **Economic evaluation of forest tractors harvester and forwarder.** Adviser: Fábio Lúcio Santos. Co-adviser: Haroldo Carlos Fernandes.

In this work aimed to evaluate economically the harvester and the forwarder in activities cutting and extraction of eucalyptus. Were used fourteen forest machines, eight harvesters of brand Komatsu, model PC-228 used in overthrow and processing of wood and six forwarders of brand Komatsu, 890.3 model used in the extraction of timber. The database used was provided by a forestry company located in the state of Minas Gerais, containing all the information necessary for calculating the operating cost of the machines, the sensitivity analysis, the breakeven point, the equivalent annual cost (CAE) and the rate internal of return (TIR). The operating cost was obtained by the sum of the fixed and variable costs. To analysis sensitivity held was a variation $\pm 20\%$ (10% for more and 10% for less) of the most representative elements of the total cost of the machine. The breakeven point was used to determine the amount of minimum hours that the machines should work to enable your purchase. The CAE was used to determine the change point tractor and the TIR was used to determine the profitability of the operation. The results obtained for the average total cost of system of short log compound by the harvester harvesting module and the forwarder was US \$ 255.71 h⁻¹ and US \$ 199.82 h⁻¹ respectively. The reduction of 10% of the costs for maintenance and repairs, labor, fuel and depreciation resulted in a saving of 9.36% of the harvester and of 9.06% of forwarder. These elements represented approximately 88% of the total cost of the harvester and 90% of the total cost of the forwarder. Only for the years 2010 and 2011 found the balance point for forest tractors, to those years only the harvester obtained hours of work enough to enable your purchase. Not was found the exchange point of harvester and forwarder. For both assessed machines was not found TIR.

1. Introdução

Atualmente o Brasil desempenha um importante papel no setor florestal mundial devido a crescente demanda por madeira e seus aspectos edafoclimáticos favoráveis (SILVA et al., 2014). No Brasil, existem 7,6 milhões de hectares de árvores plantadas para fins industriais, contribuindo anualmente com 17% de toda a madeira colhida do mundo. A cadeia produtiva do setor brasileiro de árvores plantadas caracteriza-se pela grande diversidade de produtos, compreendendo um conjunto de atividades e segmentos que incluem desde a produção até a transformação da madeira *in natura* em celulose, papel, painéis de madeira, pisos laminados, madeira serrada, carvão vegetal e móveis, além dos produtos não madeireiros e da prestação de vários serviços ambientais (IBÁ, 2014).

No setor florestal a colheita é tida como a etapa de maior custo no processo produtivo do eucalipto. Sendo assim, faz-se necessário um planejamento apropriado e criterioso da colheita florestal, almejando aperfeiçoar a produção. A mecanização da operação de colheita demanda o uso de maquinário pesado, geralmente importado, e mão de obra qualificada para a execução do trabalho, sendo o tempo de funcionamento das máquinas e o seu desgaste ao longo do tempo fatores de grande influência no custo final da operação.

Os tratores florestais, empregados na operações de colheita, possuem características e mecanismos que os tornam mais eficientes, sendo sua produtividade determinada em função do volume de madeira processada por unidade de tempo (MACHADO, 2014). Os principais tratores florestais utilizados no sistema de toras curtas são o *harvester* e o *forwarder*.

O *harvester* é um trator florestal utilizado no corte da madeira. Sua operação inicia-se com a derrubada da árvore com posterior desgalhamento, descascamento, traçamento e empilhamento da madeira. A extração florestal, operação que se refere à movimentação da madeira desde o local de corte até a margem da estrada, carreador ou pátio intermediário, é efetuada pelo trator florestal transportador *forwarder*.

A avaliação econômica das operações e máquinas florestais é fundamental para tomada de decisão no tocante à viabilidade tanto do início de um projeto quanto para aquisição de uma máquina. Algumas análises que

podem ser realizadas dentro da avaliação econômica são: a avaliação de custos, análise de sensibilidade, ponto de equilíbrio, custo anual equivalente e taxa interna de retorno.

A avaliação de custos dos investimentos, juntamente com as receitas futuras, no final do projeto, fornecem informações necessárias para realização de análises de viabilidade do investimento. Existem muitos fatores que atuam como variáveis nessa avaliação, mas sua importância é verificada quando comparada com uma produção sem planejamento financeiro, em que se pode gastar mais e produzir menos. A avaliação é baseada no fluxo de caixa, ou seja, nos custos e nas receitas distribuídas ao longo da vida útil do empreendimento (SILVA et al., 2004).

A análise de sensibilidade é uma ferramenta utilizada para identificar quais fatores exercem maior influência no custo de operação da máquina. Já o ponto de equilíbrio estabelece o número de horas anuais trabalhadas necessárias para a viabilização da compra de uma máquina (LEITE, 2012).

Para determinar o momento ideal para substituição de uma máquina ou equipamento, pode-se empregar o método de análise do custo anual equivalente (CAE), o qual considera a taxa de juros anual. Essa análise se faz necessária, uma vez que, a substituição tanto prematura quanto tardia de uma máquina pode resultar em prejuízo (VALVERDE; REZENDE, 1997).

Outra importante análise a ser realizada é a taxa interna de retorno (TIR). A partir dessa análise é possível estimar a remuneração do investimento em termos percentuais, determinando o percentual de ganho que um investimento e/ou financiamento pode oferecer ao investidor (TORRES, 2004).

Neste contexto é evidente a necessidade de realização de avaliações econômicas da atividade e das máquinas que compõem a operação de colheita, com intuito de identificar os reais custos gerados por estas máquinas, uma vez que com estes dados é possível identificar as causas do aumento ou redução dos custos de colheita, tendo como resultado o aumento da receita da atividade.

2. Objetivo

2.1 Objetivo Geral

Avaliar economicamente os tratores florestais *harvester* e *forwarder* nas atividades de corte e extração de eucalipto.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os custos operacionais dos tratores *harvester* e *forwarder* no processo de colheita;
- Identificar e analisar os elementos mais representativos na composição dos custos totais do *harvester* e *forwarder*;
- Determinar o ponto de equilíbrio e o ponto de troca dos tratores florestais;
- Avaliar a taxa interna de retorno das máquinas.

3. Revisão de Literatura

3.1 Importância do setor florestal brasileiro

A atividade florestal é um dos setores com grande relevância para a economia brasileira e para a sociedade em geral. O setor de florestas plantadas contribui com uma parcela importante na geração de tributos, empregos e produtos. Em 2013 este setor colaborou para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) em 0,9%. Adicionalmente, o programa de incentivos fiscais proporcionou grandes benefícios sociais com a criação de 4,4 milhões de postos de empregos, incluindo empregos diretos e indiretos. Os investimentos em programas sociais totalizaram R\$ 150,5 milhões, distribuídos em programas de inclusão social, educação e meio ambiente, que se estendem desde a reabilitação de terras degradadas, combate à desertificação do solo, sequestro e armazenamento de carbono á amenização das paisagens (IBÁ, 2014).

Atualmente, as florestas do Brasil são estimadas em 463 milhões de hectares (54,4% do seu território), em que 98,5% são de florestas naturais e 1,5% de florestas plantadas. O que representa a segunda maior área de florestas do mundo. As florestas plantadas são compostas principalmente por espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* representando 92,8% do total (SFB, 2013).

O eucalipto possui um caráter estratégico e de grande importância para o país, uma vez que a sua madeira é responsável pelo abastecimento da maior parte da base florestal mundial. Da madeira extraída do eucalipto são produzidas cerca de 5,4 milhões de toneladas de celulose por ano, o que representa mais de 70,0% da produção nacional (SILVA, 2010).

3.2 Mecanização da colheita florestal

Definida como um conjunto de operações realizadas no maciço florestal, a colheita florestal visa derrubar, processar e extrair a madeira até o local de transporte, por meio de técnicas e padrões estabelecidos, tendo por finalidade transformá-la em produto final (TANAKA, 1986).

No processo produtivo da madeira, a operação de colheita florestal é considerada uma das etapas mais importantes, sendo a mais onerosa em

termos de custo de produção. Esta atividade representa a operação final do ciclo produtivo na qual são extraídos os produtos de maior valor, compondo um dos fatores que definem a rentabilidade florestal. A colheita florestal corresponde a 50%, ou mais, do total dos custos finais da madeira posta na fábrica, tornando necessária a utilização ou desenvolvimento de técnicas que otimizem a colheita, visando um maior aproveitamento da matéria-prima e à redução dos custos de produção (BURLA, 2008).

A colheita florestal teve um processo evolutivo lento e rudimentar, definido por métodos manuais e uso de força animal. Até a década de 1940, praticamente não se utilizavam máquinas na colheita florestal. A modernização do sistema se deu somente no início na década de 1970, com a produção de maquinário de porte leve e médio como, motosserras e os tratores agrícolas equipados com implementos florestais (MACHADO, 2014).

Entre as décadas de 70 e 80, o setor teve um crescimento significativo devido ao programa de incentivos fiscais, intensificando o plantio de florestas homogêneas, que visavam reduzir o desmatamento promovendo o uso de madeira derivada de reflorestamentos (SILVA et al., 2012). Em 1980, surgiram as máquinas específicas para a colheita florestal. No entanto, somente em 1994 com a abertura das importações, a carência e o aumento do custo de mão de obra, houve a intensificação da mecanização da colheita (PEREIRA, 2010).

Para Paula (2011a), a mecanização visa o aumento na produtividade, melhorias na eficiência do plantio, qualidade do produto final, redução de custos da colheita, cumprimento das exigências de mercado, tais como a certificação florestal, saúde e segurança do trabalho, mão de obra qualificada e redução dos impactos no meio ambiente.

O desenvolvimento da mecanização, nas operações de colheita de madeira oriunda de florestas plantadas, vem evidenciando o Brasil como um grande consumidor dentre os mais importantes mercados de máquinas especializadas no corte, extração e carregamento de madeira. O rápido crescimento das plantações florestais, associada a alta demanda por madeira proveniente destas florestas no mercado, garantem ao setor florestal brasileiro destaque internacional. No entanto, por ser um cultivo de médio a longo prazo, a silvicultura muitas vezes é desenvolvida em áreas que não possuem

características topográficas adequadas para o uso de máquinas florestais durante as operações de colheita (ROBERT, 2013).

Atualmente, as empresas utilizam uma diversificada linha de maquinários e equipamentos na colheita de madeira, em função da quantidade de marcas e modelos disponíveis para a execução das operações de corte e extração florestal, cabendo a cada uma escolher por aquele sistema/método que seja mais apropriado às suas particularidades (NASCIMENTO et al., 2011).

Burla et al. (2012) consideram a colheita florestal uma operação complexa por estar sujeitada a diferentes fatores climáticos, biológicos e relacionados ao sistema homem-máquina, que podem influenciar a produtividade das máquinas e os custos de produção.

Para se ter o controle das atividades a serem realizadas é necessário conhecer, com precisão, as restrições e alternativas pertinentes a cada operação. As restrições mais comuns na colheita florestal são: a declividade do terreno, o espaçamento de plantio, o volume das árvores, o manejo adotado, a potência e a produtividade das máquinas, entre várias outras (MALINOVISK et al., 2008).

Deste modo, é indispensável à implementação de estratégias no sentido de racionalizar e dinamizar as operações, colaborando expressivamente para o aumento da produtividade e, posteriormente, para a redução dos custos. Entretanto, para intervir no sistema e adotar tais estratégias é necessário o conhecimento detalhado de todo o processo, possibilitando a atuação nos pontos deficientes. (MINETTE et al., 2008).

3.3 Sistemas de colheita florestal

Os sistemas de produção de madeira em florestas comerciais são compostos por uma sequência ordenada de atividades, denominadas de operações florestais. Essas são executadas de maneira cronológica, seguindo as fases de implantação, desenvolvimento da floresta e colheita da madeira (SIMÕES, 2008).

O sistema de colheita florestal pode ser descrito como um conjunto de atividades interligadas, que propiciam o fluxo constante de madeira e a extrema utilização de máquinas e equipamentos. Este pode ser influenciado pela topografia do terreno, rendimento volumétrico do povoamento, tipo de floresta, uso final de madeira, máquinas, equipamentos e recursos disponíveis

(MACHADO, 2014). Os sistemas de colheita de madeira mais comuns são os sistemas de árvores inteiras e de toras curtas (FERNANDES, 2009).

O sistema de colheita de toras longas (*tree-length*) é predominante nos países da América do Norte. Neste sistema no local de derrubada a árvore é desgalhada e destopada e levada para as margens da estrada ou pátios intermediários em forma de fuste com mais de 6 metros de comprimento. O módulo de colheita mecanizado utilizado é composto pelo *feller-buncher* (realiza o corte e o agrupamento das árvores em feixes) e *skidder* (efetua o deslocamento dos feixes até as margens da estrada ou pátio temporário) (FERNANDES et al., 2010; MACHADO, 2014).

O sistema de toras curtas (*cut-to-length*) caracteriza-se pela realização de todos os processos no próprio local onde a árvore foi derrubada, ou seja, as árvores são cortadas, desgalhadas e traçadas em toras de 3 a 6 metros dentro da floresta e extraídas para as margens das estradas ou pátios intermediários. As principais máquinas utilizadas neste sistema são o *harvester* e o *forwarder* (CANTO, 2009; SIMÕES; FENNER, 2010). No Brasil, este sistema é largamente utilizado na colheita do eucalipto (SIMÕES et al., 2010).

3.4 Sistema de toras curtas

Os tratores florestais possuem características e mecanismos que os tornam mais eficientes, sendo sua produtividade determinada em função do volume de madeira processada por unidade de tempo (MACHADO, 2014). Dentre as máquinas mais utilizadas na exploração florestal, estão o *harvester* e o *forwarder* (LINHARES et al., 2012).

No sistema de toras curtas, o *harvester* (Figura 1) é a principal máquina utilizada na derrubada e processamento da árvore. O processamento de árvore durante a etapa de colheita mecanizada consiste na derrubada (em alguns casos), no descascamento, desgalhamento, traçamento em toras de comprimento predeterminado e empilhamento da madeira deixando-as prontas para serem retiradas da floresta (LINHARES et al., 2012; SILVA et al., 2010a).



Figura 1. Trator florestal harvester fabricado pelo Komatsu, modelo 895. Fonte: Komatsu.

O trator florestal *harvester* pode ser de pneus ou de esteiras, ou ainda, adaptações realizadas em escavadoras de esteiras com a introdução de um cabeçote processador. Essa alternativa é muito empregada no setor florestal brasileiro, especialmente pelo menor custo de compra e a disponibilidade de modelos fabricados no país, facilitando a assistência técnica e a aquisição de peças e manutenção. Porém, as máquinas de esteiras apresentam um alto custo de manutenção e uma maior restrição à operação em terrenos acidentados quando comparadas as máquinas de pneus (SEIXAS; BATISTA, 2014).

Alguns fatores que influenciam no desempenho do *harvester* são a qualificação do operador, as características mecânicas e ergonômicas da máquina, as condições do talhão e do povoamento florestal, a realização adequada de manutenções, a idade da máquina, as propriedades físico-mecânicas dos materiais lenhosos processados, o clima e ar atmosférico, dentre outros (SILVA et al., 2010b).

O *forwarder* (Figura 2) é um trator florestal que realiza o transporte primário por auto carregamento e descarregamento da madeira (LINHARES et al., 2012). O transporte (baldeio) é efetuado pelo *forwarder*, após a operação de derrubada e processamento realizado pelo *harvester*, percorrendo as linhas de madeira processada, auto carregando-se e levando a madeira até a borda da estrada mais próxima para posterior descarregamento (LIMA, 2010).



Figura 2. Trator florestal Forwarder fabricado pela Komatsu, modelo 895. Fonte: Komatsu.

Os *forwarders* são compostos basicamente de um trator florestal com cabina de comando, carreta e grua. A carreta é constituída por estrado, fueiros e sistema de frenagem. A grua é formada por rotator, coluna, braço, lança telescópica, garra e comandos. A capacidade de transporte do auto carregável depende da potência do motor e das dimensões da carreta. Estes tratores normalmente possuem pneus largos do tipo flutuação ou de baixa pressão, podendo ter entre dois a quatro eixos motrizes. Sua velocidade máxima em média é de aproximadamente 25 km h^{-1} , podendo alguns modelos atingirem até 45 km h^{-1} para deslocamento apenas em estradas e sem carga (SILVA; FENNER, 2009).

3.5 Análise econômica aplicada ao setor florestal

A análise econômica aplicada ao setor florestal pode contribuir no diagnóstico, planejamento, acompanhamento, controle e segurança na tomada de decisão mais lucrativa ou que resultem em benefícios indiretos, garantindo o sucesso da atividade florestal (MATSUSHITA et al., 2010). Algumas análises que podem ser realizadas dentro da avaliação econômica são: a avaliação de custos, análise de sensibilidade, custo anual equivalente, ponto de equilíbrio e taxa interna de retorno.

3.5.1 Custo operacional

Devido ao valor de aquisição das máquinas utilizadas na colheita florestal é necessário que haja um alto investimento financeiro, o que acarreta em definir qual será a máquina ou o conjunto mais indicado para cada

empresa, de acordo com suas necessidades. Neste contexto, objetiva-se obter o menor custo possível, bem como sustentação em longo prazo, fazendo uso de práticas economicamente viáveis (SIMÕES, 2008).

O conhecimento dos custos operacionais das máquinas florestais tornam as tomadas de decisões em projetos futuros mais confiáveis economicamente, favorecendo um planejamento adequado, o qual resultará na otimização operacional e redução dos custos de colheita (SIMÕES, 2008; SIMÕES et al., 2010). Estes resultados, integrados aos custos de investimentos e de receitas futuras, são de extrema importância na tomada de decisões (SIMÕES; SILVA, 2010).

Por meio da análise de custos pode-se determinar os gastos gerados pelo projeto, permitindo identificar e verificar quais foram as atividades mais onerosas na composição do custo total, e buscar meios para redução dos mesmos (SANTOS, 2014).

Deste modo, cabe aos gestores observarem as informações obtidas de toda a cadeia de valor da operação. Essas informações podem ser obtidas através de estudos empíricos direcionados para a mensuração de receitas, custos e despesas de todas as fases da cadeia de valor (BLEIL et al., 2008).

A utilização de modelos de custo para a análise de atividades florestais, como na silvicultura, colheita de madeira e transporte florestal, vem se desenvolvendo de forma notória nos últimos anos (CRUZ, 2012; FREITAS et al. 2004; QUADROS; MALINOVISK, 2012).

3.5.2 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade possibilita que o gestor observe a variação do comportamento das variáveis mais representativas na composição dos custos totais da máquina (SANTOS, 2014).

Para Matsushita et al. (2010), a análise de sensibilidade analisa o efeito que a variação de um elemento de entrada pode acarretar no resultado. Ela pode ser calculada através de uma variável que tenha influência sobre as receitas ou as despesas, as aumentando ou diminuindo.

Esta análise é de grande importância para a avaliação de novos projetos. A análise de sensibilidade pode ser realizada levando em consideração dois pontos: a sensibilidade do valor da variável dependente devido à mudanças dos valores das variáveis independentes, e o impacto

devido à mudanças dos valores das probabilidades de ocorrência dos eventos aleatórios num problema de análise de decisão (SILVA; BELDERRAIN, 2004).

3.5.3 Ponto de equilíbrio (PE)

O ponto de equilíbrio é um indicador que, em curto prazo, mostra qual a quantidade mínima que o produtor precisa produzir para igualar as receitas com os custos. Esta análise estabelece o limite mínimo a ser produzido para evitar prejuízos com a atividade econômica (SANTANA, 2005).

O ponto de equilíbrio corresponde ao ponto neutro de resultado, onde os valores abaixo de certa quantidade de produtos demandados resultam em prejuízo e acima em lucro (PAULA, 2011b).

No setor florestal o ponto de equilíbrio das máquinas florestais é utilizado para identificar a quantidade mínima de horas efetivas de trabalho para viabilizar seu uso. Se esta não alcançar o valor encontrado nesta análise é recomendado que não seja realizada a compra da máquina, tornando a terceirização da atividade uma alternativa mais viável (LEITE, 2012; SANTOS, 2014).

3.5.4 Custo anual equivalente (CAE)

O CAE é utilizado para determinar o momento ideal para substituição de uma máquina ou equipamento considerando a taxa de juros anual (VALVERDE; REZENDE, 1997). A determinação da vida econômica de máquinas através de um ponto exato para a sua substituição possibilita definir melhores formas de uso, obtendo vantagens econômicas e realizando a troca ou substituição no momento ideal (RADEL, 2014).

Como razões para a substituição de máquinas, pode-se citar a deterioração, que provoca o aumento nos custos operacionais e de manutenção, o avanço tecnológico e inadequação do ativo à linha de produção utilizada pela empresa. Um dos métodos utilizados para a determinação da vida econômica de uma máquina é o custo anual equivalente que consiste em balancear o custo de investimento inicial, os custos de operação e/ou manutenção e o custo de revenda da mesma para toda sua vida útil (ARRUDA, 2010). O ano de substituição do ativo será aquele em que o CAE for menor (CASAROTTO FILHO; KOPITKE, 2008).

Radel (2014) recomenda que seja utilizado o CAE como método de determinação da vida econômica de máquinas, uma vez que sua capacidade produtiva é de difícil mensuração. Este método reduz cada custo a um custo anual com valor atual à data base. Os custos iniciais e os custos futuros são transformados num custo anual, levando em conta a valorização do capital no tempo, a uma taxa de atualização (PEREIRA, 2009).

O custo anual equivalente determina o momento ótimo de troca ou substituição de máquinas, ou seja, calcula a vida útil econômica das mesmas a partir das informações originadas das estimativas de custos aplicando o CAE para cada período (MARIA, 2009; MARIA; LUZ, 2010).

3.5.5 Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno é a taxa de desconto que torna possível que o valor presente líquido (VPL) de um investimento iguale-se a zero. Se a TIR superar o custo de capital, o projeto deverá ser adotado, caso contrário o projeto deverá ser recusado (GRZEBIELUCKAS et al., 2010).

De acordo com Araújo et al. (2011) e Matsushita et al. (2010), a TIR corresponde ao cálculo da taxa de desconto em que o valor presente das receitas é igual ao valor presente dos custos econômicos igualando o fluxo a zero.

A TIR consiste em uma taxa de juros que anula o VPL de um fluxo de caixa. A taxa interna de retorno representa o rendimento marginal do capital e equivale à taxa de lucratividade esperada dos projetos de investimento. Esta taxa há muitos anos é considerada como critério básico para análise de viabilidade e seleção de propostas de investimento em novos projetos. Utiliza-se como regra decisória que somente se fará investimentos se a TIR for maior que a taxa de juros no mercado financeiro. A escolha de um investimento deve incidir sobre aquele que tiver a maior TIR. Quanto maior for a TIR, melhor é o investimento (MATSUSHITA et al., 2010). Segundo Vitale e Miranda (2010), a avaliação a partir da TIR considera viável o projeto em que ela for maior que a taxa de juros usada nos cálculos, e na comparação de projetos será considerado melhor aquele que obtiver a maior TIR.

Outra avaliação que pode ser realizada no que se refere à tomada de decisão, é a comparação com uma taxa mínima de atratividade, que pode ser a taxa de uma aplicação financeira alternativa, ou a taxa de retorno de um projeto

alternativo, ou, ainda, a taxa mínima de retorno estabelecida pela empresa para que o projeto seja atrativo. Quanto aos benefícios em se utilizar a TIR, tem-se que, com a adoção dessa técnica, não se faz necessário estimar a taxa de juros sendo um bom parâmetro para comparar alternativas de investimentos (VITALE; MIRANDA, 2010).

4. Material e Métodos

4.1 Caracterização da área

A pesquisa foi realizada na empresa Celulose Nipo Brasileira S.A. – CENIBRA, localizada no município de Belo Oriente, MG. Os povoamentos florestais localizaram-se nas regiões de Belo Oriente, Ipaba e Pompéu no estado de Minas Gerais. Os percentuais das classes de declividade por regiões seguem conforme o Quadro 1. O sistema de colheita utilizado foi o de toras curtas.

Quadro 1. Percentual de área e ângulo de inclinação da região.

Região	0° a 27°	28° a 35°	36° a 45°
Belo Oriente	79%	19%	3%
Ipaba	96%	4%	0%
Pompéu	58%	34%	8%
Média	77,66%	19,00%	3,66%

4.2 Descrição das máquinas

Foram utilizados dados de quatorze máquinas florestais, oito tratores florestais *harvesters* e seis tratores florestais *forwarders*.

- Trator florestal *Harvester*

Os *harvesters* utilizados foram da marca Komatsu modelo PC-228, motor Komatsu SAA6D107 E-1 de seis cilindros, turboalimentado, e potência de 155 hp (115,6 kW), com esteiras e cabeçote Valmet 370 E, conforme a Figura 3.



Figura 3. Trator florestal *harvester* fabricado pela Komatsu, modelo PC-228.
Fonte: CENIBRA

- Forwarder

Os *forwarder* utilizados foram da marca Komatsu modelo 890.3, motor 74-CTA de seis cilindros e potência de 201 hp (150 kW). Sendo três tratores 8x8 e três 6x6 com tração conforme a Figura 4.



Figura 4. Trator florestal *forwarder* fabricado pela Komatsu, modelo 890.3.
Fonte: CENIBRA

4.3 Análises Econômicas

Visando realizar uma análise econômica para a operação de derrubada, processamento e extração da madeira, foram realizadas análises individuais

para cada máquina avaliada. Para os cálculos foram utilizadas as médias dos dados das máquinas. As máquinas avaliadas trabalharam nas mesmas condições durante o período de sete anos. Os dados utilizados estão reunidos no Apêndice.

4.3.1 Análise de custos

Esta análise foi feita através do método contábil, o qual utiliza valores estimados e reais. Os custos foram expressos em dólar comercial americano, oficial do Banco Central do Brasil (PTAX 800) por hora efetiva de trabalho (US\$ h⁻¹). A taxa de câmbio utilizada foi de 1US\$ = R\$ 2,4799 de 24/10/2014.

4.3.1.1 Custos fixos (CF)

Os custos fixos foram compostos por componentes de custos referentes aos juros sobre capital investido, seguros, taxas administrativas, abrigo e depreciação.

- Juros sobre capital investido

Os juros serão calculados por meio da aplicação de uma taxa de juros ao investimento médio anual (I_a), correspondente ao capital proporcionado por agência financeira, conforme a Equação 1 (FAO segundo MACHADO; MALINOVSKI, 1988).

$$J_i = \frac{I_a T_x}{h_f} \quad (1)$$

em que,

J_i = juros sobre capital investido (US\$ h⁻¹);

I_a = investimento médio anual (US\$);

T_x = taxa anual de juros simples (decimal) e,

h_f = horas efetivas de trabalho por ano (h⁻¹).

Para determinar o investimento médio anual (I_a), empregou-se a Equação 2.

$$I_a = \frac{V_a(t_a+1)+V_r(t_a-1)}{2t_a} \quad (2)$$

em que,

I_a = investimento médio anual (US\$);

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

t_a = vida útil estimada (anos) e,

V_r = valor residual da máquina (US\$).

- Seguro

Normalmente o seguro é feito contra riscos de roubos, incêndios e acidentes. O custo de seguro foi determinado conforme a metodologia proposta pela ASAE, (2001), sendo esta adaptada de acordo com as peculiaridades da empresa e dados disponíveis. Na Equação 3 foi utilizado um percentual de 1,17% do valor inicial da máquina conforme Santos (2014).

$$S_e = \frac{V_a P_e}{h_f} \quad (3)$$

em que,

S_e = Seguro (US\$ h⁻¹);

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

P_e = percentual do valor de seguro sobre o valor inicial da máquina (decimal);

e,

h_f = horas efetivas de trabalho por ano (h⁻¹).

- Taxas administrativas

Em função dos encargos administrativos, foi considerado um percentual do valor de aquisição da máquina, relacionados com a administração do trabalho e maquinário, de acordo com o preconizado pela ASAE (2001). Para cada ano foi utilizado um percentual diferente (Apêndice), conforme os dados fornecidos pela empresa (Equação 4).

$$T_x = \frac{V_a P_e}{h_f} \quad (4)$$

em que,

T_x = Taxas administrativas (US\$ h⁻¹);

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

P_e = percentual do valor das taxas administrativas sobre o valor inicial da máquina (decimal); e,

h_f = horas efetivas de trabalho por ano (h^{-1}).

- Oficina

Foram os custos destinados à manutenção, preservação e depreciação da instalação e dos veículos de apoio utilizados no campo destinados a manutenção e reparos da máquina. Para cada ano foi utilizado um percentual diferente (Apêndice) sobre o valor inicial da máquina. O custo de oficina foi determinado conforme a metodologia proposta pela ASAE, (2001) (Equação 5).

$$O_f = \frac{V_a P_e}{h_f} \quad (5)$$

em que,

O_f = Custo oficina (US\$ h^{-1});

V_a = valor de aquisição da máquina (US\$)

P_e = percentual do valor de oficina sobre o valor inicial da máquina (decimal); e,

h_f = horas efetivas de trabalho por ano (h^{-1}).

- Depreciação

A depreciação está associada ao desgaste ou obsolescência natural da máquina ao longo do tempo (perda de valor da máquina), é um modo de se recuperar o investimento original feito no momento de sua aquisição. Neste trabalho foi utilizada a depreciação linear conforme a Equação 6 (FAO segundo MACHADO; MALINOVSKI, 1988).

$$D_p = \frac{\frac{V_a - V_r}{H_v}}{h_f} \quad (6)$$

em que,

D_p = depreciação (US\$ h^{-1});

V_r = valor residual da máquina (US\$);

H_v = vida econômica da máquina em anos; e,

h_f = horas efetivas de trabalho por ano (h^{-1}).

4.3.1.2 Custos variáveis

Foram os custos que variaram de acordo com intensidade de uso da máquina. Este componente foi composto pelos custos com combustível,

lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, pneus, manutenção e reparos, mão de obra operacional.

- Combustível

O custo do combustível foi obtido por meio da metodologia proposta por Miyata (1980) segundo Moreira (2000) (Equação 7).

$$C_c = C_b p_c \quad (7)$$

em que,

C_c = custo de combustível (óleo diesel) (US\$ h⁻¹);

C_b = consumo de óleo diesel por hora efetiva de trabalho (L h⁻¹); e,

p_c = preço de um litro de óleo diesel (US\$ L).

- Óleos lubrificantes e graxas

O custo referente ao consumo de óleos lubrificantes e graxas das máquinas analisadas (Equação 8). O consumo e preço de um litro de lubrificantes e graxas foi obtido conforme informações da empresa presentes no banco de dados utilizado.

$$L_g = C_l p_l \quad (8)$$

em que,

L_g = Custo com lubrificantes e graxas (US\$ h⁻¹);

C_l = consumo de lubrificantes e graxas por hora efetiva de trabalho (L h⁻¹); e,

p_l = preço de um litro de lubrificantes e graxas (US\$ L).

- Óleo hidráulico

O custo referente ao consumo de óleo hidráulico. O consumo e preço de um litro de óleo hidráulico foi obtido através de informações da empresa presentes no banco de dados utilizado (Equação 9).

$$C_o = C_h p_o \quad (9)$$

em que,

C_o = Custo óleo hidráulico (US\$ h⁻¹);

C_h = consumo de óleo hidráulico por hora efetiva de trabalho (L h⁻¹); e,

p_o = preço de um litro de óleo hidráulico (US\$ L).

- Pneus/esteiras

É o custo referente aos gastos com pneus ou esteiras da máquina (Equação 10). Como muitas empresas adotam medidas para reconstrução do pneu/esteira gasto com o intuito de aumentar a sua vida útil, este componente de custo considerou não somente a troca de pneus/esteiras velhos por novos, como também a reutilização dos pneus/esteiras reconstruídos, a troca de câmara de ar do pneu e elos da esteira.

$$P_e = \frac{(N_p V_p) + (N_c V_c)}{H_u} \quad (10)$$

em que,

P_e = Custo de pneus/esteiras (US\$ h⁻¹);

N_p = número de pneus/esteira substituídos;

V_p = valor resultante da soma do valor de troca de um pneu/esteira por novo e reconstrução do mesmo (US\$ unidade⁻¹);

N_c = número de câmaras de ar substituídas;

V_c = valor unitário da câmara de ar (US\$ unidade⁻¹); e,

H_u = horas efetivas de trabalho do pneu/esteira (h unidade⁻¹).

- Componentes do sistema de corte do *harvester*

Refere-se ao custo relacionado aos gastos com sabre e corrente do *harvester*. Este custo foi calculado através da Equação 11 (SANTOS, 2014).

$$M_c = \frac{(N_s V_s) + (N_c V_c)}{H_m} \quad (11)$$

em que,

M_c = Custo com materiais de corte (US\$ h⁻¹);

N_s = número de sabres;

N_c = número de correntes;

V_s = valor de um sabre da máquina (US\$ unidade⁻¹);

V_c = valor de uma corrente da máquina (US\$ unidade⁻¹); e

H_m = horas efetivas de trabalho do material de corte (h unidade⁻¹).

- Manutenção e reparos

Consistem basicamente em mão de obra e encargos sociais, além de peças de reposição e de outros materiais (FAO segundo MACHADO; MALINOVSKI, 1988). Como este custo é terceirizado os custos de manutenção e reparos foram calculados através da soma entre os custos de serviços prestados para execução das atividades e peças utilizadas conforme a Equação 12:

$$M_r = \frac{S_e + P_e}{h_f} \quad (12)$$

em que,

M_r = Custo de manutenção e reparos (US\$ h⁻¹);

S_e = custo de serviço (US\$);

P_e = custo com peças (US\$); e,

h_f = horas efetivas de trabalho por ano (h⁻¹).

- Custos com mão de obra operacional

Foram compostos pela remuneração paga diretamente ao trabalhador e obrigações sociais (Equação 13). Foi considerado o custo de mão de obra por máquina. Como as máquinas florestais trabalham três turnos por dia as variáveis que compõem este custo levaram em conta todos os operadores que trabalharam durante esse período. Nesse caso até o ano de 2011 foram 3,405 operadores (três operados por máquina e 0,135 por operador referente a férias e absenteísmo) e a partir do ano de 2012 devido ao início da realização das atividades de corte, processamento e extração da madeira nos finais de semana e feriados foram 4,540 operadores (quatro operados por máquina e 0,135 por operador referente a férias e absenteísmo). O custo de mão de obra foi determinado conforme a metodologia proposta pela FAO, segundo Machado e Malinovski (1988) sendo ainda adaptadas por Santos (2014).

$$M_o = \frac{12[(S_m(1+E_s))+B_n]}{h_f} \quad (13)$$

em que,

M_o = Custos da mão de obra (US\$ h⁻¹);

S_m = salário mensal (US\$);

B_n = benefícios (alimentação, transporte, dentre outros) (US\$);

E_s = fator de encargos sociais (decimal); e,
 h_f = horas efetivas de trabalho por ano (h^{-1}).

4.3.1.3 Custo total da máquina

Foi calculado por meio do somatório de todos os custos de maquinário, pessoal e de administração (Equação 14).

$$C_t = C_f + C_v \quad (14)$$

em que,

C_t = custo total da máquina ($US\$ h^{-1}$);

C_f = custos fixos ($US\$ h^{-1}$); e,

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

Foram ajustados modelos lineares para avaliar o efeito da idade das máquinas (variável independentes) sobre os custos fixos, variáveis e operacionais (variável dependentes) do *harvester* e *forwarder*, considerando os níveis de 1% e 5% a partir do teste T.

4.3.1.4 Custo de produção por volume de madeira

O custo de produção foi determinado por metro cúbico de madeira, conforme Equação 15.

$$C_p = \frac{C_t}{P_d} \quad (15)$$

em que,

C_p = custo de produção ($US\$ m^{-3}$);

C_t = custo total da máquina ($US\$ h^{-1}$); e,

P_d = produtividade da máquina ($m^3 h^{-1}$).

Para determinar a produtividade da máquina (P_d) foi utilizada a Equação 16:

$$P_d = \frac{P_a}{h_f} \quad (16)$$

em que,

P_d = produtividade da máquina ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$);

P_a = produtividade da máquina por ano ($\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$); e,

h_f = horas efetivas de trabalho por ano (h ano^{-1}).

Foram realizadas análises para determinar o coeficiente de correlação e a influência das variáveis produtividade e horas efetivas de trabalho no custo de produção.

As análises foram processadas utilizando o software STATISTICA 7.

4.3.2 Análise de sensibilidade

Esta análise foi utilizada para definir o grau de variação dos elementos mais representativos na composição do custo operacional. Sendo estes submetidos a uma variação (negativa e positiva) para visualização do seu comportamento em relação a cada item analisado.

Para determinação dos valores mínimos, médios e máximos das variáveis mais relevantes do *harvester* e *forwarder*, foi considerada uma variação de 40% (20% para mais e para menos) nos valores dos principais componentes do custo operacional. Os resultados foram representados graficamente, em que, cada gráfico gerado apresentou os dados médios para cada ano avaliado.

4.3.3 Ponto de equilíbrio

Foi utilizado para identificar o número de horas que a máquina deve trabalhar por ano, a fim de justificar sua aquisição, ou seja, o número de horas anuais trabalhadas que viabilizam a compra da máquina, indicando o período mínimo de operação efetiva conforme Equação 17 (SILVA et al., 2012; LEITE, 2012).

$$H = \frac{C_f}{(P_h R) - C_v} \quad (17)$$

em que,

H = horas trabalhadas por ano (h ano^{-1});

C_f = custo fixo ($\text{US\$ h}^{-1}$);

P_h = Preço médio da hora trabalhada ($\text{US\$ h}^{-1}$);

R = rendimento operacional ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$); e,

C_v = custo variável (US\$ h⁻¹).

4.3.4 Custo anual equivalente (CAE)

Este custo foi utilizado para determinar a idade ótima para substituição da máquina usada por uma nova, sendo aquela que minimiza o valor do custo anual equivalente (OLIVEIRA, 2000). O período de substituição será determinado em função do ponto de menor valor do CAE, o que se denomina como a vida útil econômica do bem (MARIA; LUZ, 2010). O CAE será o valor presente de todos os custos para “n” períodos, multiplicado pelo fator de recuperação de capital $\left(\frac{T_x(1+T_x)^n}{(1+T_x)^{n-1}}\right)$ (VALVERDE; REZENDE, 1997) conforme a Equação 18.

$$CAE = \left[\frac{I_v - Vr_n}{(1+T_x)^n} + \frac{\sum_{i=1}^n (Ct_i + Mr_i)}{(1+T_x)^i} \right] \left[\frac{T_x(1+T_x)^n}{(1+T_x)^{n-1}} \right] \quad (18)$$

em que,

CAE = custo anual equivalente (US\$ ano⁻¹);

I_v = Investimento (US\$ ano⁻¹);

Vr_n = valor residual anual (US\$ ano⁻¹);

T_x = taxa anual de juros simples (decimal);

Ct_i = custo operacional da máquina (US\$ ano⁻¹); e,

Mr_i = Custo de manutenção e reparos (US\$ ano⁻¹);

4.3.5 Taxa interna de retorno (TIR)

Foi utilizada para determinar a taxa de retorno do capital investido, ou seja, a taxa média de crescimento do investimento (Equação 19). A taxa interna de retorno será obtida quando o valor presente líquido igualar o seu fluxo de caixa a zero (REZENDE e OLIVEIRA, 2013; LEITE, 2012).

$$\sum_{j=0}^n R_j (1 + TIR)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1 + TIR)^{-j} = 0 \quad (19)$$

em que,

R_j = valor atual das receitas;

C_j = valor atual dos custos;

i = taxa de juros;

j = período em que a receita ou custo ocorrem; e,

n = número total de períodos.

5. Resultados e Discussão

5.1 *Harvester*

5.1.1 Custo operacional

O menor custo total médio foi de US\$ 185,85 h⁻¹ apresentado no ano de 2010 e o de maior custo médio foi de US\$ 390,68 h⁻¹ obtido no ano de 2009 (Quadro 2). O custo total médio nos sete anos do *harvester* foi de US\$ 255,71 h⁻¹, em que 91,8% corresponderam aos custos variáveis e 8,2% aos custos fixos sendo sua eficiência operacional de 42,85%.

O alto custo em 2009 pode ser explicado devido ao gasto com a reposição de peças, manutenção e reparos ter sido maior que nos demais anos em função do final da vida útil de muitas peças ocorrer no terceiro ano de uso, além de neste ano uma das máquinas utilizadas sofrer perda total por queima. Sendo assim, em 2010, reduziu-se os custos variáveis e, portanto, o custo total. Em 2007, apesar das máquinas serem novas e normalmente os custos serem menores no primeiro ano, o custo total foi alto, provavelmente pelo fator dos operadores estarem em fase de adaptação e defeitos com o maquinário em operação, o que resultou em um menor número de horas trabalhadas (1.752,4 h ano⁻¹), baixa produtividade (18,79 m³ h⁻¹) e alto consumo de combustível (59,15 L h⁻¹).

Ao se comparar os resultados obtidos nesta análise com resultados encontrados na literatura foi observado um comportamento diferente em relação à distribuição dos custos. Simões (2008) em uma avaliação econômica de colheita mecanizada obteve um custo total de R\$ 155,83 h⁻¹, representando 16,98% de custo fixo e 83,02% de custo variável. Em uma avaliação de desempenho e de custo de um *harvester*, Costa (2012) encontrou um custo total de US\$ 130,74 por hora efetiva de trabalho, com um custo fixo de US\$ 23,03 h⁻¹ e o custo variável de US\$ 90,04 h⁻¹ utilizando uma taxa de câmbio

média de 1US\$ = R\$ 1,675. Em uma análise em diferentes condições de terreno e produtividade com o *harvester*, Fernandes et al. (2013), obtiveram o custo operacional de US\$ 116,49 por hora efetiva trabalhada, sendo 19% referentes aos custos fixos e 81% referentes aos custos variáveis. No desenvolvimento de planos de colheita florestal, Leite (2010) determinou um custo horário total de US\$145,29, onde os custos fixos foram de US\$ 24,68 h⁻¹, variáveis de US\$ 113,06 h⁻¹ e de administração de US\$ 7,57 h⁻¹ a uma eficiência operacional de 80%.

O custo operacional médio do *harvester* foi maior devido ao número médio de horas trabalhadas (2774,37 h⁻¹), uma vez que a quantidade de horas que as máquinas trabalharam por dia não foi satisfatória, resultando em uma menor eficiência operacional.

Quadro 2. Custos fixos, variáveis e totais por hora efetiva de trabalho de oito *harvesters* Komatsu, modelo PC-228

US\$ h ⁻¹	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Média
<i>Custo fixo</i>	20,40	15,34	16,25	16,61	20,62	15,59	41,91	20,96
<i>Custos variáveis</i>	173,00	263,93	374,43	169,24	170,37	196,62	295,64	234,74
<i>Custo total</i>	193,40	279,27	390,68	185,85	190,99	212,21	337,55	255,71

A distribuição dos custos que compõem o custo total médio do *harvester* segue conforme a Figura 5. Verificou-se que os componentes de custo com maior representatividade no custo total médio foram: manutenção e reparos (61,22%), mão de obra (17,30%), combustível (10,28%) e depreciação (4,82%). Os componentes de custo de juros sobre capital investido, seguro, taxas administrativas, oficina, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, esteiras e materiais de corte corresponderam juntos a 11,20% do custo total do *harvester*.

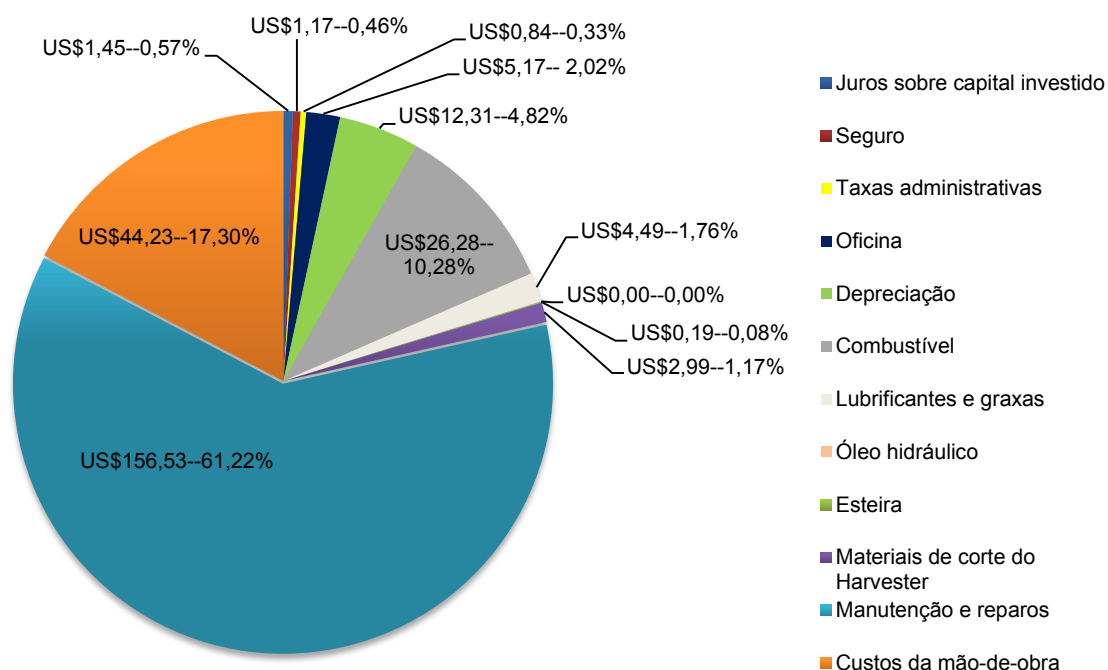


Figura 5. Distribuição dos componentes do custo total médio geral em dólares por hora efetiva (US\$ h⁻¹) e porcentagem (%) do *harvester*.

Ao realizar a modelagem técnica e de custos do *harvester* John Deere, modelo 1270D, Leite et al. (2013) obtiveram como elementos mais representativos do custo total os componentes de custo manutenção e reparos (40%), combustível (20%) e depreciação (15%) respectivamente diferindo dos encontrados neste trabalho. Martins et al. (2009) também encontraram resultados semelhantes aos obtidos por Leite et al. (2013), em que os componentes de custo mais representativos para o custo total foram manutenção e reparos (30,89%), depreciação (27,36%) e combustível (19,42%). O maior percentual obtido com o custo de manutenção e reparos do *harvester* ocorreu devido ao maior período em anos avaliados neste trabalho e o menor número de horas trabalhadas nos anos de 2007 (1.752,4 h ano⁻¹) e 2013 (922,57 h ano⁻¹).

A partir da Figura 6 é possível identificar o comportamento dos custos em função da idade da máquina. Observa-se uma variação mínima dos custos fixos com o aumento dos anos, uma vez que seu principal componente a depreciação foi calculada pelo método linear. Os custos variáveis aumentaram com o passar dos anos. Para esta variável não houve um coeficiente de determinação suficiente para explicar seu comportamento em função da idade.

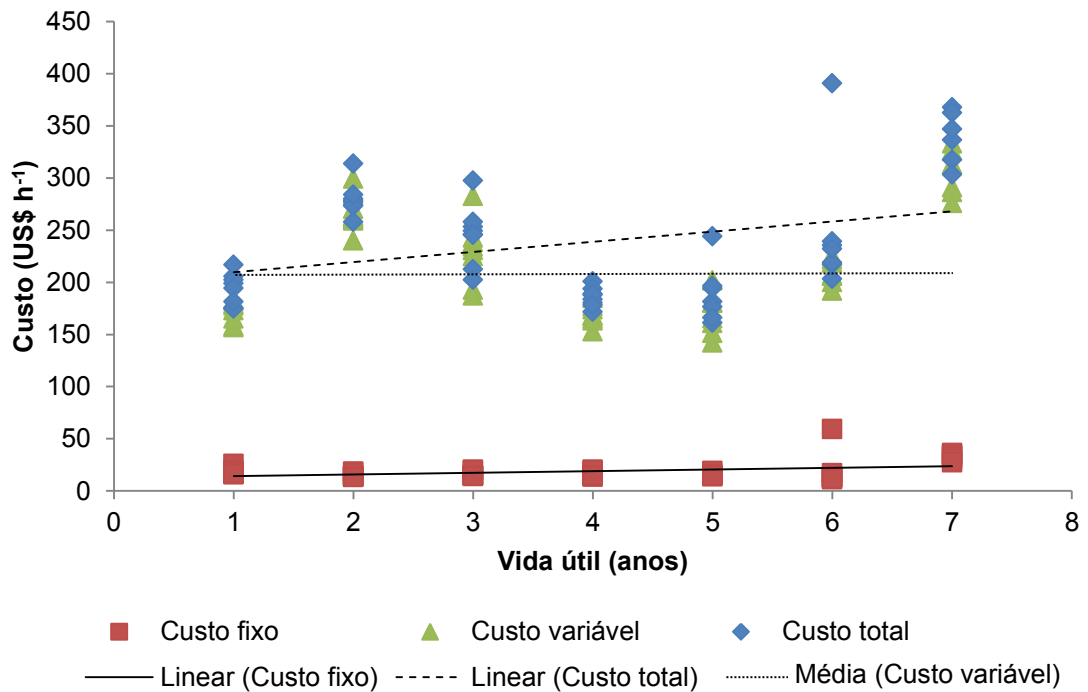


Figura 6. Custos fixos, variáveis e totais médios por hora efetiva de trabalho do *harvester* em função da vida útil em anos.

Os modelos ajustados a partir da análise de regressão seguem conforme as Equações 20, 21 e 22.

$$C_f = 12,52478^{**} + 1,60622^{**}I_d \quad (20)$$

$$r^2 = 0,1407 \quad \text{erro padrão} = 7,7683$$

$$C_v = 234,74 \quad (21)$$

$$C_t = 196,3563^{**} + 10,3409^{*}I_d \quad (22)$$

$$r^2 = 0,1226 \quad \text{erro padrão} = 55,325$$

*Significativo a 5% pelo teste "t".

**Significativo a 1% pelo teste "t".

em que,

C_f = custo fixo (US\$ h⁻¹);

C_v = custo variável (US\$ h⁻¹);

C_t = custo total (US\$ h⁻¹); e,

I_d = idade da máquina (anos).

5.1.2 Análise de sensibilidade

Na Figura 7 são apresentados componentes de custo mais relevantes no custo total do *harvester*: horas efetivas de trabalho, manutenção e reparos, mão de obra, combustível e depreciação. Percebe-se que quanto maior a inclinação da reta maior é a influência da variável sobre o custo total. Considerando que haja uma economia de 10% nas variáveis manutenção e reparos, mão de obra, combustível e depreciação e aumento de 10% na quantidade de horas efetivas de trabalho a empresa poderia reduzir seu custo total em 17,36%.

Os resultados encontrados corroboram com os obtidos por Leite (2012), sendo a diferença percentual de 17% ao reduzir 10% dos elementos valor de aquisição da máquina, manutenção e reparos, preço do combustível, depreciação e taxa de juros e aumento de 10% na vida útil do *harvester*.

Já Costa (2012) avaliando um *harvester* da marca Ponsse, modelo C33, no corte e processamento de eucalipto encontrou como elementos mais representativos do custo total a manutenção e reparos, combustível, eficiência operacional e depreciação. Ao reduzir 10% das variáveis que mais influenciaram no custo total e acréscimo em 10% na eficiência operacional da máquina este autor encontrou uma economia de aproximadamente 8,9%.

Ao avaliarem dois modelos de *harvester* (PC-228 SHO e PC-200 LC) no corte de eucalipto, Silva et al. (2014) encontraram como componentes de custo mais influentes no custo total a manutenção e reparos, combustível e depreciação. Simulando uma situação em que a empresa consiga uma economia com uma variação de 20% (10% para mais e para menos) dos custos mais relevantes, a mesma poderá obter uma redução no custo de produção em 7%, para as duas máquinas avaliadas por estes autores.

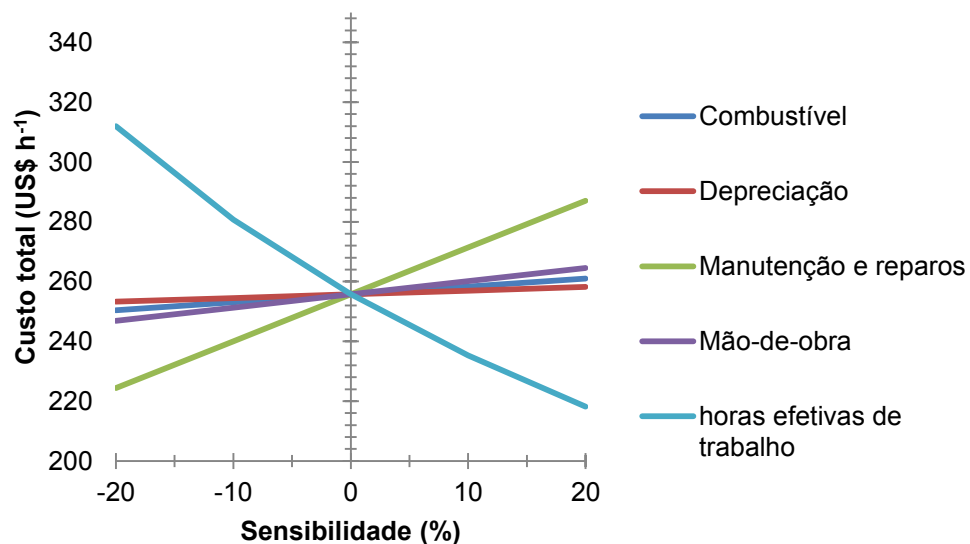


Figura 7. Diagrama de *spiderplot* das principais variáveis do custo total médio do *harvester*.

5.1.2.1 Horas efetivas de trabalho

É possível perceber que quanto maior for o percentual positivo das horas efetivas de trabalho maior será a redução dos custos do *harvester*, sendo que o aumento de 10% desta variável promoveu uma redução de US\$ 20,44 h⁻¹ no custo total. Tornando-se imprescindível a busca de medidas para o uso eficiente das máquinas durante as operações de derrubada e processamento do eucalipto.

5.1.2.2 Manutenção e reparos

Para cada 10% de aumento no custo de manutenção e reparos, houve um acréscimo de US\$ 15,65 h⁻¹ no custo total médio. Demonstrando a necessidade de melhorias no planejamento e execução das operações de corte da madeira visando à redução deste custo.

5.1.2.3 Mão de obra

Pode-se verificar o comportamento do componente do custo variável mão de obra em função do custo total da máquina. O aumento deste custo em 10% acarretou no aumento do custo total médio de US\$ 4,42 h⁻¹.

5.1.2.4 Combustível

Verifica-se a influência da variável combustível em relação ao custo total médio da máquina, sendo está ligada diretamente a quantidade de horas trabalhadas. A cada 10% de aumento desta variável aumentou-se o custo total em US\$ 2,62 h⁻¹.

5.1.2.5 Depreciação

Verifica-se uma menor influência do custo de depreciação sobre o custo total do *harvester*, o que pode ser avaliado por meio da menor inclinação da reta quando comparada as demais variáveis avaliadas (Figura 7). Seu aumento em 10% resultou no acréscimo de US\$ 1,23 h⁻¹.

5.1.3 Custo de produção

O custo de produção médio do *harvester* foi de US\$10,92 por metro cúbico para uma produtividade horária média de 23,52 m³, como pode ser observado no Quadro 3. Supondo que a empresa consiga aumentar sua produtividade em 10% haveria uma economia média anualmente US\$ 63.246,64 por máquina.

Lopes et al. (2007) para uma produtividade média de 32,73 m³ h⁻¹ e eficiência operacional média de 80,3% determinaram um custo de produção médio de US\$ 3,56 m⁻³ ao avaliar um *harvester* da marca Caterpillar, modelo CAT 320 Short Tail na colheita de pinus. Ao analisar três *harvesters* da marca Komatsu, modelo PC 228 de esteiras, Seixas e Batista (2014) obtiveram um custo de produção de R\$ 5,51 m⁻³ para uma produtividade de 36,05 m³ h⁻¹ e eficiência operacional de 67%. O custo de produção obtido por Pereira (2011) para o *harvester* da marca Caterpillar, modelo 320 C, operando 6.148 h⁻¹ ano com produtividade de 35,16 m³ h⁻¹ e eficiência operacional média de 56% foi de R\$ 6,36 m⁻³. O menor custo de produção obtido por estes autores pode ser explicado pela maior produtividade, eficiência operacional e pelo maior número de horas trabalhadas pelas máquinas.

Quadro 3. Produtividade horária e custo de produção do *harvester*

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Média
<i>Produtividade (m³ h⁻¹)</i>	18,79	23,51	24,81	25,87	25,06	23,78	22,84	23,52
<i>Custo de produção (US\$ m⁻³)</i>	10,29	11,88	15,75	7,18	7,62	8,92	14,78	10,92

É possível perceber no Quadro 4, que quanto maior a produtividade ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) da máquina menor será o seu custo de produção ($\text{US\$ m}^{-3}$), devido este custo ser obtido em função desta variável, afetando negativamente em 45% o valor do custo de produção. Observou-se também uma correlação negativa (65%) entre o custo de produção e a quantidade de horas efetivamente trabalhadas pelo trator florestal, sendo que o aumento das horas de trabalho resulta na redução deste custo.

Quadro 4. Correlação do custo de produção com a produtividade horária e as horas anuais de trabalho do *harvester*.

Correlação	Coeficiente de correlação (r)
<i>Custo de produção (US\$ m⁻³) X Produtividade (m³ h⁻¹)</i>	-0,45**
<i>Custo de produção (US\$ m⁻³) X Horas de trabalho (h ano⁻¹)</i>	-0,65**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

5.1.4 Ponto de equilíbrio (H)

O ponto de equilíbrio encontrado nos anos de 2010 e 2011 foram 2.037,13 h ano⁻¹ e 3.311,10 h ano⁻¹, respectivamente. Em 2007 devido ao baixo número de horas trabalhadas (1.752,4 h ano⁻¹) e produtividade horária 18,79 m³ da máquina não obteve-se um número horas que viabiliza-se a aquisição do *harvester*. No ano de 2009, também não foi encontrado este valor em função principalmente do alto custo variável ocasionado pelo alto custo com combustível. Para os demais anos devido ao custo variável ter sido alto (acima de US\$ 196,61 h⁻¹) não houve um número de horas trabalhadas pela máquina que resulta-se em lucro para uma produtividade média de 23,52 m³h⁻¹ e preço de aluguel de mercado de US\$ 7,86 m⁻³.

O ponto de equilíbrio encontrado por Leite (2012) para operação no sentido de auge foi de 3.800 h ano⁻¹ e para operação no sentido de declive de 4,527 h ano⁻¹ ao avaliar um *harvester* com produtividade de 30,64 m³ h⁻¹, custo variável de US\$ 111,44 h⁻¹ e o preço pago pela atividade de extração de madeira no mercado de US\$ 5,00 m⁻³. O ponto de equilíbrio encontrado por este autor diferiu deste trabalho, uma vez que foi considerada a operação como um todo, independente do sentido (auge e declive), além do menor custo

variável e maior número de horas trabalhadas pela máquina avaliada por este autor.

5.1.5 Custo anual equivalente (CAE)

Não foi encontrado o ponto de substituição do *harvester* ao se utilizar o CAE (Quadro 5). Este custo aumentou até o ano de 2009 e a partir deste momento, reduziu até 2013, seguindo a mesma tendência do custo total anual atualizado. Isso pode ter ocorrido uma vez que nos três primeiros anos os operadores estiveram em fase de adaptação com as máquinas reduzindo-se então o número de horas trabalhadas, produtividade horária, aumento do consumo de combustível e manutenção e reparos.

Um comportamento contrário ao obtido neste trabalho foi encontrado por Santos (2014), em que o custo anual equivalente se comportou de forma crescente em uma avaliação do *harvester* John Deere modelos 1270D e 1470D.

Quadro 5. Custo anual equivalente (CAE) do *harvester*

(US\$ h ⁻¹)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<i>Custo anual equivalente</i>	366.868	665.447	870.978	823.317	775.374	764.531	704.095

5.1.6 Taxa interna de retorno (TIR)

Para os anos de 2010 e 2011 houve prejuízo de 91% e 79% respectivamente. Para os demais anos não houve receita suficiente para cobrir os custos não sendo possível o cálculo da taxa interna de retorno.

Em uma avaliação da taxa interna de retorno, Santos (2014) encontrou uma rentabilidade de investimento de 67,43% no ano de 2011, sendo este o melhor momento para substituir ou trocar a máquina. Já Leite (2012), ao avaliar um *harvester* encontrou a TIR de 34,56% para o sentido de operação em auge e 6,26% para o sentido de operação em declive.

A justificativa para a diferença percentual encontrada por estes autores em relação ao trabalho avaliado deve-se ao maior custo total obtido, consequência de fatores indesejáveis ocorridos no período de avaliação (adaptação de operadores as novas máquinas).

5.2 *Forwarder*

5.2.1 Custo total

O custo total médio de 2007 a 2013 do *forwarder* foi de US\$ 199,82 h⁻¹, correspondendo a 88,5% de custos variáveis e 11,5% de custos fixos. A eficiência operacional média foi de 49,3%, trabalhando em turnos de 24 horas por dia, com o dólar no valor de R\$ 2,4799.

Com base nos resultados apresentados no Quadro 6, observou-se que o ano com menor custo total foi o de 2007 (US\$ 145,95 h⁻¹) e os de maior custo foram obtidos nos anos de 2009 (US\$ 259,10 h⁻¹) e 2013 (US\$ 390,68 h⁻¹). O custo em 2007 foi menor, uma vez que as máquinas foram adquiridas neste ano, assim os custos variáveis foram menos expressivos do que nos demais anos, decorrente do menor gasto com peças e serviços de reparos e manutenção. Em 2009 os gastos com manutenção e reparos foram mais representativos, devido às peças possuírem uma vida útil estimada e ocorrer que neste ano várias peças tiveram que ser trocadas por este motivo, tornando este custo mais oneroso. Já em 2013 o alto custo se deve pela maior quantidade de danos e desgastes com peças, manutenção e reparos ocasionados pelo acúmulo de número de horas trabalhadas pela máquina.

Avaliando técnica e economicamente um *forwarder* na extração de toras de pinus, Oliveira et al. (2009) obtiveram um custo médio total por hora efetiva de trabalho de R\$ 209,13 h⁻¹ e uma eficiência operacional média da máquina de 70,0%. Robert (2013) também encontrou para o *forwarder* resultados diferentes ao deste trabalho ao analisar técnica e economicamente um sistema de colheita mecanizada em plantios de *Eucalyptus* spp. em duas condições de relevo acidentado, tendo área A 69,4% e área B 60,7% de eficiência operacional média, sendo o custo total de US\$ 120,14 h⁻¹ e US\$ 131,78 h⁻¹ respectivamente. Simões e Fenner (2010) em uma avaliação de custos do *forwarder* com eficiência operacional de 82,21% encontraram um custo total de US\$ 92,47 por hora de trabalho.

A razão do custo operacional médio encontrado neste trabalho ser maior está relacionado ao número médio de horas trabalhadas (2.980,14 h⁻¹), uma vez que a quantidade de horas que as máquinas trabalharam por dia não foi satisfatória, resultando em uma menor eficiência operacional.

Quadro 6. Custos fixos, variáveis e totais por hora efetiva de trabalho de seis *forwarders* Komatsu, modelo 890.3.

(US\$ h ⁻¹)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Média
<i>Custo fixo</i>	24,98	16,23	18,36	16,62	23,49	21,53	40,10	23,05
<i>Custos variáveis</i>	120,96	167,88	240,74	144,25	150,19	189,69	223,73	176,78
<i>Custo total</i>	145,95	184,11	259,10	160,87	173,68	211,22	263,83	199,82

Na Figura 8 pode-se observar que os componentes de custo com maior representatividade no custo total médio foram manutenção e reparos (57,14%), mão de obra (19,10%), depreciação (7,23%), e combustível (7,13%). Os demais custos corresponderam juntos a 9,4% do custo total médio do *forwarder*.

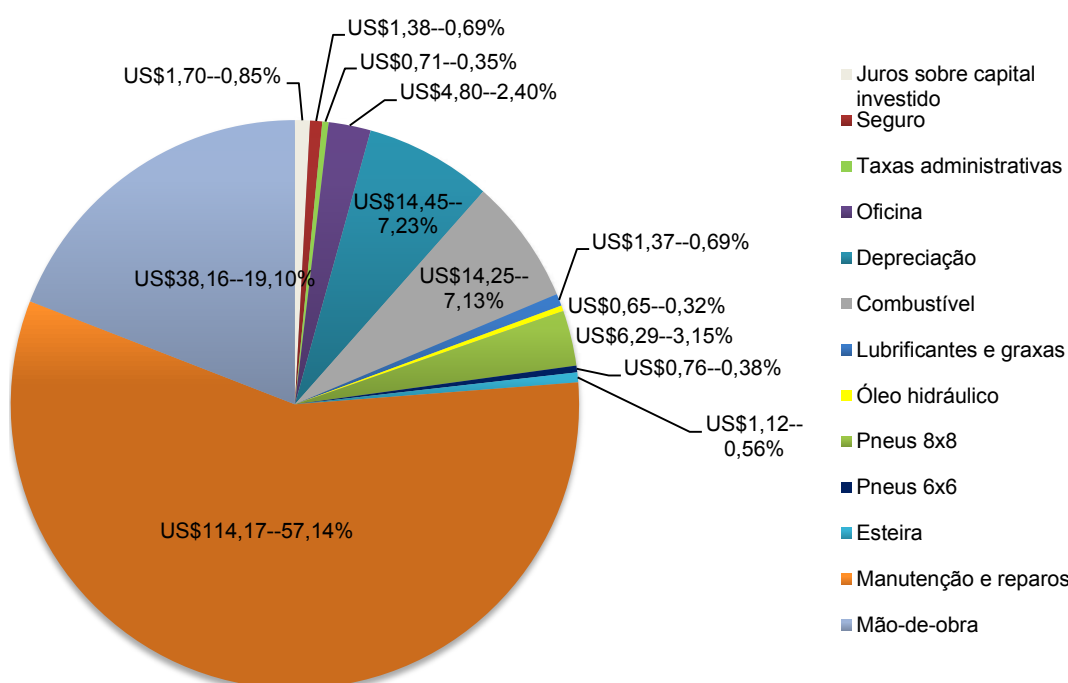


Figura 8. Distribuição dos componentes do custo total médio geral em dólares por hora efetiva (US\$ h⁻¹) e porcentagem (%) do *forwarder*.

Em uma avaliação econômica do *forwarder* John Deere, modelo 1710D Leite (2012) encontrou como elementos mais representativos do custo total os custos com manutenção e reparos (40,06%), combustível (20,34%) e depreciação (13,70%). Estes resultados diferiram dos encontrados neste trabalho em função do maior número de anos avaliados e menor número de horas anuais trabalhadas em 2007 (1.860,21 h ano⁻¹) e 2013 (1.255,45 h ano⁻¹).

Na Figura 9 são apresentados os resultados relativos ao comportamento dos custos em função da idade da máquina. Nota-se que os custos fixos

ocorrem quase que de maneira constante, devido à depreciação ter sido calculada pelo método linear. Sua variação foi influenciada pelo número de horas trabalhadas de cada ano. O aumento da vida útil resultou no aumento dos custos variáveis, no entanto no terceiro ano a maior troca de peças elevou este custo e a partir deste ponto reduziu-se o mesmo. Os custos totais seguiram a mesma tendência que os custos variáveis, uma vez que este custo corresponde a mais de 80% do custo total.

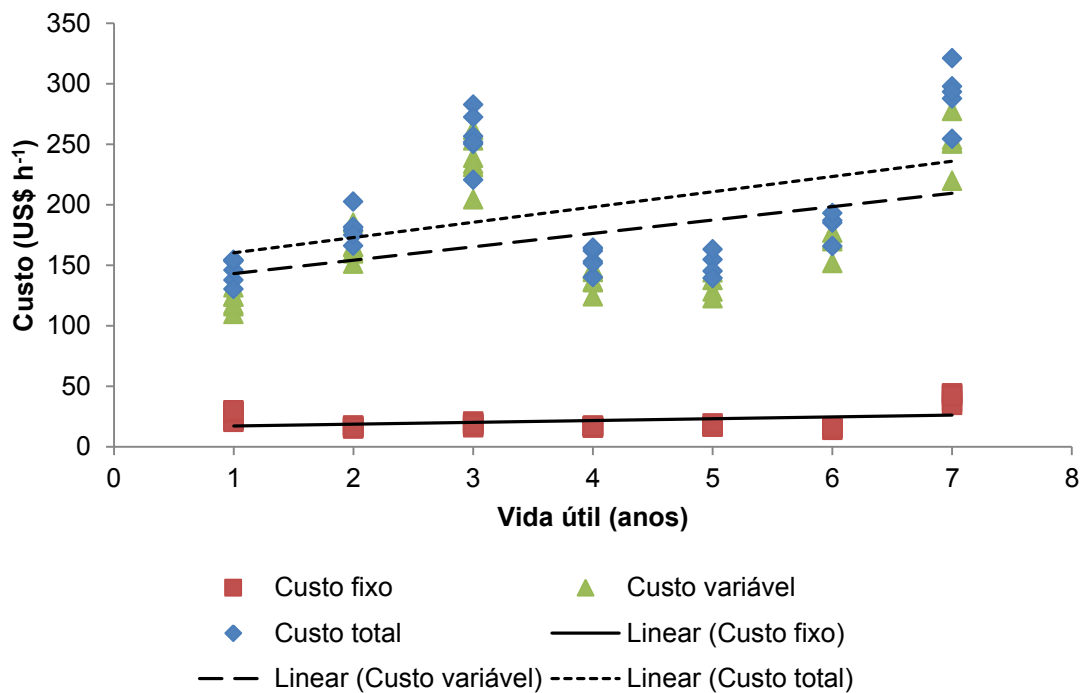


Figura 9. Custos fixos, variáveis e totais médios por hora efetiva de trabalho do *forwarder* em função da vida útil em anos.

Os modelos justados a partir da análise de regressão seguem conforme as Equações 23, 24 e 25.

$$C_f = 15,7104^{**} + 1,5228^* I_d \quad (23)$$

$$r^2 = 0,1291 \quad \text{erro padrão} = 8,0979$$

$$C_v = 132,0477^{**} + 11,0597^{**} I_d \quad (24)$$

$$r^2 = 0,1985 \quad \text{erro padrão} = 45,519$$

$$C_t = 147,7581^{**} + 12,5825^{**} I_d \quad (25)$$

$$r^2 = 0,2149 \quad \text{erro padrão} = 49,255$$

**Significativo a 1% pelo teste "t".

*Significativo a 5% pelo teste “t”.

em que,

C_f = custo fixo (US\$ h⁻¹);

C_v = custo variável (US\$ h⁻¹);

C_t = custo total (US\$ h⁻¹); e,

I_d = idade da máquina (anos).

5.2.2 Análise de sensibilidade

O componente de custo que mais influenciou no custo total médio do *forwarder* foi referente às horas efetivas de trabalho, seguido de manutenção e reparos, mão de obra, depreciação e combustível, como pode ser observado na Figura 10. Supondo que a empresa reduza os custos em 10% nas variáveis avaliadas e que aumente a quantidade de horas efetivas de trabalho em 10%, em média, ela poderia reduzir seu custo total em 17,41%.

Os componentes de custo de maior impacto no custo operacional do *forwarder* para Leite (2010) foram à eficiência operacional, a vida útil econômica, o preço do combustível, o valor de aquisição, o fator de relação histórica e o custo com óleo hidráulico. Entretanto, Robert (2013) encontrou como os componentes que mais influenciaram no custo total do *forwarder* foram a taxa de juros, o preço do combustível, a depreciação, o valor de aquisição da máquina, a vida útil econômica da máquina, a manutenção e reparos e o salário dos operadores, respectivamente.

Leite (2012) simulando uma situação em que a empresa consiga uma economia real de 10% no valor da máquina, manutenção e reparos, preço de combustível, depreciação e taxa de juros e um aumento de 10% na vida útil do *forwarder*, obteve uma redução do custo total da empresa em 15%.

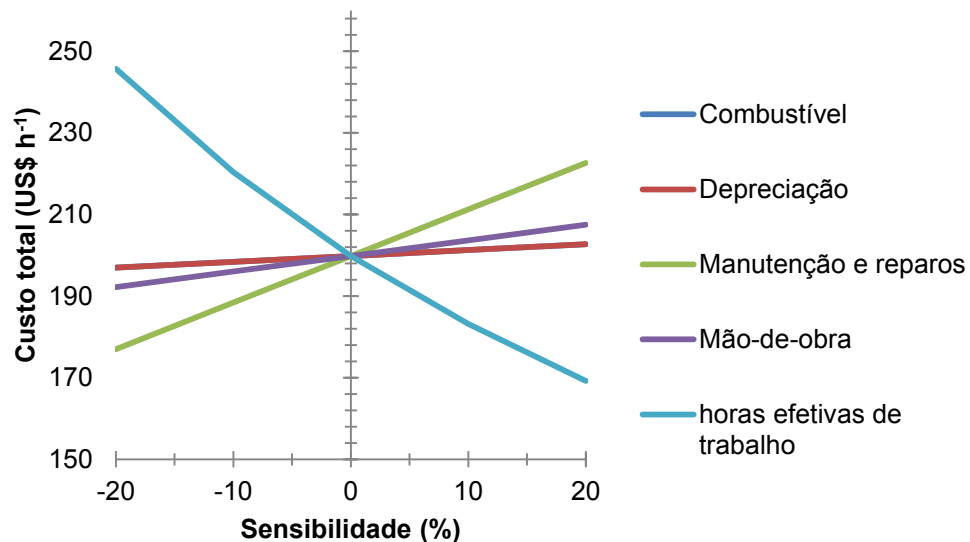


Figura 10. Diagrama de *spiderplot* das principais variáveis do custo total médio do *forwarder*.

5.2.2.1 Horas efetivas de trabalho

É possível observar que a redução do custo total médio é decorrente de uma maior quantidade de horas trabalhadas. O aumento de 10% ocasionou uma redução de $\text{US\$ } 16,68 \text{ h}^{-1}$ no custo total.

5.2.2.2 Manutenção e reparos

Nota-se a influência da variável manutenção e reparos no custo total médio, onde houve um acréscimo de $\text{US\$ } 11,41 \text{ h}^{-1}$ a cada 10% de aumento no custo de manutenção e reparos.

5.2.2.3 Mão de obra

O aumento deste custo em 10% resulta no aumento do custo total médio de $\text{US\$ } 3,81 \text{ h}^{-1}$. Percebe-se ainda que o aumento ou a redução do custo total ocorre de maneira linear de acordo com a variação do custo com mão de obra.

5.2.2.4 Depreciação

O aumento de 10% da variável depreciação elevou o custo total médio do *forwarder* em $\text{US\$ } 1,44 \text{ h}^{-1}$.

5.2.2.5 Combustível

Dentre os cinco itens avaliados na análise de sensibilidade, o combustível foi o que menos influenciou no custo total médio do *forwarder* com um aumento de US\$ 1,42 h⁻¹ a cada 10% de variação (Figura 10).

5.2.3 Custo de produção

Considerando uma produtividade média efetiva de 31,22 m³ h⁻¹, o custo de produção médio foi de US\$ 6,63 por metro cúbico de madeira. Simulando que aumente a produtividade da empresa em 10%, haveria uma economia em média por máquina de US\$ 53.035,35 ao ano. No Quadro 7 estão apresentados os custos de produção e produtividade anual média.

Minette et al. (2004) em uma análise técnica e econômica do *forwarder* na colheita de eucalipto, obtiveram valores diferentes dos encontrados neste trabalho para uma produtividade horária de 40,15m³, sendo seu custo de extração de US\$ 1,53 m⁻³ com casca. Fato justificado pela maior produtividade obtida por este autor.

Em uma avaliação de custos do *forwarder* considerando uma produtividade de 31,06 m³h⁻¹, trabalhando com toras de 5,5 m de comprimento e distância de extração de 150 m, Santos e Machado (2001) encontraram um custo de produção de US\$ 0,91 m⁻³. No entanto para determinação do custo total este autor utilizou somente os custos com juros, depreciação, mão de obra, peças e manutenção, combustível e lubrificantes, durante o período de três anos.

Ao analisar um *forwarder* operando 4.712 h ano⁻¹ com uma produtividade média de 37,96 m³ h⁻¹ e custo total de US\$ 125,24 h⁻¹, Leite et al. (2014) obtiveram um custo de produção médio de US\$ 3,29 por metro cúbico de madeira. O menor custo obtido por este autor foi decorrente do maior número de horas anuais trabalhadas pelo trator florestal.

Quadro 7. Produtividade horária e custo de produção do *forwarder*

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Média
<i>Produtividade (m³ h⁻¹)</i>	23,74	28,44	35,84	36,00	37,86	32,69	23,95	31,22
<i>Custo de produção (US\$ m⁻³)</i>	6,15	6,47	7,23	4,47	4,59	6,46	11,02	6,63

É possível perceber no Quadro 8, que quanto maior a produtividade (m³ h⁻¹) da máquina menor será o seu custo de produção (US\$ m⁻³), devido este

custo ser obtido em função desta variável, afetando negativamente em 62% o valor do custo de produção.

Observou-se também uma correlação negativa (76%) entre o custo de produção e a quantidade de horas efetivamente trabalhadas pelo trator florestal, sendo que o aumento das horas de trabalho resulta na redução deste custo.

Quadro 8. Correlação do custo de produção com produtividade horária e horas anuais de trabalho do *forwarder*.

Correlação	Coefficiente de correlação (r)
<i>Custo de produção (US\$ m⁻³) X Produtividade (m³ h⁻¹)</i>	-0,62**
<i>Custo de produção (US\$ m⁻³) X Horas de trabalho (h ano⁻¹)</i>	-0,76**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

5.2.4 Ponto de equilíbrio (H)

O número de horas necessárias para viabilizar a compra do *forwarder* nos anos de 2010 e 2011, foram 8.747,07 h ano⁻¹ e 7.233,53 h ano⁻¹ respectivamente. Em 2007 não houve um número de horas trabalhadas pela máquina que resultasse em lucro, devido a baixa produtividade horária da máquina (23,74 m³ h⁻¹) resultante do menor número de horas trabalhadas neste ano (1.860,21 h ano⁻¹). Para os demais anos devido ao custo variável ter sido alto (superior a US\$ 167,88 h⁻¹) também não foi encontrado o ponto de equilíbrio da máquina para uma produtividade horária média de 31,22 m³ e preço de aluguel de mercado de US\$ 4,23 m⁻³.

Analisando um *forwarder* operando em diferentes sentidos de operação, produtividade de 37,96 m³ h⁻¹, custo variável de US\$ 99,09 h⁻¹ e preço pago pela atividade de extração de madeira no mercado de US\$ 5,00 m⁻³, Leite (2012) encontrou o ponto de equilíbrio na operação em aclave de 5.038 horas ano⁻¹ e na operação em declive de 2.417 horas ano⁻¹. Estes valores foram diferentes aos encontrados neste trabalho devido ao maior custo variável, menor número anual de horas trabalhadas e por ter sido considerada a operação tanto em aclave quanto em declive.

5.2.5 Custo anual equivalente (CAE)

De acordo com os resultados apresentados no Quadro 9 não foi encontrado o ponto de troca da máquina, o CAE ocorreu de forma crescente de 2007 a 2010 e decrescente até o ano de 2013. Fato justificado uma vez que o CAE é obtido através da soma do custo total anual atualizado e investimento multiplicado pelo fator de recuperação. Como foi utilizado o método linear para cálculo da depreciação resultando em um custo de investimento igual para todos os anos, o custo anual equivalente seguiu a mesma tendência do custo total anual atualizado. Sendo que em consequência dos altos custos totais horários nos três primeiros anos avaliados o CAE foi maior e depois houve uma queda a partir de 2010.

Simões et al. (2013), em uma avaliação do CAE em um período de cinco anos utilizando diferentes métodos de depreciação do *forwarder*, encontraram um custo anual equivalente crescente para todos os anos. Santos (2014) avaliando o *forwarder* por sete anos, também obteve um CAE crescente.

Quadro 9. Custo anual equivalente (CAE) do *forwarder*

(US\$ h ⁻¹)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<i>Custo anual equivalente</i>	308.852	504.251	639.706	652.420	631.018	629.945	590.102

5.2.6 Taxa interna de retorno (TIR)

Nesta análise os resultados demonstraram que não houve receita suficiente para cobrir os custos com a máquina, sendo assim não foi encontrada a taxa interna de retorno, havendo prejuízo em todos os anos.

Determinando a taxa interna de retorno de um *forwarder*, Leite (2012) encontrou valores de 13% para o sentido de operação em aclave e 122,86% para o sentido de operação em declive. Santos (2014) ao avaliar economicamente o *forwarder* obteve rentabilidade do investimento da ordem de 34% em 2011, sendo este o melhor momento para substituição da máquina. Os valores obtidos por estes autores foram diferentes dos encontrados neste trabalho devido ao alto custo operacional e produtividade insatisfatória das máquinas nos sete anos avaliados.

6. Conclusão

- O custo total médio do sistema de toras curtas constituído pelo módulo de colheita *harvester* e *forwarder* foi de US\$ 455,53 h⁻¹ e uma produtividade média de 54,74 m³h⁻¹.
- As variáveis mais influentes no custo total de operação do *harvester* foram horas efetivas de trabalho, manutenção e reparos, mão-de-obra, combustível e depreciação, e bem como no *forwarder* foram horas efetivas de trabalho, manutenção e reparos, mão de obra, depreciação e combustível.
- O ponto de equilíbrio do *harvester* e *forwarder* foi encontrado somente para os anos de 2010 e 2011. No entanto, para esses anos somente o *harvester* trabalhou o suficiente para viabilizar sua aquisição.
- Não foi encontrado o ponto de substituição do *harvester* e *forwarder* quando se empregou a metodologia do custo anual equivalente.
- Não foi encontrada rentabilidade para *harvester* e o *forwarder*.
- As avaliações utilizadas demonstraram que a empresa deveria ter optado pela terceirização das operações.

7. Referências Bibliográficas

ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF - ano base 2012**. Brasília: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF: 148 p. 2013.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE standards 2011**: machinery, equipment and buildings: operating costs. Iowa: Ames, 2001. p. 164-226.

ARRUDA, B. D. L. Análise dos programas nacionais de financiamento para renovação de frota dos transportadores autônomos. 2010. 102 f. dissertação (Mestrado em Transportes) – Universidade Federal de Brasília, DF, 2010.

BLEIL, C.; SOUZA, M. A.; DIEHL, C. A. Mensuração econômica da cadeia interna de valor do segmento madeireiro de *Pinus*: um estudo de caso. **Gestão & Regionalidade**, v. 24, n. 70, p. 44-58, 2008.

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.

BURLA, E. R.; FERNANDES, H. C.; MACHADO, C. C.; LEITE, D. M.; FERNANDES, P. S. Avaliação técnica e econômica do *harvester* em diferentes condições operacionais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 20, n. 5, p. 412-422, 2012.

CANTO, J. L. **Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia**. 2009. 141 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 10 ed., 2 reimpressão. Editora Atlas: São Paulo, 2008.

COSTA, E. M. **Avaliação do desempenho e de custos de um harvester em florestas de eucalipto de baixa produtividade**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

CRUZ, L. T. C. **Avaliação técnica e econômica de trator autocarregável no transporte principal de madeira de *Tectona grandis* L. f. em Mato Grosso**.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato grosso, Cuiabá, MT, 2012.

FERNANDES, H. C.; BRITO, A. B.; MINETTE, L. J.; SANTOS, N. T.; RINALDI, C. N.; Avaliação ergonômica da cabine de um trator florestal. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 3, p. 307-314, 2010.

FERNANDES, H. C.; BURLA, E. R.; LEITE, E. S.; MINETTE, L. J. Avaliação técnica e econômica de um “*harvester*” em diferentes condições de terreno e produtividade da Floresta. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 41, n. 97, p. 145-151, 2013.

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; MINETTE, L. J.; RINALDI, P. C.; BERNARDES, A. M. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 37, n. 83, p. 225-232, 2012

FREITAS, L. C. D.; MARQUES, G. M.; SILVA, M. L. D.; MACHADO, R. R.; MACHADO, C. C. Estudo comparativo envolvendo três métodos de cálculo de custo operacional do caminhão bitrem. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 855-863, 2004.

GRZEBIELUCKAS, C.; CAMPOS, L. M. S.; SELIG, P. M.; ALBERTON, A.; MARINHO, S. V. Análise econômica do plantio de murici - *Byrsonima verbascifolia*: um estudo em Arenópolis/Goiás. **XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. São Carlos, SP, 12 a 15 de outubro de 2010.

IBÁ. **Indústria brasileira de árvores**. Brasília: 100 p. 2014.

LEITE, E. S. **Desenvolvimento de planos de colheita florestal de precisão utilizando tecnologias de geoprocessamento**. 2010. 134 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

LEITE, E. S. **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas**. 2012. 112 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

LIMA, N. J. **Estudo comparativo entre equipes de colheita florestal no sistema *cut-to-length***. 2011. 47 f. Monografia (Especialização em Gestão da Indústria Madeireira e Moveleira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2011.

LINHARES, M.; JÚNIOR, C. R. S.; CAMPOS, F.; YAMAJI, F. M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas *harvester* e *forwarder* na colheita florestal. **Pesquisa Agropecuária**, Goiânia, GO, v. 42, n. 2, p. 212-219, 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, p. 305-313, 2007.

MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 3 ed. . Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, MG, 2014. 543 p.

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

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

MALINOVSKI, R. A.; FENNER, P. T.; SCHACK-KIRCHNER, H.; MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A. Otimização da distância de extração de madeira com *forwarder*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v.36, n. 79, p. 171-179, 2008.

MARIA, R. C. **Otimização técnico-econômica de circuitos de flotação**. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2009.

MARIA, R. C.; LUZ, J. A. M. D. Aspectos da avaliação técnico-econômica de circuitos de flotação. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, MG, v. 63, n. 4, p. 645-651, 2010.

MATSUSHITA, M. S.; HOEFLICH, V. A.; PARCHEN, C. A. P.; NAMIKAWA, I. S. Proposta de melhoria das propriedades familiares a partir da introdução de cultivos florestais. **Revista Acadêmica Ciência Agrária Ambiental**, Curitiba, PR, v.8, n. 2, p. 251-260, 2010.

MINETTE, L. J.; MOREIRA, F. M. R.; 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.; MIRANDA, G. D. M.; SOUZA, A. P. D.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica da operação de extração de *Eucalyptus* spp. utilizando o trator autocarregável e o trator floresta transportador "forwarder" na região sul da Bahia. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 16, n. 3, p. 312-317, 2008.

MOREIRA, F. M. T. **Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação**. 2000. 148 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

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, MG, v. 17, n. 1, p. 9-15, 2011.

OLIVEIRA, M. D. M. **Custo operacional e ponto de renovação de tratores agrícolas de peus: avaliação de uma frota**. 2000. 148 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2000.

OLIVEIRA, D. D.; LOPES, E. D. S.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de toras de pinus. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, SP, v. 37, n. 84, p. 525-533, 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, 2011a.

PAULA, M. T. **Análise econômica de investimentos de um sistema agroflorestal (SAF) no município de Santa Bárbara- PA.** 2011. 49 f. Monografia (Especialização em Gestão da Indústria Madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2011b.

PEREIRA, A. J. C. **Análise do custo do ciclo de vida da ETA.** 2009. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

PEREIRA, A. L. C. **Avaliação de um sistema de colheita de *Pinus taeda* L. em diferentes produtividades do povoamento.** 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR, 2011.

PEREIRA, R. S. Inovações da colheita e transporte de madeira. **Revista Opiniões**, p. 41, Jun./Ago., 2010. Disponível em: < <http://revistaonline.revistaopinioes.com.br/revistas/flo/11/#page/40>>. Acesso em: 21 Mai. 2014.

QUADROS, D. S. D.; MALINOVSKI, J. R. Análise econômica de empresas prestadoras de serviço florestal em duas regiões do estado de Santa Catarina. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 1, p. 35-48, 2012.

RADEL, E. **Contribuição conceitual e metodológica à determinação de tarifas no transporte rodoviário de passageiros.** 2014. 156 f. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Universidade de Brasília, DF, 2014.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. D. **Análise econômica e social de projetos florestais.** 3. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2013. 358 f.

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.** 2013. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

SFB. **Florestas do Brasil em resumo – 2013.** Brasília: Serviço Florestal Brasileiro – SFB: 188 p. 2013.

SANTANA, A. C. Elementos de economia, agronegócio e desenvolvimento local. UFRA, Belém: GTZ; TUD; p. 63 – 82, 2005.

SANTOS, L. N. **Avaliação econômica da colheita florestal mecanizada com *harvester* e *forwarder***. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2014.

SANTOS, S. L. M.; MACHADO, C. C. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira com *forwarder* em diferentes volumes por árvore e comprimentos de toras. Nota técnica. **Madera y Bosques**, v. 7, n. 2, p. 87-94, 2001.

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

SILVA, J. C. Desfazendo mitos e preconceitos. Viçosa, 2010. Disponível em: <http://fazendasfloresta.com.br/materia3.asp>. Acesso em: 19 Set. 2014.

SILVA, R. M. D.; BELDERRAIN, M. C. N. Considerações sobre diagrama tornado em análise de sensibilidade VII INIC/ IV EPG - UNIVAP 2004. **Universidade do Vale do Paraíba**, p. 8-11 2004.

SILVA, J. R.; FENNER, P. T. Desempenho do tractor florestal transportador autocarregável (“forwarder”). **Silva Lusitana**, Lisboa, Portugal, v.17, n. 1, p. 97 - 108, 2009.

SILVA, J. R.; SANTOS, J. E. G.; BÓRMIO, M. R. Desempenho de tractores florestais processadores. **Silva Lusitana**, Oeiras, Portugal, v.18, n. 2, p. 205 - 215, 2010b.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. 2 ed. 2 reimpressão. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 178 p.

SILVA, E. N.; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; FERNANDES, H. C.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de *pinus sp.* com *harvester*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.34, n.4, p.745-753, 2010a.

SILVA, E. N.; MACHADO, C. C.; FIEDLER, N. C.; FERNANDES, H. C.; PAULA, M. O.; CARMO, F. C.; MOREIRA, G. R.; COELHO, F. E. Avaliação de custos de dois modelos de *harvester* no corte de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 24, n. 3, p. 741-748, 2014.

SILVA, K. R.; MINETTI, L. J.; FIEDLER, N. C.; VENTUROLI, F.; MACHADO, E. G. B.; SOUZA, A. P. D. Custos e rendimentos operacionais de um plantio de eucalipto em região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, p. 361-366, 2004.

SIMÕES, D. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, SP, 2008.

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

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; BANTEL, C. A. Custos e rendimentos operacionais da extração de madeira de eucalipto com cabo aéreo. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 16, n. 2, p. 185-192, 2010a.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R. Análise técnica e econômica das etapas de produção de mudas de eucalipto. **Cerne**, Lavras, MG, v. 16, n. 3, p. 359-366, 2010.

SZYMCZAK, D. A.; BRUN, E. J.; REINERT, D. J.; FRIGOTTO, T.; MAZZALIRA, C. C.; LÚCIO, A. D.; MARAFIGA, J. Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de *pinus taeda* L. na região sudoeste do Paraná. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 4, p. 641-648, 2014.

TANAKA, O. K. Exploração e transporte da cultura do eucalipto. **Informe Agropecuário**, v. 12, n. 141, p. 24-30, 1986.

TORRES, R. **Matemática financeira e engenharia econômica: a teoria e a prática**. 2004. 94 f. Monografia (Graduação em Matemática) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

VALVERDE, S. R.; REZENDE, J. L. P. Substituição de máquinas e equipamentos: métodos e aplicações. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 21, n. 3, p. 353-364, 1997.

VITALE, V.; MIRANDA, G. M. Análise comparativa da viabilidade econômica de plantios de *Pinus taeda* E *Eucalyptus dunnii* na região centro-sul do Paraná. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 3, p. 469-476, 2010.

APÊNDICE

4Quadro 1. Valores utilizados no cálculo do custo total do *harvester*.

Item	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Taxa anual de juros simples (decimal)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Horas efetivas de trabalho por ano (h ano ⁻¹)	1.752,40	3.476,34	3.317,85	3.625,06	2.997,14	3.329,23	922,58
Valor de aquisição da máquina (US\$)	223.228,10	223.228,10	223.228,10	223.228,10	223.228,10	223.228,10	223.228,10
Vida útil (anos)	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Valor residual da máquina (US\$)	31.889,73	31.889,73	31.889,73	31.889,73	31.889,73	31.889,73	31.889,73
Percentual do valor de seguro (decimal)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Percentual do valor das taxas administrativas (decimal)	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Percentual do valor de oficina (decimal)	0,01	0,09	0,09	0,11	0,12	0,07	0,01
Consumo de óleo diesel (L h ⁻¹)	59,15	64,91	60,35	28,68	24,58	19,53	19,21
Preço de um litro de óleo diesel (US\$ L)	0,63	0,68	0,65	0,62	0,65	0,92	0,57
Consumo de lubrificantes e graxas (L h ⁻¹)	3,06	5,08	5,87	2,61	2,36	2,26	2,69
Preço de um litro de lubrificantes e graxas (US\$ L)	1,37	1,28	1,31	1,04	1,26	1,45	1,55
Consumo de óleo hidráulico (L h ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Preço de um litro de óleo hidráulico (US\$ L)	0,18	0,32	0,23	0,00	0,00	0,18	0,00
Número de sabre (unidade)	23,25	100,00	73,00	44,00	37,88	32,50	7,38
Número corrente (unidade)	415,00	728,63	829,25	437,13	347,00	340,75	212,00
Valor de um sabre da máquina (US\$ unidade ⁻¹)	88,63	101,72	111,33	94,45	75,61	81,43	69,13
Valor de uma corrente da máquina (US\$ unidade ⁻¹)	12,25	8,46	8,80	9,98	10,00	8,52	3,87
Custo de serviço (US\$)	115.954,84	291.455,18	353.274,46	205.011,98	188.693,28	206.169,54	60.245,94
Custo com peças (US\$)	44.523,15	368.766,97	649.934,39	248.864,44	176.455,37	229.723,31	63.305,62
Salário mensal (US\$)	1.458,30	1.492,62	1.551,74	2.006,37	2.242,86	3.182,33	3.381,93
Benefícios (alimentação, transporte, dentre outros) (US\$)	2.841,80	2.867,63	2.899,19	3.065,88	3.377,47	6.612,30	6.690,98
Fator de encargos sociais (decimal)	0,64	0,63	0,61	0,65	0,55	0,60	0,32
Número de esteiras substituídas (unidade)	0,00	0,25	0,13	17,88	0,13	225,07	0,00
Valor da soma de troca e reconstrução esteira (US\$ unidade ⁻¹)	0,00	1.608,43	19.907,45	0,38	486,38	7,17	0,00
Produtividade da máquina por ano (m ³ ano ⁻¹)	32.933,13	81.725,75	82.321,25	93.789,25	75.118,25	79.183,55	21.071,11

Quadro 2. Valores utilizados no cálculo do custo total do *forwarder*.

Itens	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Taxa anual de juros simples (decimal)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Horas efetivas de trabalho por ano (h ano^{-1})	1.860,22	3.824,40	3.550,55	4.303,55	3.111,54	2.955,28	1.255,45
Valor de aquisição da máquina (US\$)	298.313,44	298.313,44	298.313,44	298.313,44	298.313,44	298.313,44	298.313,44
Vida útil (anos)	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Valor residual da máquina (US\$)	42.616,21	42.616,21	42.616,21	42.616,21	42.616,21	42.616,21	42.616,21
Percentual do valor de seguro (decimal)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Percentual do valor das taxas administrativas (decimal)	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Percentual do valor de oficina (decimal)	0,01	0,06	0,07	0,09	0,09	0,05	0,01
Consumo de óleo diesel (L h^{-1})	25,72	31,27	33,46	17,60	15,87	14,95	12,53
Preço de um litro de óleo diesel (US\$ L)	0,64	0,69	0,66	0,62	0,65	0,69	0,64
Consumo de lubrificantes e graxas (L h^{-1})	0,42	0,73	0,61	0,35	0,41	0,35	0,39
Preço de um litro de lubrificantes e graxas (US\$ L)	4,04	3,09	2,96	2,34	2,67	2,90	2,38
Consumo de óleo hidráulico (L h^{-1})	0,14	0,38	0,65	0,31	0,37	1,16	0,96
Preço de um litro de óleo hidráulico (US\$ L)	1,39	1,30	1,02	0,83	1,04	1,30	1,08
Número de pneus 8x8 substituídos (unidade)	0,67	8,00	8,33	12,67	8,00	6,33	1,33
Valor da soma de troca e reconstrução 8x8 (US\$ unidade ⁻¹)	3.629,80	3.446,32	3.414,70	3.296,80	2.918,64	1.589,72	0,01
Horas efetivas de trabalho do pneu 8x8 (h unidade^{-1})	1.643,01	4.005,96	3.560,10	4.235,90	1.954,00	1.712,97	1.217,18
Número de pneus 6x6 substituídos (unidade)	0,67	0,67	5,00	1,00	3,67	5,67	0,67
Valor da soma de troca e reconstrução 6x6 (US\$ unidade ⁻¹)	0,01	2.090,48	1.156,45	774,83	905,34	1.277,91	1.188,93
Horas efetivas de trabalho do pneu 6x6 (h unidade^{-1})	2.077,42	3.642,84	3.540,99	4.371,20	4.269,08	4.197,59	1.280,97
Custo de serviço (US\$)	100.213,95	304.017,60	366.984,96	220.585,81	194.148,07	188.538,03	74.459,21
Custo com peças (US\$)	25.265,90	153.181,71	301.131,68	208.670,43	106.677,87	169.637,85	59.148,43
Salário mensal (US\$)	1.458,30	1.492,62	1.551,74	2.006,37	2.242,86	3.182,33	3.381,93
Benefícios (alimentação, transporte, dentre outros) (US\$)	2.841,80	2.867,63	2.899,19	3.065,88	3.377,47	6.612,30	6.690,98
Fator de encargos sociais (decimal)	0,64	0,63	0,61	0,65	0,55	0,60	0,32
Número de esteiras substituídas (unidade)	0,00	0,00	150,00	29,33	8,00	14,67	4,17
Valor da soma de troca e reconstrução esteira (US\$ unidade ⁻¹)	0,00	0,00	3,48	686,97	992,97	86,15	17,33
Produtividade da máquina por ano ($\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$)	44.169,33	108.766,67	127.235,17	154.932,50	117.798,83	96.617,00	30.063,51