

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICO DE SISTEMAS DE COLHEITA:
TORAS CURTAS E TORAS LONGAS SOB MÉTODOS MECANIZADO E
SEMIMECANIZADO

DIEGO WESLLY FERREIRA DO NASCIMENTO SANTOS

Cruz das Almas, fevereiro de 2014.

DIEGO WESLLY FERREIRA DO NASCIMENTO SANTOS

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICO DE SISTEMAS DE COLHEITA:
TORAS CURTAS E TORAS LONGAS SOB MÉTODOS MECANIZADO E
SEMIMECANIZADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao colegiado de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientador (a): Prof. Dr. Elton da Silva Leite

Co-orientador (a): Deoclides Ricardo Souza

Cruz das Almas, fevereiro de 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

S237a

Santos, Diego Weslly Ferreira do Nascimento.

Análise técnica-econômica de sistemas de colheita: toras curtas e toras longas sob métodos mecanizado e semimecanizado / Diego Weslly Ferreira do Nascimento Santos. _ Cruz das Almas, BA, 2014.

48f.; il.

Orientador: Elton da Silva Leite.

Coorientador: Deoclides Ricardo Souza.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1.Madeira – Colheita florestal. 2.Madeira – Economia florestal. 3.Produutos florestais – Mecanização. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 634.9

DIEGO WESLLY FERREIRA DO NASCIMENTO SANTOS

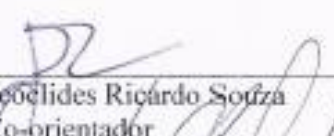
ANÁLISE TÉCNICA-ECONÔMICA DE SISTEMAS DE COLHEITA:
TORAS CURTAS E TORAS LONGAS SOB MÉTODOS
MECANIZADO E SEMIMECANIZADO

Aprovado em: 06/02/2014

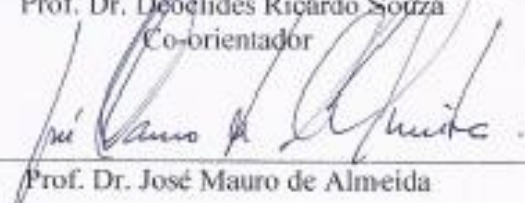
Banca examinadora:



Prof. Dr. Elton da Silva Leite
Orientador



Prof. Dr. Deodilides Ricardo Souza
Co-orientador



Prof. Dr. José Mauro de Almeida

Cruz das Almas, fevereiro de 2014

Dedico esse trabalho a minha mãe, dona Neide, por todo o esforço e sacrifício que fez para me colocar e me manter em uma Universidade Federal.

Agradecimentos

A Deus, por mais uma benção minha vida.

A minha mãe, Marineide Ferreira do Nascimento, pelos conselhos, carinho, amor, paciência, dedicação, educação, apoio e confiança passada, sendo a mesma a pessoa mais importante da minha vida e sem ela esse momento não seria possível.

Aos meus avôs, Dalva Maria (em memória) e Marcelino Ferreira do Nascimento pelos ensinamentos, educação e conselhos dados ao longo de minha vida.

A toda minha família, por parte de mãe, pelo apoio e carinho. Em especial a tia Amélia, tia Solange, tia Danda, Tio Rezinho e madrinha Eliene pela paciência, amor, telefonemas de apoio e por terem me ajudado em vários momentos difíceis de minha vida.

Ao professor Elton da Silva Leite pela orientação deste trabalho e pela confiança passada.

Ao professor Deoclides Ricardo Souza pelos ensinamentos passados e pela orientação nos projetos de Iniciação Científica.

Ao professor André Dias Azevedo pelos conselhos, conversas e ensinamentos passados durante o trabalho voluntário.

Aos Corymbios pela amizade e por tudo que passamos juntos.

A Residência Universitária Hospital pelo acolhimento e pelas amizades adquiridas

A turma de Engenharia Florestal 2009.1 pelas batalhas que passamos e vencemos juntos.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia pelo aprendizado que me foi proporcionado durante esses anos.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo geral	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1. Sistemas de colheita	13
3.2. Sistemas toras curtas	13
3.3. Sistemas árvores inteiras (<i>full-tree</i>).....	13
3.4. Métodos semimecanizado e mecanizado	14
3.5. Máquinas utilizadas nos sistemas e métodos de colheita	14
3.5.1. <i>Harvester</i>	14
3.5.2. <i>Forwarder</i>	15
3.5.3. <i>Feller-buncher</i>	15
3.5.4. <i>Skidder</i>	16
3.5.5. Motosserra	16
3.5.6. Cabo aéreo.....	17
3.5.7. Guindaste.....	17
3.6. Custos.....	18
3.7. Análise de sensibilidade.	18
3.8. Taxa Interna de Retorno	18
3.9. Ponto de equilíbrio.....	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1. Máquinas utilizadas.....	20
4.2. Custos operacionais	20
4.3. Análise de sensibilidade	22
4.4. Custo de produção	22
4.5. Taxa Interna de Retorno	24
4.6. Ponto de equilíbrio.....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1. Custos operacionais	25
5.1.1. Módulo 1-toras curtas mecanizado (<i>harvester e forwarder</i>).....	25
5.1.2. Módulo 2. – toras longas mecanizado (<i>feller-buncher e skidder</i>)......	26
5.1.3. Módulo 3 - toras curtas semimecanizado (motosserra e guindaste)	28

5.1.4. Módulo 4 - toras longas semimecanizado (motosserra e cabo aéreo)	30
5.2. Custo de produção	31
5.3. Análise de sensibilidade	32
5.4. Taxa Interna de Retorno	36
5.5. Ponto de equilíbrio.....	42
5.6. Análise comparativa	42
6. CONCLUSÕES	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

RESUMO

A mecanização da colheita florestal é um dos principais fatores que contribuíram para reduzir os custos e aumentar a produtividade por metro cúbico por hora, porém, são necessários investimentos, principalmente na aquisição de máquinas. Mediante isso, é necessário realizar avaliações que possibilitem definir com maior precisão qual subsistema e máquina a serem utilizados. O presente trabalho teve como objetivo avaliar técnico-economicamente sistemas de colheita de toras curtas e toras longas sob método mecanizado e semimecanizado. Avaliou-se quatro módulos de colheita florestal: 1) toras curtas mecanizado (*harvester e forwarder*); 2) toras longas mecanizado (*feller-buncher* e *skidder*); 3) toras curtas semimecanizado (motosserra e guindaste) e 4) toras longas semimecanizado (motosserra e cabo aéreo). A análise econômica foi baseada na determinação dos custos operacionais, custo de produção, taxa interna de retorno e ponto de equilíbrio. Observou-se maior custo operacional de (US\$ 272,75) por hora efetiva de trabalho pelo módulo 2, porém, o mesmo apresentou o menor custo de produção. O preço da máquina e o custo com manutenção e reparos foram as variáveis mais influentes no custo operacional do sistema mecanizado. O sistema composto pelo *feller-buncher* e *skidder* apresentou a maior taxa interna de retorno, 113,73% considerando uma margem de lucro de 10% para os módulos. O módulo 3 semimecanizado apresentou o menor ponto de equilíbrio, 1680,50 horas ano⁻¹.

Palavras-chave: Ponto de equilíbrio. Colheita Florestal. Custos. Taxa interna de retorno.

ABSTRACT

The mechanization of forest harvesting is one of the main factors that contributed to reduce costs and increase productivity, but high investments are needed, especially in the acquisition of machinery. Through this, it is necessary to conduct evaluations that allow to define more precisely which subsystem and machine to be used. This study aimed to evaluate technically and economically harvest systems of short logs and long logs under mechanized and semi-mechanized methods. Were evaluated four forest harvest modules: 1) short log mechanized (harvester and forwarder), 2) long logs mechanized (feller buncher and skidder) , 3) short logs semi-mechanized (chainsaw and crane) , and 4) semi-mechanized long logs (chainsaw and cableway) . The economic analysis was based on the determination of operating costs, cost of production, internal rate of return and point of equilibrium. After the study, it was concluded that the higher operating cost was U.S. \$ 272.75 per effective working hour, presented by module 2, however, it had the lowest cost of production. The value of the machine and the fuel price were the most influential variables in the operating cost of the mechanized system. The system composed by the feller-buncher and skidder had the highest internal rate of return, 113,73 %, assuming a profit margin of 10 %. The modules 3 semi-mechanized had the lowest breakeven, 1680,50 hours/year.

Keywords: *Equilibrium point. Forest Harvesting. Costs. Internal rate of return*

1. INTRODUÇÃO

As boas condições edafoclimáticas de cultivo, os altos investimentos e o desenvolvimento de tecnologias fez com que o Brasil atingisse 6,6 milhões de hectares de floresta plantada em 2012 (ABRAF, 2013). A mecanização do setor foi um dos fatores que mais contribuiu para o país atingir essa marca, pois proporcionou maiores produtividades, grandes melhorias na qualidade de plantio e da mão de obra, além de contribuir para redução de custos destacando, principalmente, a etapa de colheita.

A colheita florestal é um conjunto de operações realizadas no maciço florestal, que tem por objetivo preparar e levar a madeira até o local de transporte, através do uso de técnicas e de padrões estabelecidos (MACHADO, 2008). A colheita é a parte mais importante do ponto de vista técnico-econômico, pois representa 50% ou mais no custo final do produto, sendo que a mesma pode ser realizada de forma semimecanizada e mecanizada (MACHADO, 2008).

A colheita semimecanizada é utilizada, principalmente, em terrenos acidentadas e em áreas de baixa produtividade. A colheita mecanizada requer altos investimentos, e apresenta como principais vantagens o baixo custo econômico e alta produtividade.

Além da forma das atividades, a mecanização da colheita florestal apresenta diferentes tipos de sistemas, destacando-se pela utilização, o sistema toras curtas (*cut-to-length*) e o sistemas toras longas (*full-tree*).

O sistema toras curtas é o mais utilizado no Brasil, principalmente por empresas produtoras de celulose. Nesse sistema o processamento da madeira ocorre no local do corte das árvores. No sistema as árvores inteiras, as árvores são extraídas para a beira da estrada sem que ocorra o processamento das mesmas, esse método apresenta maior exportação dos nutrientes (MALINOVSKI et al., 2008). Em ambos os sistemas podem ser empregada máquinas modernas e autopropelidas.

São necessários altos investimentos para adquirir máquinas e equipamentos de colheita florestal, mesmo assim o Brasil vem se destacando como grande consumidor de máquinas especializadas no corte, extração e carregamento de madeira. Para que não ocorram problemas operacionais e ineficiência na colheita florestal, é necessário realizar planejamento e avaliações que definam de forma precisa qual será a máquina, método e sistema de colheita adequado.

O conhecimento dos custos operacionais das máquinas é importante para realizar o planejamento e controle de sua utilização, sendo o mesmo influenciado,

principalmente, pela eficiência operacional e pela jornada de trabalho (HARRY et al., 1991). Também é necessário ter o conhecimento sobre a taxa interna de retorno, pois a mesma expressa o retorno que será obtido com o investimento, além de identificar a viabilidade do mesmo.

Outro fator importante a se considerar na análise econômica é o ponto de equilíbrio, pois o mesmo estima a quantidade mínima de horas por ano que as máquinas devem trabalhar para viabilizar sua compra.

A partir dos aspectos citados, percebe-se a importância de se realizar estudos que visem contribuir para o desenvolvimento do setor florestal, principalmente, no que se refere a aumento da produtividade e redução dos custos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Analisar técnico-economicamente sistemas de colheita de toras curtas e toras longas sob os métodos: mecanizado e semimecanizado, constituído de quatro módulos de colheita: 1) toras curtas mecanizado (*harvester e forwarder*); 2) toras longas mecanizado (*feller-bunchere skidder*); 3) toras curtas semimecanizado (motossera e guindaste); 4) toras longas semimecanizado (motoserra e cabo aéreo).

2.2. Objetivos específicos

Determinar os custos operacionais;
Estimar a análise de sensibilidade;
Determinar os custos de produção;
Determinar a Taxa Interna de Retorno; e
Estimar o ponto de equilíbrio.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Sistemas de colheita

O sistema de colheita de madeira é um conjunto de atividades, que permitem o fluxo constante de madeira e tem por objetivo a racionalização e otimização dos recursos utilizados, levando os equipamentos a máxima utilização (MALINOVSKI, 2008).

Existem vários sistemas de colheita florestal, sistema de toras curtas (*cut-to-length*), sistema de toras compridas (*tree-length*), sistema de árvores inteiras (*full-tree*), sistema de árvores completas (*whole-tree*) e o sistema de cavaqueamento (*chipping*), sendo que, os mais utilizados são sistema de toras curtas (*cut-to-length*), sistema de toras compridas (*tree-length*), dessa forma a adoção do sistema deve ser de acordo os fatores condicionantes como: espécie florestal, idade do povoamento, finalidade a que se destina o produto, condições gerais da área de colheita, distância de arraste e transporte, eficiência da máquina e o capital requerido (MACHADO, 1984; NOVAIS, 2006).

3.2. Sistemas toras curtas

Sistema mais utilizado em países escandinavos e no Brasil, sendo que neste método as árvores são processadas no local da derrubada e transportadas para a margem da estrada na forma de toras com no máximo 6 metros de comprimento (MALINOVSKI, 2008).

Esse método é bastante utilizado por empresas que produzem celulose, sendo que o mesmo apresenta como vantagens aumento da produtividade, redução dos custos de produção, exigir menor grau de mecanização e facilidade de deslocamento a pequenas distâncias, baixa agressão ao meio ambiente principalmente em relação ao solo, e a possibilidade de ser utilizado em desbaste (MALINOVSKI E MALINOVSKI, 1998; NOVAIS, 2006; LEITE 2012). As principais máquinas adotadas nesse sistema são *harvester* e *forwarder*.

3.3. Sistemas árvores inteiras (*full-tree*)

Nesse método a árvore é cortada, geralmente por um *feller-buncher*, e transportada, freqüentemente por um *skidder*, para a margem da estrada ou pátio intermediário onde será processada ou não. Esse sistema é bastante utilizado na produção de biomassa para energia, pois permite a utilização da casca, ramos e folhas,

além disso, esse método possibilita que a área fica limpa de resíduos diminuindo o risco de incêndios e apresenta maior rendimento operacional quando comparado ao sistema de toras curtas (MALINOVSKI, 2008). As principais máquinas utilizadas nesse sistema são: *feller-buncher* e *skidder* e motosserra e cabo aéreo.

3.4. Métodos semimecanizado e mecanizado

Desde os anos 60, com a introdução do motosserra na colheita florestal, o corte semimecanizado é amplamente utilizado no Brasil. A motosserra é a principal máquina utilizada nesse método, sendo a mesma capaz de realizar as operações de corte, desgalhamento e traçamento (SANT'ANNA, 2008).

O método semimecanizado apresenta como desvantagens a baixa produtividade quando comparado com o método mecanizado, alto risco de acidentes, exige grande esforço físico do operador e apresenta problemas com ergonomia. Algumas das vantagens desse método de exploração é que ele pode ser empregado em florestas nativas e plantadas, possibilidade de operar em declive do terreno elevado e apresenta baixo custo de produção (ANDREON, 2011).

A partir de 1994, com a abertura das exportações, aumento do custo com mão-de-obra e necessidade de diminuir os custos de produção, intensificou-se a modernização da colheita florestal, sendo que atualmente todas as operações podem ser realizadas sem o contato físico do operador com as árvores, denominando esse tipo de método mecanizado (BURLA, 2008).

Dentre as vantagens do método mecanizado, está à alta produtividade, redução dos custos de produção, maior segurança e conforto ao operador e possibilidade de se trabalhar durante três turnos diários. As principais máquinas utilizadas nesse sistema são: *harvester*, *forwarder*, *feller-buncher*, *skidder*, *delimber* (SANT'ANNA, 2008).

3.5. Máquinas utilizadas nos sistemas e métodos de colheita

3.5.1. *Harvester*

O *harvester* é definido como um conjunto motriz de alta mobilidade e estabilidade composta de uma máquina base de pneus, esteira ou misto, uma lança hidráulica e um cabeçote. A estrutura da cabine é capaz de movimentar 180 graus e proteger o operador contra a queda de galhos e árvores. Esse colhedor florestal é capaz de realizar, simultaneamente, as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento, descascamento e empilhamento da madeira (SANT'ANNA, 2008).

Esses tratores têm a capacidade de atuar em diversas condições, porém, produtividade deste é afetada pelo volume médio das árvores, variabilidade das dimensões das árvores, declividade da área, comprimento de seccionamento das toras e eficiência do operador. Essa colhedora não é indicada para corte em florestas com produções abaixo de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e não é viável operar a máquina em terrenos com declividades superiores a 25 graus (BURLA, 2008).

3.5.2. Forwarder

Trator florestal transportador, autocarregável, articulado, de pneus com tração em quatro, seis ou oito rodas, utilizado para extrair a madeira, no sistema toras curtas, da área de corte para a margem da estrada. Inicialmente fabricados no Canadá, tem capacidade de carga de 19 toneladas, trabalham em terrenos com aclive de até 30% e em declive de até 60% (SEIXAS, 2008).

Essa máquina possui cabine com sistema condicionador de ar e assento giratório, caçamba, grua hidráulica articulada com alcance de 3 a 12 m e capacidade de carga de até 1.800 kg (SEIXAS, 2008). Essas máquinas possuem uma produtividade média em torno de $31,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de madeira com casca, sendo que vários fatores influenciam na produtividade, dentre eles, o espaçamento na entrelinha, declividade do terreno, tipo de solo, pedregosidade da área, volume por hectare e comprimento da tora (MALINOVSKI, et al, 2006; OLIVEIRA, 2009).

3.5.3. Feller-buncher

Trator florestal, de pneus ou esteira, possui um cabeçote de disco, tesoura ou sabre, capaz de cortar, acumular as árvores cortadas e colocar as mesmas no local dentro da área de corte (BERTIN, 2010). Esse trator apresenta produtividade média de $40,84 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, quando trabalha em áreas com uma produtividade média de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (LOPES, 2007).

Durante o corte com *feller-buncher* as árvores são fixadas por duas garras a aproximadamente 1,30 metros do solo, em seguida é realizado o corte um pouco acima do nível do solo, após o corte o braço acumulador é acionado firmando essa árvore na cabeça de corte e reabrindo as garras para uma nova operação, após completar a capacidade de carga do cabeçote as árvores são descarregadas (SANT'ANNA, 2008). Uma das grandes vantagens dessa máquina é a sua capacidade em deixar os tocos

rentes ao solo, não sendo necessário nos próximos plantios o rebaixamento dos tocos, o que diminui os custos de uma nova implantação.

3.5.4. Skidder

Equipamento articulado, geralmente empregado no sistema de colheita toras longa e árvores inteiras, pode ser produzido com esteira rígida, flexíveis ou com pneus, possuem uma lâmina na parte frontal que auxilia o empilhamento e a limpeza de vias de acesso. Sua função é realizar a extração da madeira do local de corte até a beira da estrada (LOPES, 2007). É uma máquina bastante popular na América do Norte por ser versátil, forte, fácil de operar, trabalhar com árvores de diferentes tamanhos e ser de fácil manutenção (SEIXAS, 2008).

Dentre os vários tipos de *skidders*, os que mais se destacam são: o *skidder* com cabo e o *skidder* com garra, sendo que o primeiro se diferencia dos demais por apresentar na parte traseira um sistema de guincho, esse trator é indicado para extração de toras dispersas na área e para terrenos poucos acidentados. O *skidder* com garra possui uma garra hidráulica para realizar o carregamento, sendo que o mesmo é indicado para áreas onde o corte foi realizado com *feller-buncher* e a madeira está empilhada (SEIXAS, 2008). A depender das condições de extração o *skidder* com garra pode produzir até 300% a mais que o *skidder* com cabo (MACHADO, 1984).

3.5.5. Motosserra

A motosserra foi inventado em 1916 por um engenheiro sueco, porém era muito pesada, podendo pesar até 72 quilos, o que dificultava o corte das árvores, sendo necessário duas pessoas para manusear. Com o aumento da tecnologia as motosserras passaram por grandes mudanças como; aperfeiçoamento do sistema de alimentação, implementação de amortecedores, diminuição do nível de ruído, melhorias no sistema de travamento contra rebotes e diminuição gradativa da relação peso/potência sendo que atualmente as motosserras pesam em torno de 6,4 quilos, possuem 4,1 HP de potência e podem ser operadas por uma única pessoa (SANT'ANNA, 2008). Por estas evoluções, a motosserra apresenta-se difundida no corte de madeira, compondo o método semimecanizado.

O corte florestal através da motosserra é caracterizado pelo alto risco de acidentes, sendo necessário que os operadores utilizem equipamentos de segurança e as motosserras devem ser fabricadas com alguns equipamentos de segurança como; freios

de corrente manual e automático, sistema antivibratório, pino “pega corrente”, protetores de mão dianteiro e traseiro, escapamento com dispositivo silencioso e de direcionamento de gases, desenho ergonômico e peso compatível com uma jornada de trabalho de 8 horas diárias (RODRIGUES, 2004).

3.5.6. Cabo aéreo

Na extração de madeira através de cabos aéreos as toras podem ser parcialmente ou totalmente suspensas do solo, onde a máquina fica estacionada, denominada *yarding* (PENNA, 2009).

A fonte de potência dos sistemas de cabos aéreos é proveniente do *Yarder*. De forma geral os *yarders* são movidos a diesel, com a potência, do motor, variando entre 90 a 700 HP, sendo que os *yarders* têm de um a quatro tambores, onde são armazenados os cabos de aço (SEIXAS, 2008).

Esse sistema não é muito utilizado no Brasil, porém é uma opção viável do ponto de vista técnico, econômico e ambiental para realização da extração de madeira em regiões montanhosas e alagadas onde os tratos florestais são inoperantes (LOPES et al., 2011).

A principal desvantagem desse sistema é o alto investimento e o alto custo de operação, porém esse sistema dispensa a construção de estradas, pode resultar em menos danos ao solo caso as toras sejam totalmente suspensas do terreno e pode ser mais rápido que o arraste no terreno (SEIXAS, 2008).

3.5.7. Guindaste

Devido a sua ampla gama de aplicações, o guindaste acabou sendo aplicado na colheita florestal em áreas em declive elevado, sendo que o mesmo pode ser constituído de uma torre treliçada de aço ou em uma torre telescópica montada em uma plataforma móvel, que pode ser constituída de trilhos, rodas acopladas a caminhões ou sobre esteira.

Os guindastes apresentam, em média, capacidade de carga de 30 toneladas, cabos com distância de arraste de carga de 120 m, potência nominal do motor de 130 cv e podem ser operados por quatro pessoas (LEITE et al., 2012).

3.6.Custos

Speidel (1966) destaca que os custos são representados pela soma de todos os valores consumidos no processo produtivo. Dentre os vários tipos de custo, os custos fixos e variáveis são amplamente utilizados para calcular os custos operacionais de máquinas florestais.

Os custos operacionais referem-se ao somatório de todos os custos resultantes da aquisição e operação de uma máquina ou de um equipamento (MACHADO; MALINOVSKI, 1988). Sendo o seu conhecimento de extrema importância para o planejamento e controle de sua utilização.

3.7.Análise de sensibilidade.

A análise de sensibilidade é a ferramenta que possibilita avaliar eventuais alterações de valores a partir de simulações, dessa forma a mesma pode ser utilizada para: 1) tomar melhores as decisões; 2) decidir quais dados estimados devem ser refinados antes de se tomar uma decisão; e 3) concentrar-se nos elementos críticos durante a implementação (ESCHENBACH, 1992).

A análise de sensibilidade é apresentada através do diagrama de Spiderplot, sendo que as equações que apresentam maior ângulo de inclinação em relação ao eixo x acabam tendo maior influência na representatividade no custo operacional, ângulo positivo implica em aumento do custo operacional, quando tende a negativo implica em sua diminuição (LEITE, 2012).

3.8.Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é considerada a taxa de juros (desconto) que iguala, em determinado momento do tempo, o valor presente das entradas (recebimentos) com o das saídas (pagamentos) previstas de caixa. Ela representa a rentabilidade do investimento, e por essa razão é considerada a taxa interna do empreendimento (LEITE, 2012).

3.9.Ponto de equilíbrio

Do ponto de vista econômico a empresa obterá seu ponto de equilíbrio quando suas receitas totais equalizarem seus custos e despesas totais (MARTINS, 2003). A partir desse conceito, afirma-se que as máquinas florestais apresentam o ponto de mínimo do processo produtivo para viabilizar seu uso, determinando o limite operacional. Mediante

isso é importante verificar a viabilidade de adquirir ou alugar máquinas ou equipamentos. O ponto de equilíbrio (PE) ou de nivelamento é o número de horas que a máquina deve trabalhar por ano, a fim de justificar sua aquisição.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Máquinas utilizadas

No módulo 1, toras curtas mecanizado, utilizou o *harvester* da marca John Deere, modelo 1270 e o *forwarder* da marca John Deere, modelo 1710.

No módulo 2, toras longas mecanizado, utilizou o *feller-buncher* de esteira da marca John Deere, modelo 953k e o *skidder* de garras da marca John Deere, modelo 748H

No módulo 3, toras curtas semimecanizado, utilizou a motosserra da marca Stihl, modelo MS 360 e o guindaste da marca Terex, modelo RT 230.

No módulo 4, toras longas semimecanizado, utilizou motosserra da marca Stihl, modelo MS 360 e o cabo aéreo marca Penzsaaur, modelo K301 T.

4.2. Custos operacionais

A análise de custos operacionais das máquinas foi obtida através do somatório do custo fixo e do custo variável e expressos em dólares por hora efetiva de trabalho ($\text{US\$ h}^{-1}$), segundo a metodologia usada por Leite (2012), adaptada de American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2001) (Tabela 1).

O presente trabalho foi construído com base em dados fornecidos por fabricantes de máquinas florestais a fim de determinar o custo operacional por hora efetiva de trabalho das máquinas: *harvester*, *forwarder*, *feller-buncher*, *skidder*, motosserra, guindaste e cabo aéreo. Os valores das variáveis estão apresentados na tabela 2. Utilizou a taxa de câmbio, Dólar (R\$ 2,34), cotados em 12 de dezembro de 2013.

Com relação ao custo operacional da motosserra, os custos com equipamentos de segurança e materiais auxiliares foram calculados juntos com o custo de mão-de-obra.

Tabela 1 – Fórmulas utilizadas para calcular os custos fixos, custos variáveis, custo de produção e Taxa Interna de Retorno.

	$Depreciação = Vn = \frac{Va(1-t)^n}{He} \Rightarrow t = \left(1 - \sqrt[n]{\frac{Vr}{Va}}\right)$	(1)
Custos fixos	$Juros, seguros e impostos = \frac{(IMA - i)}{He} \rightarrow IMA = \frac{(Va - Vr)(N + 1)}{(2N)} + Vr$	(2)
	$taxa administrativa = T = \frac{Va - Fad}{He}$	(3)
	$Abrigo = \frac{(Va - Fa)}{He}$	(4)
	$Combustível = C = Pu \cdot cc$	(5)
	$Lubrificantes = l = Il \cdot C$	(6)
	$Óleo hidráulico = OH = Io \cdot C$	(7)
Custos variáveis	$Pneus = P = \frac{Npe \cdot Vpe}{Hpe}$	(8)
	$Manutenção e reparos = \frac{\left[Va - FR_1 \left(\frac{h + He}{1000} \right)^{FR_2} \right] - \left[Va - FR_1 \left(\frac{h}{1000} \right)^{FR_2} \right]}{He}$	(9)
	$Mão de obra = \left(\frac{S + E + No + M}{He} \right)$	(10)
	$Transporte de pessoal = Tp = \left(\frac{dd + ck + da}{HeNe} \right)$	(11)
	$Transporte de maquinário = TM = It \cdot Tp$	(12)
	$\text{Custo total} = CT = CF + CV$	(13)

Tabela 2 – Valores das variáveis de estudo utilizadas para determinar o custo operacional das máquinas.

Variáveis	<i>harvester</i>	<i>forwarder</i>	<i>feller-buncher</i>	<i>skidder</i>	motosserra	cabo aéreo	guindaste
Va (US\$)	540.000,00	370.000,00	593.000,00	350.000,00	1000,00		256.410,26
Vr (US\$)	54.000,00	37.000,00	59.300,00	35.000,00	84,68		25.641,03
He (h)	5.006,16	5.006,16	5.006,16	5.006,16	1.770,81	1.609,82	1.590,20
N (anos)	5,00	5,00	5,00	5,00	2,53	10,00	10,00
EO	0,85	0,85	0,85	0,85	0,90	0,82	0,81
Fa	0,02	0,02	0,02	0,02	0,10	0,08	0,08
Pu (US\$)	1,07	1,07	1,07	1,07	1,24	1,07	1,07
cc (L)	16,00	14,00	30,00	18,00	0,76	3,00	4,56
Il	0,20	0,20	0,30	0,15	0,60	0,10	0,15
Io	0,20	0,20	0,30	0,15	0,27	0,05	1,10
Vpe (US\$)	4.500,00	4.500,00	10.685,00	4.000,00	-	-	-
Hpe (h)	12.500,00	12.500,00	8.000,00	10.000,00	-	-	-
Npe	6,00	8,00	2,00	4,00	-	-	-
FR1	0,003	0,003	0,003	0,007	0,30	0,007	0,007
FR2	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
S (US\$)	683,76	683,76	683,76	683,76	341,88	376,07	376,07
No	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	5,00	5,00

Va = valor de aquisição da máquina (US\$); Vr = valor residual, 10% Va (US\$); He = horas efetivas de uso anual; N = vida útil; t = taxa de depreciação; i = taxa de juros (12%); EO = eficiência operacional; Fa = fator de abrigo (2%); Pu = preço do combustível; cc = consumo de combustível; Il = índice de lubrificantes; Io = índice de óleo; Vpe = preço do pneu e ou esteira; Hpe = vida útil do pneu e ou esteira; Npe = número de pneu e ou esteira; FR₁ = fator de ajuste 1; FR₂ = fator de ajuste 2; h = hora que deseja calcular (h); S = salário mensal do operador; No = número de operadores; E = encargos (1,70); CF = custo fixo (US\$ h⁻¹); CV = custo variável (US\$ h⁻¹).

4.3. Análise de sensibilidade

Para determinação dos valores mínimos, médios e máximos das variáveis mais relevantes adotados pelo *harvester*, *forwarder*, *feller-buncher*, *skidder*, motosserra, guindaste e cabo aéreo foi considerada uma variação de 40% (20% para mais e para menos) nos valores dos principais componentes do custo operacional. A partir desses dados, plotou-se graficamente as curvas das variáveis no plano (x, y).

4.4. Custo de produção

Foi realizada uma revisão de literatura em 21 artigos, onde se pesquisou a produtividade média, em metros cúbicos por hora efetiva de trabalho (m³ h⁻¹) das máquinas florestais *harvester*, *forwarder*, *feller-buncher*, *skidder*, motosserra, guindaste

e cabo aéreo, com objetivo de determinar a produtividade média para estimar o custo de produção de cada máquina assim como de cada módulo (tabela 3).

Tabela 3 - Relação dos custos operacionais e produtividade das máquinas.

Máquinas	Custo/hora	Produtividade	Custo/prod.	Fonte	
	(US\$ h ⁻¹)	(m ³ h ⁻¹)	(US\$m ⁻³)	Autor	ano
	92,50	43,48	2,13	Simões et al.	2010
	87,19-93,80	18.57-19.88	4,69-4,71	Paula	2011
<i>harvester</i>	145,36	14-40	3,5-8,0	Leite	2012
	130,42	28,7	4,53	Robert	2013
	148,47	25.77	5,76	Jirousek et al.	2007
	115,72	31.53	3,67	Lopes et al.	2007
	112,34	48,8	2,27	Nascimento et al.	2011
<i>feller-</i>	86,26	70,03-81,75	1,23-1,6	Simões	2010
<i>buncher</i>	64,36	41,52	1,55	Freitas	2005
	68,61	40,84	1,68	Fernandes et al.	2009
motosserra	13,84	5,19	2,29	Leite et al.	2013
	26,50	7,59	3,49	Andreon	2011
<i>forwarder</i>	122,26	31,79	3,84	Robert	2013
	125,24	18,0 – 48,0	2,5-5,0	Leite	2012
<i>skidder</i>	89,00	22,00	4,0	Spinelliet al.	2002
	114,9	72,08	1,6	Oliveira et al.	2008
	62,58	42,86	1,46	Freitas	2005
guindaste	78,92	15-25	3,14-5,26	Leite et al.	2012b
cabo aéreo	54,40-88,43	14,84- 18,54	3,66- 5,31	Oliveira et al.	2009
	80,90	9,55-23,58	3,43-8,47	Simões	2010c
	92,09	25,3	3,65	Lopes et al.	2011

Utilizou-se a equação 14, para determinar o custo médio de produção de cada máquina.

$$CP = \frac{CT}{PM}$$

em que: CP = custo de produção (US\$ m⁻³); CT = custo operacional total (US\$ h⁻¹); e PM = produtividade média (m³ h⁻¹).

4.5. Taxa Interna de Retorno

Conforme a metodologia citada por, Silva *et al.* (2005), a Taxa Interna de Retorno é obtida através da equação 15, expressa de forma porcentual, sendo que para obtenção da mesmo aplicou-se o valor de 10% sobre o custo de produção (US\$ m⁻³).

$$TIR = \sum_{j=0}^n R_j (1 + TIR)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1 + TIR)^{-j} = 0 \quad (15)$$

em que: TIR = taxa interna de retorno; R_j = receitas do período de tempo j considerado; C_j = custos do período de tempo j considerado; en = duração do projeto em anos ou em número de períodos de tempo.

4.6. Ponto de equilíbrio

Para obtenção do ponto de equilíbrio, utilizou-se a equação 16.

$$H = \frac{CF + He}{PU - PM - CV} \quad (16)$$

em que: H = horas trabalhadas por ano (h ano⁻¹); CF = custo fixo (US\$ h⁻¹); He = horas efetivas de uso anual da máquina (h); PU = Custo por metro cúbico (US\$ m⁻³); PM = rendimento (m³h⁻¹); e CV = custo variável (US\$ h⁻¹).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Custos operacionais

5.1.1. Módulo 1-toras curtas mecanizado (*harvester* e *forwarder*)

O módulo apresentou um custo por hora efetiva de trabalho de 204,29(R\$ 478,03). As distribuições dos custos operacionais do sistema estão apresentados na figura 1.

O custo com manutenção e reparos foi o mais expressivo, representando 40,03% do custo total do sistema, seguido depreciação 17,62% e do custo com combustível, 15,69%.

O trator florestal *harvester* foi o mais representativo no custo final das operações, representando 54,77% do custo total do módulo, que equivale a US\$ 111,90. E o *forwarder* representou 45,23% (US\$ 92,39).

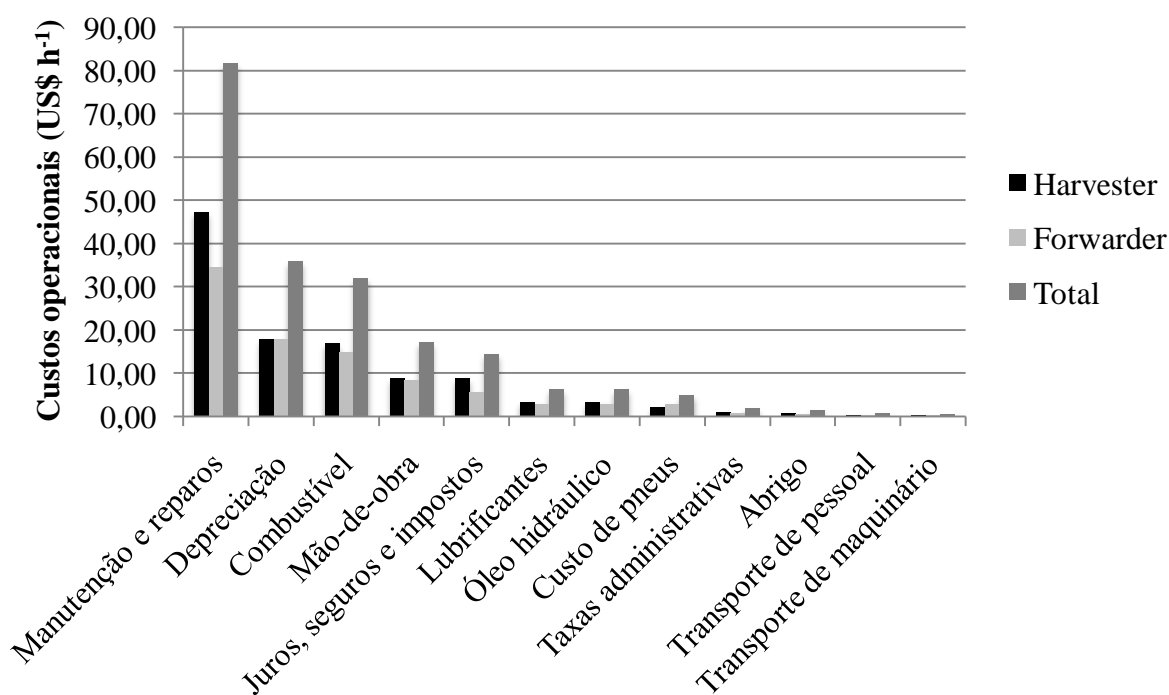


Figura 1 – Componentes do custo operacional do *harvester* e *forwarder*, em dólares por hora efetiva de trabalho (US\$h⁻¹).

Analisando separadamente os tratores florestais, percebe-se que os custos variáveis representaram 74,25% do custo operacional do *harvester*. O custo com manutenção e reparos representou 42,29% do custo total do *harvester*, seguido da depreciação (16,08%) e do custo com combustível (15,28%). Os custos com transporte

de pessoal e transporte de maquinário apresentaram as menores taxas, 0,40% e 0,30% do custo total, respectivamente.

Burla (2008), estudando *harvester* encontrou um custo operacional de US\$130,29 por hora trabalhada, resultado discrepante com o do presente trabalho.

Os resultados deste trabalho são semelhantes com os encontrados por Simões *et. al.* (2010b), em que obtiveram um custo operacional na ordem de US\$ 113,28 h⁻¹.

Leite (2012) avaliando economicamente a colheita florestal mecanizada, no sistema de toras curtas determinou um custo operacional por hora efetiva trabalhada de US\$145,36. A dissimilaridade entre os resultados é devido o autor ter acrescentado o custo com o transporte de combustível até as máquinas.

Dentre os custos operacionais do *forwarder*, os custos variáveis corresponderam juntos a 72,97% e os custos fixos corresponderam a 27,03% dos custos operacionais totais. O custo com manutenção e reparos, foi o mais significativos representando 37,29% dos custos operacionais totais, seguido da depreciação 19,48% e combustível 16,19%.

Os resultados deste trabalho se assemelham com os encontrados por Simões (2010a), que determinou um custo de US\$ 92,47 por hora efetiva de trabalho, Oliveira *et. al.* (2009) que encontrou um custo de US\$ 89,38 h⁻¹, e Robert (2013) que determinou um custo operacional de US\$ 95,95 por hora efetiva trabalhada.

5.1.2. Módulo 2. – toras longas mecanizado (*feller-buncher* e *skidder*).

Chegou-se a um custo operacional de US\$ 272,75 por hora efetiva de trabalho. Por possuir maiores custos com manutenção e reparos, combustível, lubrificantes, óleo hidráulico, juros, seguros e impostos e custo com pneus o *feller-buncher* foi responsável por 54,08% do custo total do sistema.

Os custos variáveis corresponderam a 80,89% do custo total do sistema, sendo o custo com manutenção e reparos o mais representativo do sistema com 42,52% devido, principalmente, ao elevado valor de aquisição das máquinas, seguido do custo com combustível 18,80% e depreciação 13,20% do custo total do sistema.

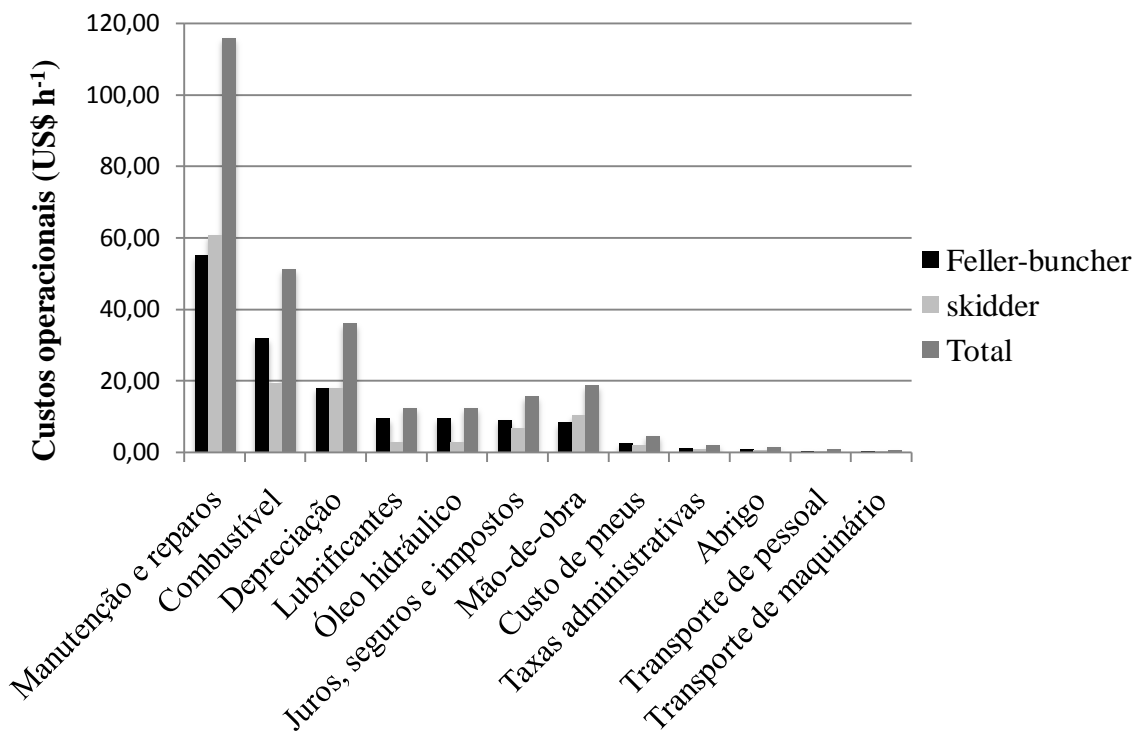


Figura 3 – Componentes do custo operacional do *feller-buncher* e skidder, em dólares por hora efetiva de trabalho (US\$h⁻¹).

Determinou-se um custo operacional por hora efetiva de trabalho de US\$ 147,49 (R\$ 353,55) para o *feller-buncher*. O custo com manutenção e reparos correspondeu a 37,44% do custo operacional da máquina, seguido do custo com combustível e lubrificante.

Nascimento et al. (2011), avaliando técnica e economicamente a derrubada de árvores inteiras com o *feller-buncher*, em duas posições distintas de tombamento, determinaram um custo operacional por hora efetiva de trabalho de R\$ 195,26 resultado distintos do encontrado no presente trabalho, porém no mesmo trabalho o custo com manutenção e reparos foi o mais significativos, 21% do custo total, seguido do custo com combustível 20% e depreciação 17%, resultados semelhantes com os obtidos no presente trabalho.

O resultado desse trabalho difere do encontrado por Lopes (2007), onde o mesmo utilizou um *feller-buncher* Carterpillar, modelo 320 CL, com potência nominal de 103kw, e chegou ao custo/hora efetivamente trabalhada de US\$ 68,62, a dissimilaridade entres os resultados é devido a Lopes (2012) utilizar um equipamento com valor de aquisição 38% inferior ao do presente trabalho, além de ter considerado uma taxa de revenda de 25%.

Para o trator florestal *skidder* chegou-se a um custo operacional de US\$ 125,26 (R\$ 293,11) por hora efetiva de trabalho. Os custos variáveis representaram 79,04% do custo total da máquina, sendo o custo com manutenção e reparos o que mais influenciou 48,51%. Devido ao alto consumo de combustível dessa máquina, o custo com combustível teve a segunda maior representatividade no custo operacional, 15,35% do custo total da máquina.

No trabalho de Moreira (2000), analisando técnica e economicamente quatro subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação, o custo com depreciação foi o mais significativo 23,56%, seguido de manutenção e reparos 18,85% e mão-de-obra 16,02%, valores distintos dos encontrados no presente trabalho. O mesmo autor determinou um custo operacional por hora efetiva de trabalho de US\$ 42,01.

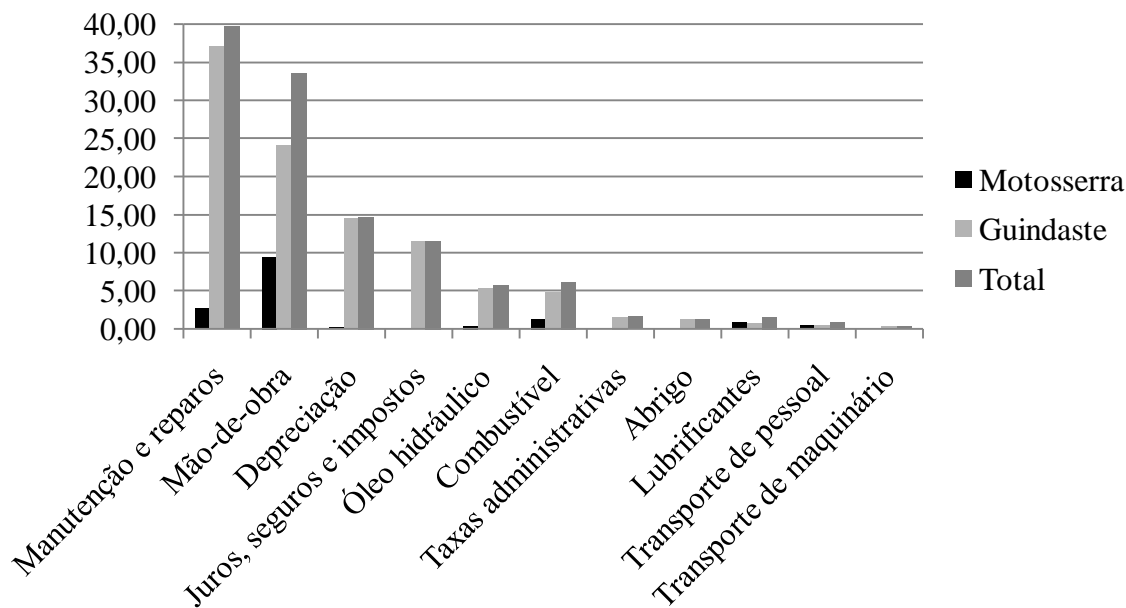
Oliveira (2008) estudando um *skidder* com rodados de pneus achou um custo médio por hora efetiva de trabalho de R\$ 195,00. A dissimilaridade entre os resultados é devido o autor ter considerado valores muito baixo para o cálculo do custo com óleo hidráulico e custo com lubrificantes, sendo que o mesmos só representam 0,1% e 1,9% dos custos operacionais para óleo hidráulico e custo com graxa e lubrificante, respectivamente.

5.1.3. Módulo 3 - toras curtas semimecanizado (motosserra e guindaste)

Estimou-se o custo por hora efetiva de trabalho igual a US\$ 117,18 (R\$ 274,69).

Os custos variáveis representaram 75,13% do custo total do sistema, e os custos fixos 24,87%. O custo com manutenção e reparos foi o que mais contribui para o custo final do sistema 33,93%, seguido da mão-de-obra 28,66%, depreciação 12,56% e juros, seguros e impostos 9,87% do custo total do sistema.

O maior custo com manutenção e reparos é devido à longa vida útil da máquina, cerca de 10 anos e o elevado custo com mão-de-obra é porque se utiliza 5 operadores para realizar as operações do guindaste e dois para realizar o corte semimecanizado.



Figuras 3- Componentes do custo operacional da motosserra e guindaste, em dólares por hora efetiva de trabalho (US\$h⁻¹).

Dentro desse módulo o guindaste contribui com 86,90% para custo final do sistema o que equivale a US\$ 101,83 por hora efetiva de trabalho. O maior custo operacional dessa máquina é devido à mesma apresentar custos maiores que a motosserra com manutenção e reparos e mão-de-obra principalmente.

Os custos variáveis representam 71,67% do custo total do guindaste, sendo a mão-de-obra a variável que mais influenciou no custo operacional da máquina 36,44%.

Resultados distintos aos deste trabalho foi encontrado por Leite et al. (2012) realizando a extração de madeira com um Guindaste Terex, modelo RT 230, que determinaram um custo por hora efetiva de trabalho de US\$ 77,97.

A motosserra foi responsável por 13,10% do custo total do sistema, o que equivale a US\$ 15,35 (R\$ 35,92) por hora efetiva de trabalho. Os custos variáveis corresponderam a 98,12% dos custos totais da motosserra. O custo com mão-de-obra foi o mais representativo correspondendo 61,61% dos custos totais de operação da máquina. Seguido do custo com manutenção e reparos 17,30% e do custo com combustível 8,70% dos custos totais. O custo com taxas administrativas foram menos representativo 0,04% do custo total da máquina.

Ainda com relação a motosserra os resultados do presente trabalho se assemelham com os encontrados por Batista (2008), Leite et al. (2013) e Moreira (2000) onde os mesmos encontraram um custo por hora efetiva de trabalho de; R\$ 35,06, R\$ 30,98 e R\$ 29,15 respectivamente.

Andreon (2011) determinando os custos operacionais do corte semimecanizado em áreas declivosas encontrou custo operacional por hora efetiva de trabalho de R\$ 48,16, valor este que difere com o do presente trabalho.

5.1.4. Módulo 4 - toras longas semimecanizado (motoserra e cabo aéreo)

Estimou-se o custo por hora efetiva de US\$ 88,79 (R\$ 207,77) para o sistema.

Os custos variáveis corresponderam a 60,78% do custo total do módulo, sendo que o custo com mão-de-obra representou 37,49% do custo final do sistema, seguido de manutenção e reparos (31,90%), depreciação (11,26%). O custo com óleo hidráulico foi o menos representativo 0,59%.

O cabo aéreo representou 82,71% do custo total do módulo, o que equivale a US\$ 73,44 por hora efetiva de trabalho, resultado diferente do encontrado por Simões et al., (2010), onde o mesmo realizando um estudo com um cabo aéreo *penzsa* e determinou um custo por hora efetiva de trabalho de US\$ 80,90.

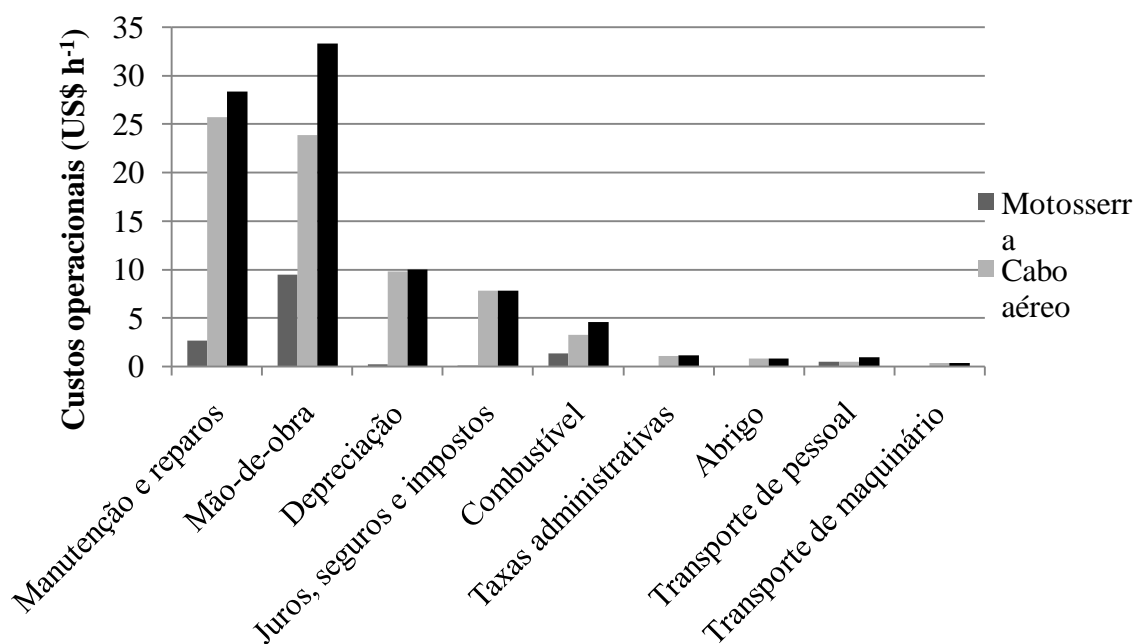


Figura 4 - Componentes do custo operacional da motosserra e cabo aéreo, em dólares por hora efetiva de trabalho (US\$h⁻¹).

O resultado do custo operacional do cabo aéreo do presente trabalho, também difere do encontrado por Lopes et al., (2011) que foi de 92,10 US\$ h⁻¹. Um dos fatores que contribuíram para aumentar a dissimilaridade entre os resultados, foi que o autor considerou 6 operadores para realizar as operações, sendo a mão-de-obra o custo que

mais influenciam nas operações com cabo aéreo. O acréscimo de um operador no presente trabalho acarretaria um aumento de 9,4% no custo final por hora efetiva de trabalho do cabo aéreo.

Ainda com relação aos custos com cabo aéreo, os custos variáveis corresponderam a 73,40% do custo total da máquina. O custo com mão-de-obra e depreciação, juntos, somam 67,39% do custo final da máquina. No trabalho Lopes et al., (2011) os custos que mais influenciaram no custo operacional da máquina foi a manutenção, seguido da depreciação e custo com mão-de-obra.

A motosserra representou 17,29% do custo total do sistema. Dentre os custos da motosserra a mão-de-obra foi a mais expressiva com 61,61%, seguido do custo com manutenção e reparos 17,30%.

Seu baixo custo operacional, quando comparado ao sistema mecanizado, é devido à mesma apresentar baixo custo com manutenção, pois suas peças não são tão caras como as das máquinas de colheita florestal. Outro fator relevante que contribui para o baixo custo do motosserra é a baixa taxa de depreciação da máquina, devido a seu baixo valor de aquisição.

5.2.Custo de produção

Para o módulo 1 o custo médio de produção foi de US\$ 6,61 m³ sem casca, sendo que o *harvester* representou 56,88% (US\$ 3,76 m³ sc) do custo de produção do sistema.

Para o módulo 2 Determinou-se o custo médio de produção igual a US\$ 5,59 m⁻³ sendo o *feller-buncher* responsável por 2,85 US\$ m⁻³ e o *skidder* por 2,74 US\$ m⁻³. Fernandes et al. (2009) realizando um análise técnica e econômica de um sistema toras longas, em uma área com 200 m³ ha⁻¹ determinou um custo de produção de US\$ 2,9 m⁻³ para o *feller-buncher* valor semelhante com o encontrado no presente trabalho. Para o *skidder* obteve-se um custo de produção de US\$ 2,74 m⁻³ (R\$ 6,41), resultado diferente com o encontrado por Fernandes et al. (2009), que foi de US\$ 1,26 m⁻³.

Para o módulo 3 encontrou-se um custo médio de produção de 7,49 US\$ m⁻³ para o sistema. O guindaste apresentou um custo médio de produção de 5,09 US\$ m⁻³, valor semelhante com o encontro por Leite et al., (2012), que foi de 5,13 US\$ m⁻³. Constatou-se que a motosserra teve um custo médio de produção de 2,40 US\$ m⁻³, valor semelhante com o encontrado por Leite et al., (2013) que foi de 2,69 US\$ m⁻³.

Para o módulo 4, obteve-se um custo médio de produção de 6,16 US\$ m⁻³. A contribuição de ambas as máquinas para o custo de produção, foi de 61,04% para o cabo aéreo e 38,96% para a motosserra.

Lopes, et al., (2011) analisando os custos de um sistema de cabo aéreo encontrou um custo médio de produção de 3,65 US\$ m⁻³. Já Simões, et al., (2011), realizaram um estudo de extração de madeira de eucalipto com cabo aéreo e determinou um custo médio de produção de 3,35 US\$ m⁻³. Os resultados de ambas as pesquisas diferem do encontrado nesse trabalho, devido o primeiro autor ter considerado um custo por hora efetiva de trabalho bem mais alto que o determinado no presente trabalho e o segundo autor considerou uma produtividade média por hora efetiva de trabalho menor que a utilizada neste trabalho.

5.3. Análise de sensibilidade

O diagrama de *Spiderplot* está representado na figura 5 com as principais variáveis do custo operacional do módulo 1, composto pelas máquinas *harvester* e *forwarder*.

Para o *harvester* a variável valor da máquina foi a que proporcionou maior impacto no custo operacional, seguido do custo com manutenção e reparos, custo com combustível e depreciação

No trabalho Paula (2011), analisando os custos do corte mecanizado de madeira de eucalipto com *harvester*, as variáveis que mais influenciaram no custo de produção foram: manutenção e reparos, seguido do custo de combustível e depreciação. Já no trabalho de Leite (2012) os componentes dos custos operacionais que mais influenciaram no custo operacional do *harvester* foram; valor da máquina, manutenção e reparos e o preço do combustível.

A análise de sensibilidade para o *forwarder* é mostrada na Figura 5 através do diagrama *Spiderplot*. As variáveis que mais influenciaram no custo operacional foram: valor da máquina, custo com manutenção e reparos, custo com combustível e depreciação.

Na análise de sensibilidade realizada por Robert (2013), notou-se que as variáveis que mais influenciaram no custo operacional do *forwarder* foram: valor de aquisição, preço do combustível, depreciação, vida útil da máquina, salário dos operadores, taxa de juros e custo de manutenção e reparos.

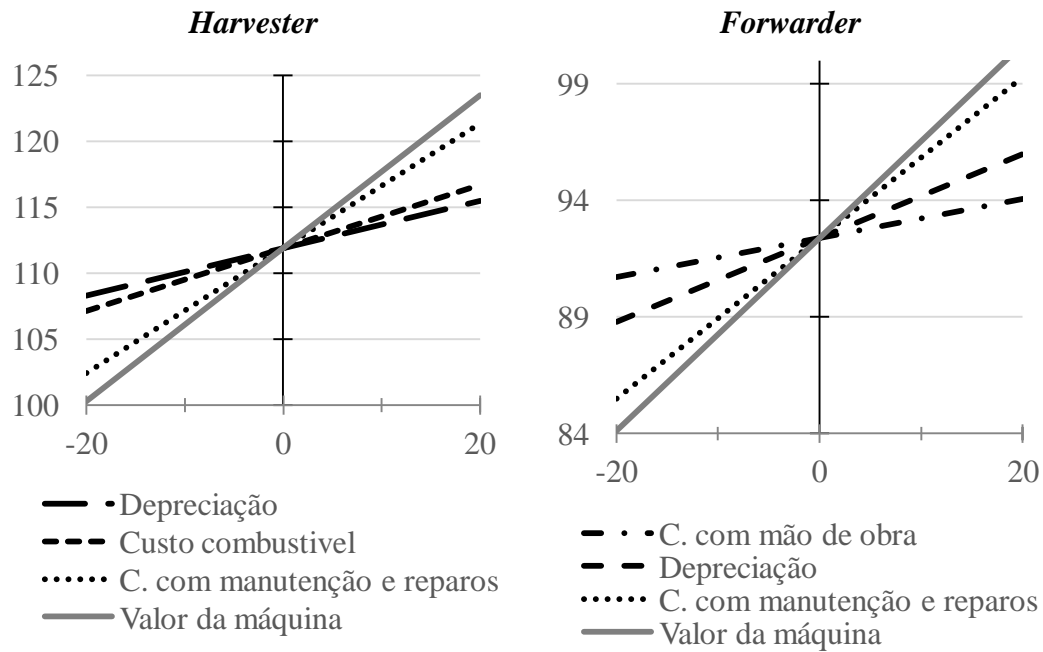


Figura 5 - Diagrama de *Spiderplot* das principais variáveis dos custos operacionais do *harvester* e *forwarder*, com variação das seis principais componentes do custo.

Na figura 6 está representado o diagrama de *Spiderplot* com os quatros principais variáveis do custo operacional do *feller-buncher* e do *skidder* (módulo 2).

Para o trator florestal derrubador as variáveis que mais influenciaram no custo final foram: valor de aquisição, custo com manutenção e reparos, custo com combustível e depreciação.

Para o *skidder* as várias que mais influenciaram no custo final são: valor de aquisição, custo com manutenção e reparos, custo com combustível, depreciação.

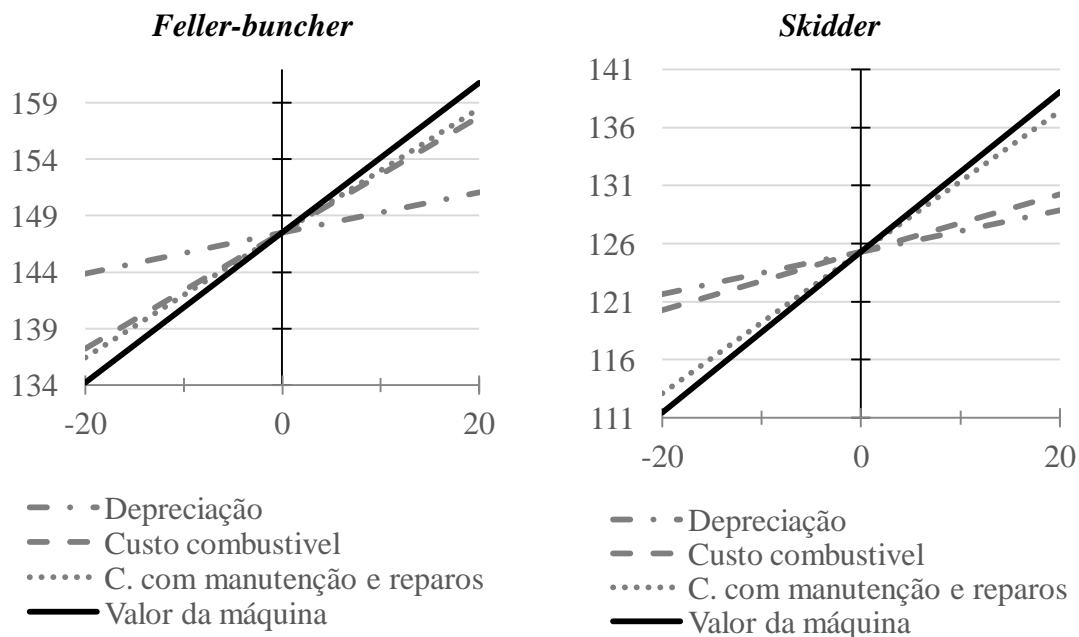


Figura 6 – Diagrama de Spiderplot das principais variáveis dos custos operacionais do *feller-buncher* e *skidder*, com variação das seis principais componentes do custo.

A partir do Diagrama de *Spiderplot*, (figura 7) pode-se observar as variáveis que mais influenciaram no custo operacional das máquinas do módulo 3.

Para a motosserra os componentes que mais influenciaram no custo final foram: custo com mão-de-obra, custo com combustível, valor da máquina e custo com manutenção e reparos.

O valor de aquisição da máquina foi à variável que mais influenciou o custo operacional do guindaste seguido do custo com manutenção e reparos, custo com mão-de-obra e depreciação.

As variáveis que compõem os custos operacionais de cada máquina são bastante distintos, isso se deve ao fato da grande diferença no valor de aquisição das máquinas.

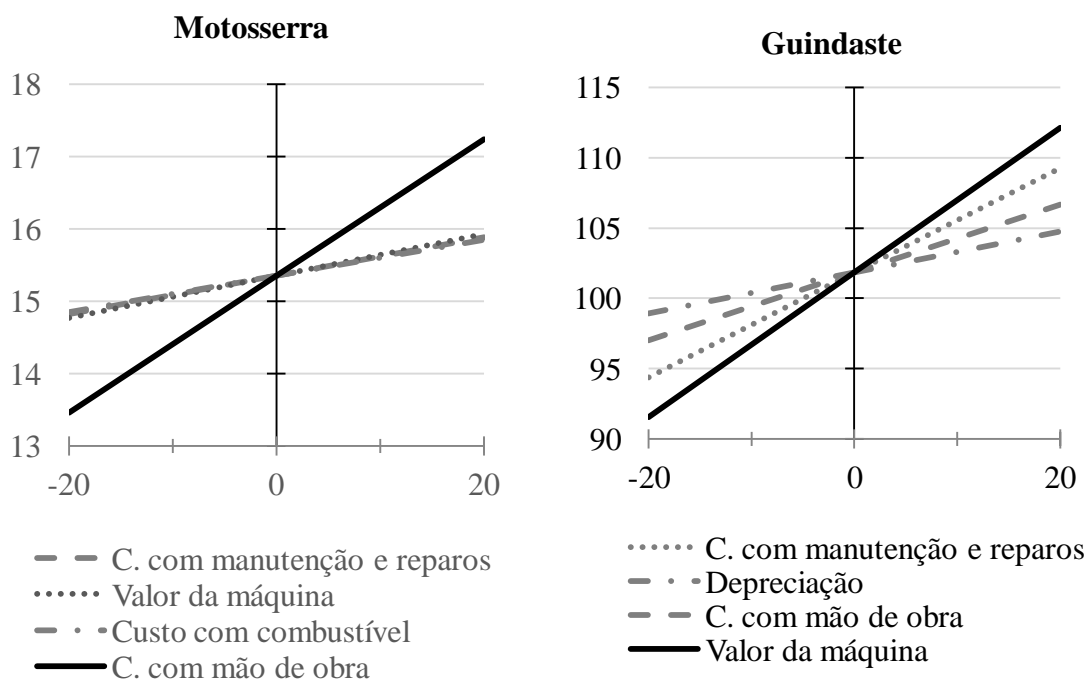


Figura 7 - Diagrama de *Spiderplot* das principais variáveis dos custos operacionais da motosserra e do guindaste, com variação das seis principais componentes do custo.

A análise de sensibilidade do módulo 4 pode ser visto na figura 8, através o diagrama de *Spiderplot*. O custo com manutenção e reparos e o custo com a aquisição da máquina estiveram presentes na análise de sensibilidade de ambas as máquinas, porém com maior expressão no custo operacional do cabo aéreo. O custo com mão-de-obra também esteve presente na análise de sensibilidade de ambas as máquinas, porém com maior influencia no custo final da motosserra.

Assim como no módulo 3 as variáveis que mais influenciaram no custo final do motosserra foram: Custo com mão-de-obra, custo com combustível, valor da máquina e o custo com manutenção e reparos.

A partir da figura 8, percebe-se, com exceção da mão-de-obra que as variáveis que compõem o custo operacional da motosserra, apresentam um ângulo de inclinação pequeno, isso é devido a pouca influência dos mesmos no custo final da máquina.

Com relação ao cabo aéreo as variáveis que mais influenciaram no custo final da máquina foram: custo com mão-de-obra, valor da máquina, depreciação e o custo com manutenção e reparos. Esses componentes são os mesmos que compõem a análise de sensibilidade do guindaste deste trabalho, isso é devido os custos operacionais das duas máquinas serem semelhantes.

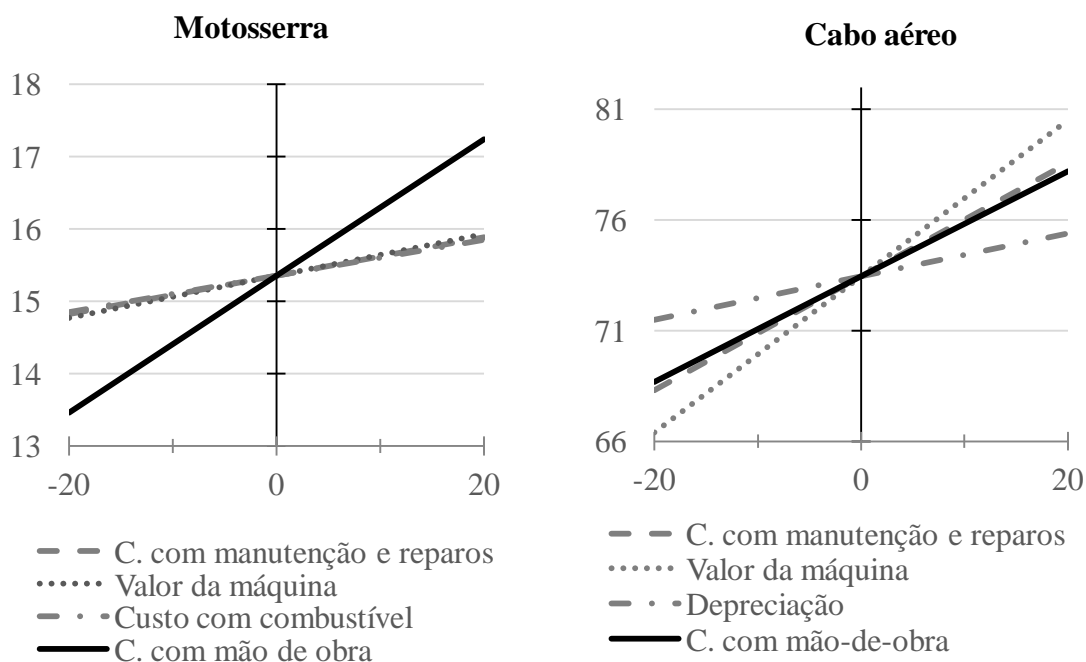


Figura 8 - Diagrama de *Spiderplot* das principais variáveis dos custos operacionais da motosserra e do cabo aéreo, com variação das seis principais componentes do custo.

5.4.Taxa Interna de Retorno

A Figura 9 evidencia o comportamento do custo, da receita bruta e da receita líquida, das máquinas florestais *harvester* e *forwarder*, sendo que os valores são expressos em dólares pela vida útil. O presente módulo apresentou uma taxa interna de retorno na casa dos 81,43% no final da vida útil de ambas as máquinas.

Parcebe-se a partir da figura 9, que a receita líquida diminui com o aumento da vida útil da máquina, sendo que tanto o *harvester* como o *forwarder* tiveram maior receita líquida, aos 2,6 anos aproximadamente, exatamente onde os custos foram menores.

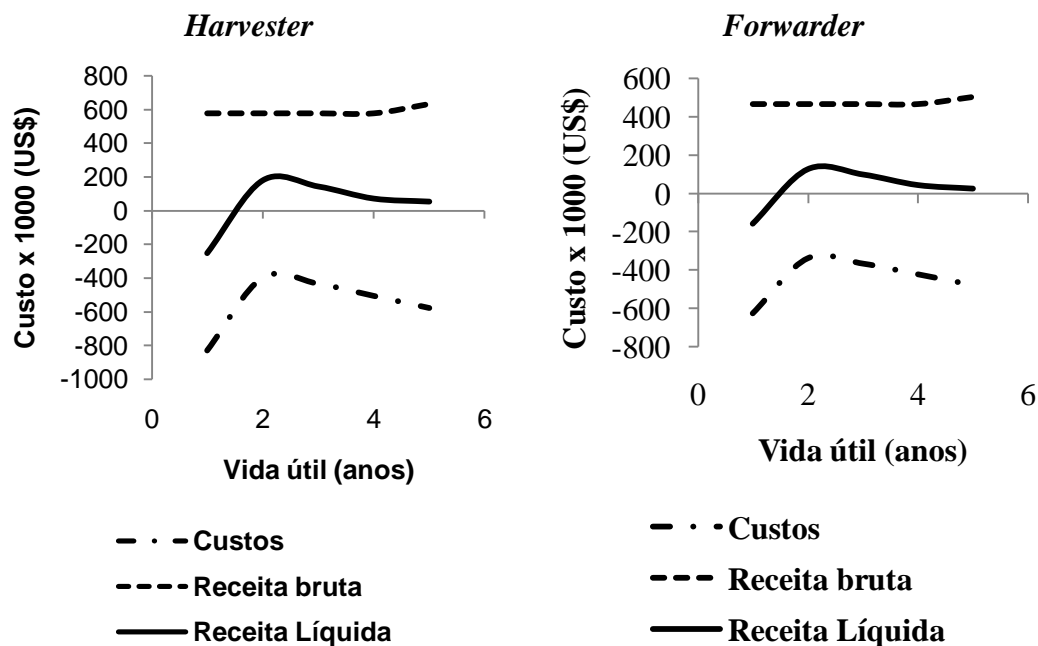


Figura 9 - Representação do custo, da receita bruta e da receita líquida, em dólar, pela vida útil das máquinas *harvester* e *forwarder*.

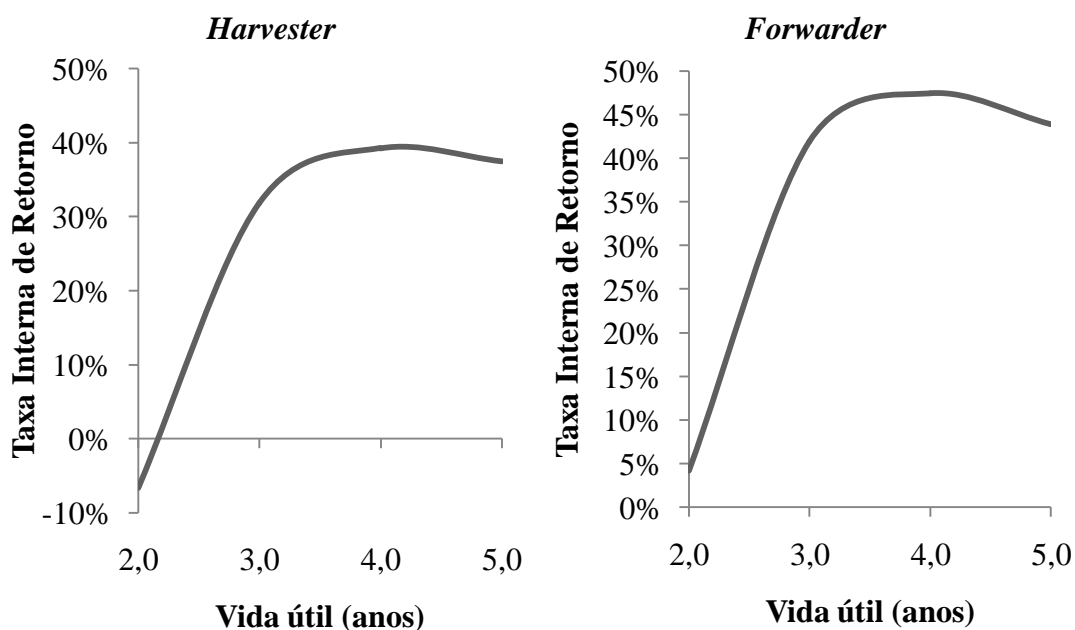


Figura 10 - Taxa interna de retorno, em função do tempo de substituição do *harvester* e *forwarder*, em anos.

No quinto ano o *forwarder* apresentou uma taxa interna de retorno de 43,96%, valor superior a do *harvester* que foi de 37,47% (Figura 10). Isso se deve ao fato do trator florestal carregador apresentar um custo menor por hectare que o *harvester*,

devido, principalmente, ao menor consumo de lubrificantes e menor custo com manutenção e reparos.

O comportamento do custo, da receita bruta e da receita líquida, do módulo 2 está sendo mostrado na figura 11, expresso em dólares pela vida útil.

Aplicando uma taxa 10% do custo de produção do sistema, sobre o valor de produção do sistema, tem-se uma taxa interna de retorno de aproximadamente 113,73%, comprovando a viabilidade do investimento.

No presente módulo a receita líquida começa a cair após o segundo ano, devido o aumento dos custos operacionais, principalmente custo com manutenção e reparos.

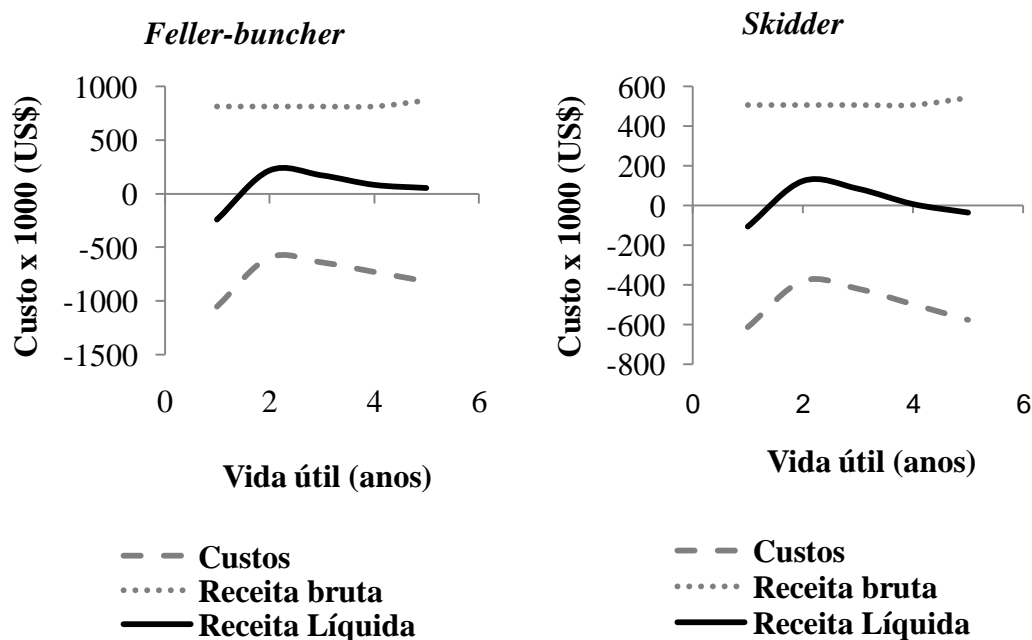


Figura 11 - Representação do custo, da receita bruta e da receita líquida, em dólar, pela vida útil das máquinas *feller-buncher* e *skidder*.

Mediante a figura 11 nota-se que a partir do 2º ano de vida útil, a receita líquida do *feller-buncher* começa a cair, isso pode ser explicado pelo aumento do custo com manutenção e reparos

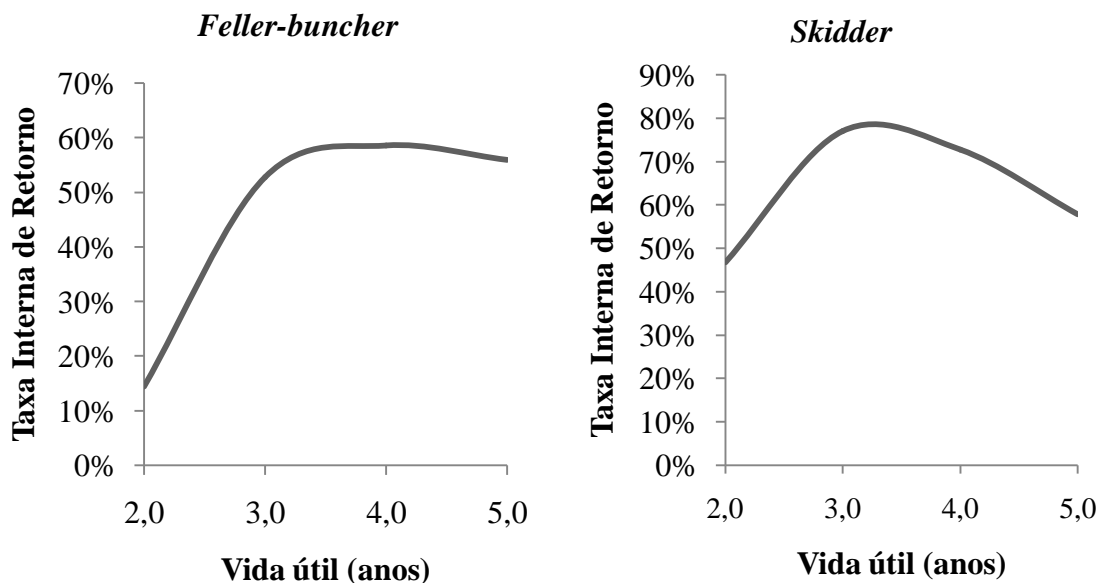


Figura 12 - Taxa interna de retorno, em função do tempo de substituição do *feller-buncher* e do *skidder*, em anos.

A partir da figura 12, percebe-se que o *skidder* apresenta uma taxa interna de retorno de 57,83% no quinto ano de operação, devido principalmente a alta produtividade da máquina e menores custos operacionais, quando comparado com o *feller-buncher*. O *feller-buncher* apresentou uma taxa interna de retorno 55,90% no quinto ano de operação.

Nota-se a partir da figura 12, que a curva da taxa interna de retorno do *skidder* após 3,5 anos aproximadamente tende a decair devido ao fim da vida útil da máquina, sendo necessária a troca da mesma.

O comportamento do custo, da receita bruta e da receita líquida, da motosserra e do guindaste (módulo 3) está sendo mostrado na figura 13, expresso em dólares pela vida útil. A partir da figura 13, percebe-se que a curva da receita líquida da motosserra e do guindaste tende a diminuir com o aumento da vida útil das máquinas.

A motosserra apresentou uma taxa interna de retorno de 34,31% no segundo ano (Figura 14), sendo que este valor caiu para 19,14% ao terceiro ano, isso indica o fim da vida útil da máquina, sendo necessário a troca da máquina. Esta rentabilidade ao segundo ano pode ser explicada pela mesma apresentar baixos custos durante sua vida útil, principalmente com manutenção e reparos. Já a taxa interna de retorno do guindaste no final da sua vida útil (10 anos) foi de 30,17%, superior a motosserra.

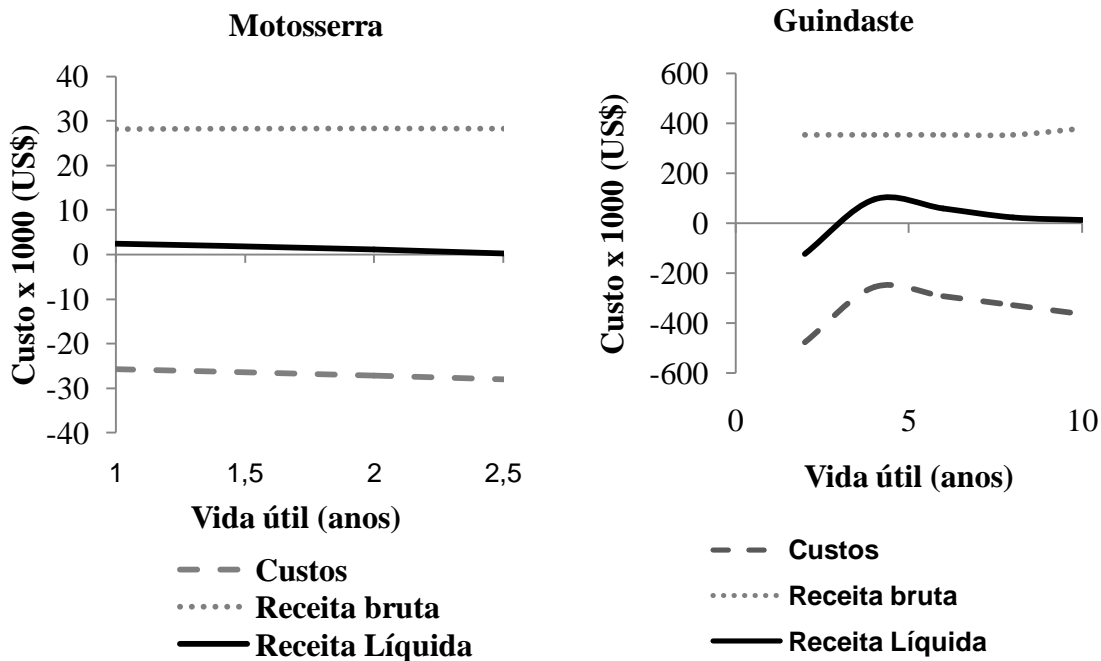


Figura 13 - Representação do custo, da receita bruta e da receita líquida, em dólar, pela vida útil das máquinas motosserra e guindaste.

A partir da figura 14, percebe-se que a motosserra tem maior taxa interna de retorno no segundo ano, em quanto o guindaste apresenta o maior valor da taxa interna de retorno no sétimo ano, isso é devido a segunda máquina ter vida útil superior a motosserra.

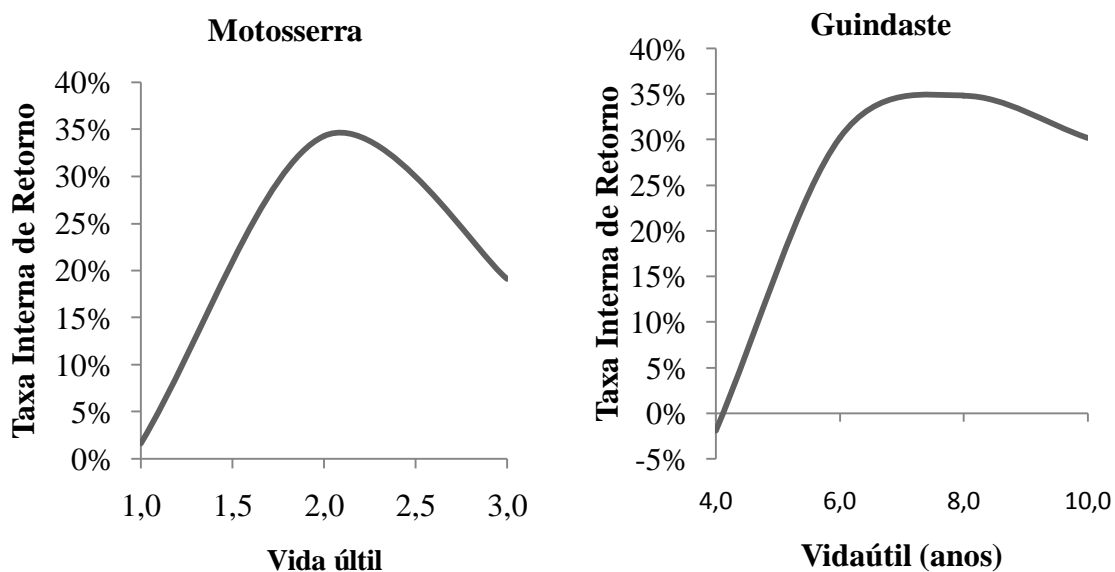


Figura 14 - Taxa interna de retorno, em função do tempo de substituição do motosserra e do guindaste, em anos.

Devido a baixa vida útil da motosserra, quando comparada com outras máquinas florestais, a curva da taxa interna de retorno não estabiliza, como é o que caso do guindaste.

O Módulo 4 apresenta uma taxa interna de retorno de 50,14%, considerando o final da vida útil de ambas as máquinas. A partir da figura 15 nota-se que a receita líquida das duas máquinas diminui com o aumento da vida útil das máquinas. A motosserra apresentou menores custos que o cabo aéreo, porém menor receita líquida devido sua baixa produtividade por hora efetiva de trabalho

A taxa interna de retorno do cabo aéreo foi de 31% no final da sua vida útil.

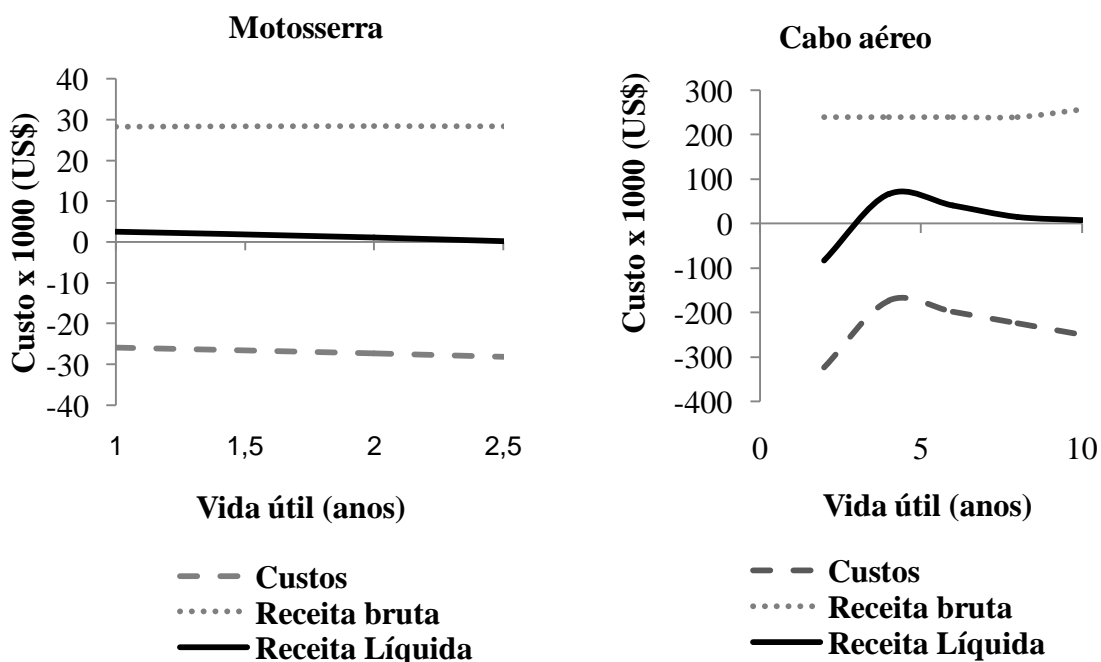


Figura 15 - Representação do custo, da receita bruta e da receita líquida, em dólar, pela vida útil das máquinas motosserra e cabo aéreo.

A curva da taxa interna de retorno do cabo aéreo tende a estabilizar após o sexto ano de uso da máquina e começa a decair após o oitavo ano, o que indica a necessidade de troca da máquina.

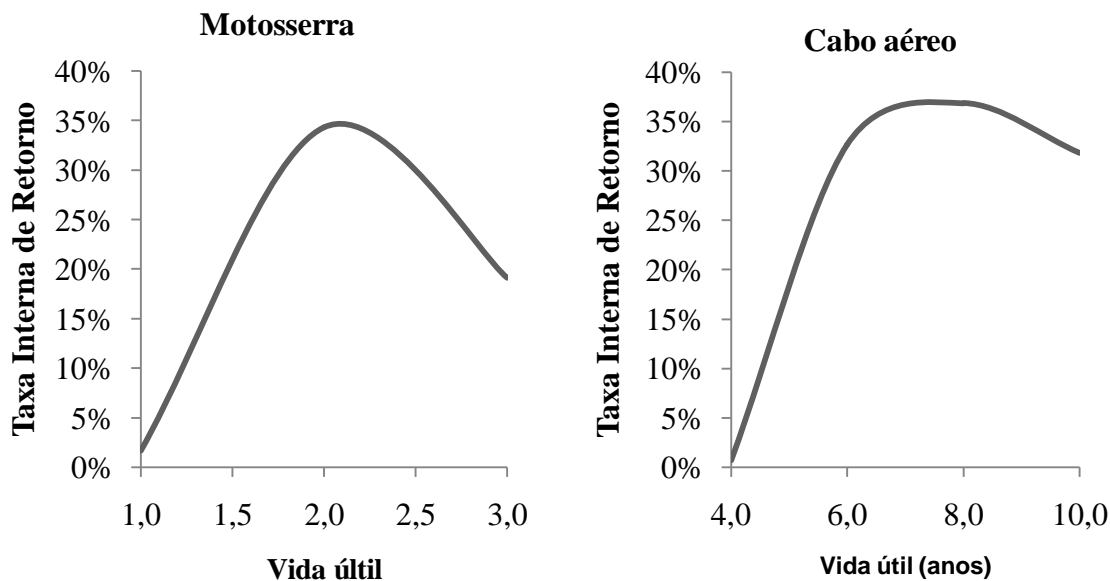


Figura 16 - Taxa interna de retorno, em função do tempo de substituição do motosserra e do cabo aéreo, em anos.

5.5. Ponto de equilíbrio

Para o módulo 1, verificou-se que o ponto em que igualam as receitas e os custos foi de 5006,16 horas ano⁻¹. Sendo que o ponto de equilíbrio do *harvester* foi de 5006,16 horas ano⁻¹ igual ao do *forwarder*.

Para o módulo 2 determinou uma quantidade mínima de uso anual das máquinas igual a 4503,08 horas efetivas por ano, sendo que o *feller-buncher* apresentou um ponto de equilíbrio igual a 5006,16 horas ano⁻¹.

Para o módulo 3 o período mínimo de operação efetiva das máquinas deve ser de 1680,50 horas efetiva ano⁻¹, caso as máquinas foram trabalhar menos que isso, se torna injustificada a compra das mesmas. A motosserra apresentou um ponto de equilíbrio igual a 1770,81 horas efetiva ano⁻¹, e o guindaste 1590,20 horas efetiva ano⁻¹.

Para o módulo 4 o tempo mínimo de operação efetiva das máquinas deve ser de 1690,31 horas efetiva ano, caso contrário é mais lucrativo alugar as máquinas. O ponto de equilíbrio do cabo aéreo foi de 1609,82 horas por ano de trabalho.

5.6. Análise comparativa

Na figura 17, encontram-se as produtividades individuais por hora efetiva de trabalho das máquinas de colheita floresta, estudadas no presente no trabalho. O *feller-buncher* com rodados de esteiras foi o que apresentou maior produtividade por hora,

seguido do *skidder*, juntas essas máquinas formaram o módulo de maior produtividade por hora efetiva de trabalho.

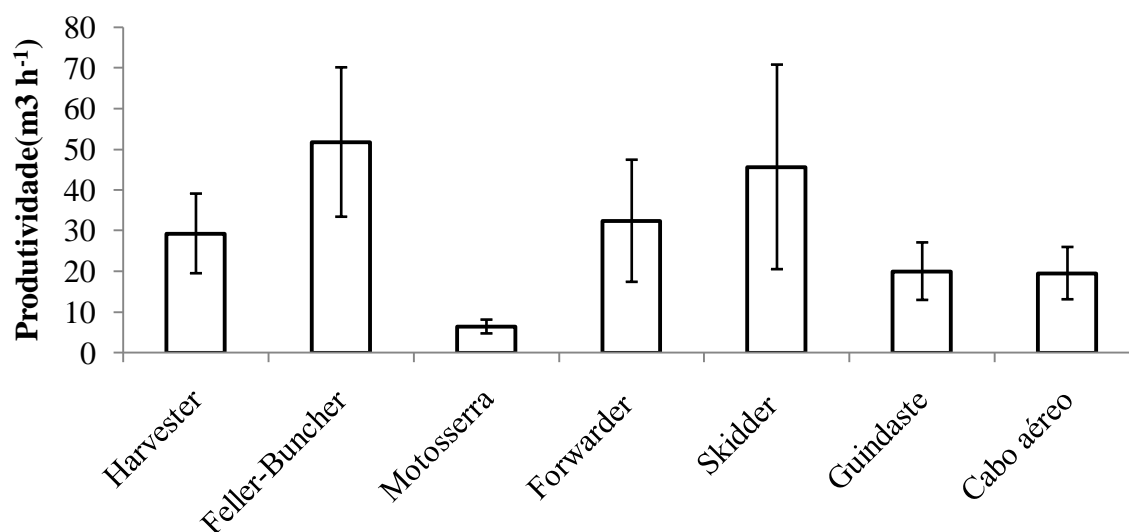


Figura 17- Custo médio de produtividade das máquinas de colheita florestal.

O módulo constituído pelas máquinas *feller-buncher* e *skidder*, apresentaram o menor custo de produção por metro cúbico (tabela 4) e a maior produtividade por hora efetiva de trabalho (figura 17), porém a madeira extraída por esse módulo não está processada (desgalhada, descascada e traçada), e a depender do fim a que se destina será necessário realizar esses processos, o que proporcionará mais custos e mais tempo de produção, porém esse sistema é amplamente utilizado por empresas no sul da Bahia.

A maior taxa interna de retorno foi obtido pelo módulo 2, devido a alta produtividade e baixo custo de produção por metro cúbico. O menor ponto de equilíbrio foi obtido pelo módulo 3. O *harvester* e o *forwarder* tiveram o maior custo de produção e o maior ponto de equilíbrio, porém a madeira extraída por esse módulo já está processada, o que reduz custos futuros.

Tabela 4 - Média do custo de produção (US\$ m⁻³), Taxa interna de Retorno (%) e ponto de equilíbrio (horas ano⁻¹), de quatro módulos de colheita florestal.

Módulos	Custo/prod. (US\$ m ⁻³)	TIR (%)	Ponto de equilíbrio (horas ano ⁻¹)
<i>Harvester e forwarder</i>	6,61	81,43	5006,16
<i>feller-buncher e skidder</i>	5,59	113,73	5006,16
motosserra e cabo aéreo	6,16	50,14	1690,31
motosserra e guindaste	7,49	48,28	1680,50

*TIR: Taxa Interna de retorno.

6. CONCLUSÕES

O sistema toras longas mecanizado, composto pelos tratores florestais *feller-buncher* e *skidder*, foi o que apresentou maior custo operacional, porém teve o menor custo de produção, porém a madeira não esta processada.

O sistema toras longas semimecanizado, formado pelo módulo motosserra e cabo aéreo teve o menor custo operacional.

O sistema toras curtas mecanizado, combinado pelas máquinas *harvester* e *forwarder* apresentou o maior custo de produção, porém a madeira já esta processada.

O sistema toras longas mecanizado, formado pelo subsistema *feler-buncher* e *skidder* teve a maior taxa interna de retorno.

O menor ponto de equilíbrio foi obtido pelo módulo 3.

O valor da máquina e o custo com manutenção e reparos foram às variáveis mais influentes no custo operacional da colheita mecanizada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ANDREON, B. C. **Análise de custos do corte florestal semimecanizado em regiões declivosas no sul do Espírito Santo**. 2011. 33 f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE FLORESTAL PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF**. 2013 ano base 2012. Brasília:ABRAF, 2013. 149 p.

BERTIN, V. A. S. **Análise de dois modais de sistemas de colheita mecanizada de eucalipto em 1º rotação**. UNESP. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). UNESP, Botucatu, 2010.

BURLA, Everson Ramos. **Avaliação técnica e econômica do “harvester” na colheita do eucalipto**. 2008. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Viçosa, Viçosa.

ESCHENBACH, T. G. Spiderplots versus Tornado diagrams for sensitivity analysis. **Interfaces**, n. 6, p. 40, 1992.

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

FREITAS, K. E. **Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada**. 2005. Monografia (Graduação Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

HARRY, G.G.; FONTES, J. M.; MACHADO, C.C.; SANTOS, S. L. Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de máquinas florestais. In: Simpósio brasileiro sobre exploração e transporte florestal, 1., 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFV/SIF, 1991. p. 57-75.

HELOISE, L. P. B. **Estudo de tempo e rendimento da motosserra considerando fatores ergonômicos numa exploração florestal na Amazônia central**. 2008. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

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

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

LEITE, E. S. et al. Avaliação do estudo de tempo e movimentos, produtividade e custo de produção no processo de corte semimecanizado em plantios de eucalipto. **Magistra**, Cruz das Almas-BA, v. 25, n. 2, p. 84-93, abr./jun. 2013.

LEITE, E. S. et al. Utilização de guindaste na extração de madeira em região montanhosa. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.1, p.195-201, 2012.

LOPES, E. S.; RODRIGUES, C. K.; CARMO, F. C.; FIEDLER, N. C.; OLIVEIRA, D. Avaliação técnica e de custos de um sistema de cabos aéreos na extração de *Pinus taeda* L. em região montanhosa. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 387-394, 2011.

LOPES, Sebastião Eudes. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal**. 2007. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MACHADO, C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. O setor florestal brasileira e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 2ed. Viçosa-MG: UFV, 2008. P. 66-96.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Ciência do trabalho florestal**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1988. 65 p.

MACHADO, C.C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal**. Viçosa-MG, UFV, Imprensa Universitária, 1984, 138 p.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R.; YAMAJI, F. M. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. **Floresta**, Curitiba, v.36, n.2, p.169-182, 2006.

MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A. **Evolução dos sistemas de colheita de Pinus na Região Sul do Brasil**. Curitiba, FUPEF, 1998. 138p.

MALINOVSKI, J. R.; et al. Sistemas. In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 2ed. Viçosa-MG: UFV, 2008. P. 161-184.

- MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 370 p.
- NASCIMENTO, A. C.; et al. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com feller-buncher. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 9-15, jan./mar. 2011.
- NOVAIS, Luciana Fernandes. **Análise da Colheita Florestal mecanizada em povoamentos de Eucalyptusspp na região de Coronel Fabriciano – MG**. 2006. 33 p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- PENNA, Eduardo Silva. **Avaliação ergonômica e ambiental de cabos aéreos na colheita de pinus em Cerro Azul, PR**. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Cerro Azul, PR.
- PAULA, Elizabeth Neire Silva Oliveira. **Avaliação técnica, de custos e ambiental de dois modelos de harvester na colheita florestal**. 2011. 83 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- ROBERT, Renato Cesar Gonçalves. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita mecanizada em plantios de Eucalyptusspp. em duas condições de relevo acidentado**. 2013. 113 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- RODRIGUES, Paolo Monte Cruz. **Levantamento dos riscos dos operadores de motosserra na exploração de uma floresta nativa**. 2004. 82 f. Monografia (Engenharia de segurança no trabalho) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.
- SALMERON, A. **A mecanização da exploração florestal**. Piracicaba: IPEF, 1980. (Circular Técnico, 88).
- SANT'ANNA, C. M. Corte. In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 2ed. Viçosa-MG: UFV, 2008. P. 66-96.
- SEIXAS, F. Extração. In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 2ed. Viçosa-MG: UFV, 2008. P. 97-145.
- SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 178 p.
- SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de madeira em povoamentos de eucalipto de primeiro corte. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 711-720, out./dez. 2010a
- SIMÕES, D. et al. Custo e rendimento operacionais da extração de madeira de eucalipto com cavo aéreo. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 2, p. 185-192, abr./jun. 2010.

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

SPEIDEL, G. **Economia florestal**. Curitiba: UFPR, 1966. 167 p.

SPINELLI, R.; HARTSOUGH, B. R.; OWENDE, P. M. O.; WARD, S. M. Productivity and cost of mechanized whole-tree harvesting of fast-growing eucalypt stands. **International Journal of Forest Engineering**. v.13, n2, p. 49-60, 2002.