

Análise técnica-econômica de sistemas de colheita: toras curtas e toras longas sob métodos mecanizado e semimecanizado

¹Diego Wesley Ferreira Nascimento Santos, ²Elton Silva Leite, ²Deoclides Ricardo Souza,
¹Haroldo Carlos Fernandes

¹ Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Harry Rolfs, s/n, Centro, CEP 36570.900, Viçosa, MG, Brasil. E-mails: diegowesley89@gmail.com, Haroldo@ufv.br

² Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Campus de Cruz das Almas, Rua Ruy Barbosa, 710, Centro, CEP 44380.000, Cruz das Almas, BA, Brasil. E-mails: eltonsilva@gmail.com, drsouza@ufrb.edu.br

Resumo: Os custos de colheita florestal apresentam destaques nas empresas devido a sua importância, sendo necessário realizar avaliações que possibilitem otimizar economicamente os maquinários. O presente trabalho teve como objetivo avaliar técnico-economicamente sistemas de colheita de toras curtas e toras longas sob método mecanizado e semi-mecanizado. 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 semi-mecanizado (motosserra e guindaste) e 4) toras longas semi-mecanizado (motosserra e cabo aéreo). A análise baseou-se na determinação dos custos operacionais, custo de produção, análise de sensibilidade, taxa interna de retorno e ponto de equilíbrio. O valor de aquisição das máquinas e o custo com manutenção e reparos foram às variáveis mais influentes no custo operacional do sistema mecanizado, com relação ao método semi-mecanizado as variáveis mais influentes foram: valor de aquisição das máquinas e o custo com mão-de-obra. O maior custo operacional por hora efetiva de trabalho foi para o módulo 2, porém apresentou o menor custo de produção. O módulo 3 teve o menor custo operacional e teve a maior taxa interna de retorno. O módulo 4 apresentou o menor ponto de equilíbrio, evidenciando maior flexibilidade de operação.

Palavras chave: Ponto de equilíbrio, Colheita florestal, Custos

Technical-economic analysis of systems of harvest: short logs and long log under mechanized and semimechanized methods

Abstract: The costs of forest harvesting have featured in companies due to its importance, and it is necessary to carry out assessments that enables economically optimize machinery. This study aimed to assess techno-economical systems of harvest of short and long logs under mechanized and semi-mechanized methods. Four modules of forest harvest were evaluated : 1) short log mechanized (*harvester* and *forwarder*) ; 2) long log mechanized (*feller - buncher* and *skidder*); 3) short log semi-mechanized (*chainsaw* and *crane*), and 4) long log semi-mechanized (*chainsaw air* and *cable*) . The analysis was based on the determination of operating costs, cost of production, internal rate of return and equilibrium. The cost of the machine and the cost of maintenance and repairs were the most influential variables in the operating cost of the mechanized system, with regard to semi-mechanized method the most influential variables were the value of machines and the cost of manual labor. The largest operating cost per effective working hour was for module 2, but they showed the lowest production cost . Module 3 had the lowest operating costs and had the highest internal rate of return. Module 4 had the lowest breakeven point, showing greater flexibility of operation.

Keywords: Equilibrium point, Forest Harvesting, Costs

Introdução

As boas condições edafoclimáticas de cultivo, os altos investimentos e o desenvolvimento de tecnologias fizeram com que o Brasil atingisse 6,6 milhões de hectares de floresta plantada em 2012 de acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas [ABRAF], (2013). A mecanização do setor foi um dos fatores que mais contribuiu para que o país atingisse 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 destaca-se sua importância 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 semi mecanizada e mecanizada (Machado & Lopes, 2000).

A colheita semi mecanizada 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 do método das atividades, a colheita florestal pode ser realizada por diferentes tipos de sistemas, destacando-se pela utilização, o sistema toras curtas (*cut-to-length*) e o sistema toras longas (*tree-length*).

O sistema toras curtas é o mais utilizado no Brasil, principalmente por empresas produtoras de celulose, sendo que a árvore é processada no local do corte (Malinovski et al., 2008). No sistema toras longas, as árvores são extraídas para a beira da estrada sem que ocorra o processamento das mesmas (Malinovski et al., 2008). Em ambos os sistemas podem ser utilizadas 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.

O conhecimento dos custos operacionais das máquinas torna-se 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 aquisição ou a contratação terceirizada.

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 estudos econômicos. Mediante isso objetivou-se com o presente trabalho analisar técnico-economicamente os sistemas de colheita de toras curtas e toras longas sob os métodos: mecanizado e semi-mecanizado.

Material e métodos

Módulos de colheita

O estudo constituiu-se pela análise de quatro módulos de colheita. Módulo 1, utilizou o *harvester* da marca John Deere, modelo 1270 e o *forwarder* da marca John Deere, modelo 1710. O módulo 2, utilizou o *feller-buncher* de esteira da marca John Deere, modelo 953k e o *skidder* de garras da marca John Deere, modelo 748H. O módulo 3, utilizou a motosserra da marca Stihl, modelo MS 360 e o guindaste da marca Terex, modelo RT 230. O módulo 4, utilizou a motosserra da marca Stihl, modelo MS 360 e o cabo aéreo marca Penzsaure, modelo K301 T.

Custos operacionais

Os custos operacionais foram estimados com base em dados fornecidos por fabricantes de máquinas florestais e empresas do setor florestal. Os valores das variáveis estão apresentados na Tabela 1. Utilizou-se a taxa de câmbio, Dólar (R\$ 2,34), cotados em 12 de dezembro de 2013.

O custo total compreendeu pelo somatório do custo fixo e do custo variável e expressos em dólares por hora efetiva de trabalho (US\$ h⁻¹), segundo a metodologia usada por Leite et al. (2013b), adaptada de American Society of Agricultural Engineers [ASAE], (2001). O custo de mão-de-obra da motosserra foi somado com os custos de equipamentos de segurança e materiais auxiliares. O guindaste e cabo aéreo não apresentam substituições de pneus por operarem estacionária.

Custo de produção

Para obtenção da produtividade média das máquinas foi realizada uma revisão de literatura

de 17 artigos (Tabela 1). O custo de produção foi determinado pelo quociente do custo operacional e produtividade.

Tabela 1 - Valores das variáveis de estudo utilizadas para determinar o custo operacional das máquinas e relação de revisão dos custos operacionais e produtividade das máquinas.

Variáveis	<i>harvester</i>	<i>forwarder</i>	<i>feller-buncher</i>	<i>skidder</i>	Motosserra	Guindaste	Cabo aéreo
Va (US\$)	540.000,00	370.000,00	593.000,00	350.000,00	1000,00	106.837,61	175.213,68
Vr (US\$)	54.000,00	37.000,00	59.300,00	35.000,00	84,68	10.683,76	41.000,00
He (h)	3.993,00	3.993,00	3993,00	3.993,00	1.770,81	1.590,20	1.609,82
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	0,81	0,82
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	4,56	3,00
ll	0,20	0,20	0,30	0,15	0,60	0,15	0,10
lo	0,20	0,20	0,30	0,15	0,27	1,10	0,05
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	0,003	0,30	0,003	0,003
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	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	5,00	5,00
Máquinas	Custo/hora (US\$ h ⁻¹)		Produtividade (m ³ h ⁻¹)		Custo/prod. (US\$m ⁻³)		Fonte ano
<i>Harvester</i>	145,29		31,5		4,62		Leite et al. 2014
	92,50		43,48		2,13		Simões et al. 2010a
	87,19-93,80		18,57-19,88		4,69-4,71		Paula 2011
	145,36		14-40		3,5-8,0		Leite 2012a
	130,42		28,7		4,53		Robert 2013
<i>Feller-buncher</i>	112,34		48,8		2,27		Nascimento et al. 2011
	86,26		70,03-81,75		1,23-1,6		Simões, et al 2010b
	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 2012a
<i>Skidder</i>	89,00		22,00		4,0		Spinelliet al. 2002
	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 2009
	80,90		9,55-23,58		3,43-8,47		Simões 2010c
	92,09		25,3		3,65		Lopes et al. 2011

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; ll = índice de lubrificantes; lo = índice de óleo; Vpe = preço do pneu e ou esteira; Hpe = vida útil do pneu e ou esteira; Npe = número de pneus 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).

Análise de sensibilidade

Para este cálculo considerou-se uma variação de 40% (20% para mais e para menos) nos valores dos principais componentes do custo operacional. A partir desses dados, foi apresentado graficamente as curvas.

Taxa Interna de Retorno

A TIR foi determinada por meio da metodologia citada por, Silva et al. (2005), expressa de forma porcentual, sendo simulado uma receita líquida de 10% sobre o custo de produção.

Ponto de equilíbrio

Para obtenção do ponto de equilíbrio, utilizou-se a equação 1.

$$H = \frac{CF \cdot He}{(PU \cdot PM) - CV}$$

(1)

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).

Resultados e discussão

Custo de produção e custo operacional.

O custo de produção e as distribuições dos custos operacionais das máquinas estudadas estão apresentados na Tabela 2.

O módulo 1 apresentou um operacional de US\$ 195,46 h⁻¹ (R\$ 457,61 h⁻¹) e custo de produção igual a US\$ 6,34 m⁻³ sem casca. O trator florestal *harvester* foi mais representativo no custo final, representando 59% do custo de produção e 57% custo operacional.

Tabela 2 - Componentes dos custos operacionais das máquinas estudadas, em dólares por hora efetiva de trabalho.

Custos	Máquinas						
	<i>Harvester</i>	<i>Forwarder</i>	<i>Feller-buncher</i>	<i>Skidder</i>	Motoserra	Guindaste	Cabo aéreo
Depreciação US\$	24,34	16,68	26,73	15,78	0,20	6,05	9,80
Juros, seguros e impostos US\$	10,38	7,12	11,40	6,73	0,05	4,80	7,77
Abrigo US\$	1,01	0,69	1,11	0,66	0,01	0,50	0,82
Taxas administrativas US\$	1,35	0,93	1,48	0,88	0,03	0,67	1,09
Custo Fixo total US\$	37,09	25,41	40,73	24,04	0,29	12,02	19,47
Combustível US\$	17,09	14,96	32,05	19,23	1,34	11,40	3,21
Lubrificantes US\$	3,42	2,99	9,62	2,88	0,80	0,73	0,32
Óleo hidráulico US\$	3,42	2,99	9,62	2,88	0,36	5,36	0,16
Custo de pneus US\$	2,16	2,88	2,67	2,00	0,00	0,00	0,00
Manutenção e reparos US\$	40,11	27,48	44,05	26,00	2,66	6,63	9,48
Mão-de-obra US\$	6,99	6,99	6,99	6,99	9,45	24,12	23,83
Transporte de pessoal US\$	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Transporte de maquinário US\$	0,34	0,34	0,34	0,34	0,00	0,34	0,34
Custo variável US\$	73,98	59,08	105,78	60,77	15,06	42,50	37,78
Custo total US\$	111,07	84,49	146,51	84,81	15,35	54,52	57,25
Custo de produção US\$	3,73	2,61	3,00	1,86	2,40	3,87	2,93

O custo de produção do *harvester* determinado no presente trabalho é equivalente ao encontrada por Paula, (2011), porém difere do encontrado por Robert, (2013), em razão de o autor ter realizado o estudo em terrenos acidentados, o que diminuiu a produtividade e como consequência aumentou o custo de produção.

O custo operacional do *harvester* deste trabalho é semelhante com o encontrado por Robert (2013), porém Leite (2013b) e Burla (2008), encontraram valores acima aos deste trabalho, esta dissimilaridade pode ser explicada devido aos autores terem acrescentado o custo com transporte de combustível até as máquinas.

Com relação ao custo de produção do *forwarder* percebe-se que o resultado desse trabalho é similar com os resultados encontrados Moreira (2000), Oliveira (2009) e Robert (2013). Simões e Fenner (2010d) determinaram um custo de produção inferior ao do presente trabalho, em virtude dos autores terem realizado a pesquisa com uma distância de extração relativamente pequena, o que aumentou a produtividade e reduziu o custo de produção.

Para o módulo 2 chegou-se a um custo de produção igual a US\$ 4,86 m⁻³ com casca e custo operacional de US\$ 231,32 h⁻¹, sendo o *feller-buncher* responsável por 62% do custo de produção e 58% do custo operacional. Os custos variáveis corresponderam a 72% do custo operacional do subsistema, sendo o custo com manutenção e reparos os mais representativos com 30%, devido, principalmente, ao elevado valor de aquisição das máquinas, seguido do custo com combustível 22% e depreciação 18%.

O custo de produção do *feller-buncher* do atual trabalho é equivalente com os custos de produção estimados por Lopes (2007) e Fernandes et al., (2009). Entretanto, Nascimento et al., (2011) encontraram custo operacional diferente do encontrado na presente pesquisa, fato explicado pela diferença entre as máquinas, porém o custo com manutenção e reparos da máquina avaliada pelos autores representou 21% do custo total, seguido do custo com combustível 20% e depreciação 17%, resultados semelhantes com os obtidos no vigente trabalho.

Lopes (2007) estabeleceu um custo de produção para o *skidder* similar com o desta pesquisa, entretanto é superior ao encontrado por Moreira (2000) e Fernandes et al., (2009), em razão dos ensaios terem sido realizados com

menor distância de extração, fato que aumentou a produtividade e diminui o custo de produção.

Oliveira et al., (2010), ao avaliarem um *skidder*, encontraram um custo operacional equivalente com o resultado da vigente pesquisa, porém Moreira (2000) encontrou um custo inferior, em virtude do autor ter utilizado um valor de aquisição da máquina 2,3 vezes menor que o utilizado no presente trabalho, além disso, o autor considerou o salário do operador 3,2 vezes inferior.

Estimou-se para o módulo 3 o custo de produção de US\$ 6,27 m⁻³ com casca (R\$ 14,68) e o custo operacional por hora efetiva de trabalho igual a US\$ 69,67 (R\$ 163,03 h⁻¹). O guindaste representou 62% do custo de produção e 78,26% do custo operacional. Os custos variáveis representaram 83% e os custos fixos 17% do custo operacional do subsistema, destacando o custo com mão-de-obra 48%, seguido do custo com manutenção e reparos 13%.

Com relação ao guindaste, ambos os custos desse trabalho se assemelham com os encontrados por Leite et al. (2012b).

Verificou-se que o custo de produção da motosserra do presente trabalho é semelhante com o encontrado por Andreon (2011) e Leite et al., (2013).

Batista (2008) e Leite et al. (2013), ao avaliarem o custo operacional da motosserra, determinaram valores que se assemelham com o do presente trabalho. Entretanto Andreon (2011) encontrou valor superior ao deste trabalho, esse fato pode ser explicado, pois o autor estimou uma vida útil da máquina inferior a estimada na atual pesquisa.

Para o módulo 4, o custo de produção foi de US\$ 5,33 m⁻³ com casca (R\$ 12,47 h⁻¹) e o custo operacional foi de US\$ 72,60 h⁻¹ (R\$ 169,88 h⁻¹). O cabo aéreo correspondeu 55% do custo de produção e 79% do custo operacional. O custo de mão-de-obra representou 46% do custo final do módulo, seguido de manutenção e reparos (17%), depreciação (14%).

Simões et al., (2010c) e Lopes et al., (2011) ao realizarem um estudo com um cabo aéreo *penzsa* determinaram o custo de produção e custo operacional superior ao da vigente pesquisa, explicado pelo fato de que os autores consideraram seis operadores para realizar as operações. O acréscimo de um operador no presente trabalho acarretaria um aumento de 9% no custo final.

O módulo constituído pelas máquinas *feller-buncher* e *skidder*, apresentou o menor custo de produção por metro cúbico e a maior produtividade por hora efetiva de trabalho, 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 adicionará mais custo, podendo torná-lo inviável em virtude de menor custo de outras máquinas.

Análise de sensibilidade

O diagrama de *Spiderplot* está representado na Figura 1 com as principais variáveis do custo operacional dos módulos.

Nota-se que para o *harvester*, *feller-buncher*, *forwarder* e *skidder* a variável valor da máquina foi a que proporcionou maior impacto no custo operacional, seguido pela manutenção e reparos, combustível e depreciação.

A análise de sensibilidade do *harvester* e do *forwarder* do atual trabalho é semelhante com análises realizadas por Leite (2012a) e Robert (2013), evidenciando a variável valor de aquisição da máquina, como a de maior importância.

A análise de sensibilidade do *feller-buncher* e do *skidder* é bastante equivalente a análise das máquinas do módulo 1, essa semelhança é em consequência dessas máquinas terem características de consumo, manutenção, depreciação e valor aquisição similares.

Ao avaliar a análise de sensibilidade do módulo 3, percebe-se que o custo com mão-de-obra é a variável mais influente em ambas as máquinas.

Com relação a motosserra os componentes que mais influenciaram no custo final foram: custo com mão-de-obra, combustível, valor da máquina e manutenção e reparos, sendo que a mão-de-obra apresenta maior ângulo de inclinação, tendo maior influência no custo final. Na avaliação do guindaste os custos que apresentaram maior ângulo de inclinação em ordem decrescente foram: mão-de-obra, valor da máquina, combustível e manutenção e reparos.

Para o cabo aéreo as variáveis de maior influência foram o valor da máquina, custo com mão-de-obra, depreciação e manutenção e reparos, resultado semelhante com o determinado por Oliveira (2009).

Taxa Interna de retorno

A Figura 2 evidencia o comportamento do custo, da receita bruta e da receita líquida, das máquinas florestais, sendo que os valores estão expressos em dólares pelo tempo de operação

em anos. Observa-se que as máquinas *harvester*, *forwarder*, *feller-buncher* e *skidder* tiveram maior receita líquida entre o segundo e o terceiro ano. A motosserra apresentou maior receita líquida no primeiro ano de vida útil, devido, ao seu baixo custo de aquisição e menor período de operação, principalmente. O cabo aéreo e o guindaste apresentaram maior receita líquida entre o quarto e o quinto ano de vida útil.

O módulo 1 apresentou uma taxa interna de retorno média de 16%. O *forwarder* apresentou uma taxa interna de retorno, aos 5 anos, de 36%, valor superior a do *harvester* que foi de 31%, no mesmo ano. Isso se deve ao fato do *forwarder* apresentar um custo menor por volume de madeira que o *harvester*, devido, principalmente, ao menor consumo de lubrificantes e menor custo com manutenção e reparos.

A TIR do módulo 1 do vigente trabalho é superior ao TIR apresentada por Leite (2012a), em razão do autor ter avaliado as máquinas em terrenos acidentados o que eleva os custos e diminuiu a produtividade.

O módulo 2 obteve a taxa interna de retorno média de 20%, comprovando a viabilidade do investimento. A partir da Figura 3, percebe-se que o *skidder* apresenta taxa interna de retorno semelhante ao apresentado pelo *feller-buncher* no quinto ano, devido principalmente a alta produtividade das máquinas, porém a TIR do *skidder* após o quinto ano tende a decair indicando o fim da vida útil da máquina, sendo necessária a troca da mesma.

A motosserra apresentou a TIR de 35% no segundo ano (Figura 3), sendo que este valor caiu para 19,14% ao terceiro ano, isso indica término de sua vida útil, sendo necessário a troca da máquina a cada 2,3 anos para obter a maior TIR. Já a TIR do guindaste foi de 55% aos 10 anos, sendo que o cabo aéreo apresentou resultado similar, e verifica-se que após os 10 anos de vida útil das máquinas a curva da TIR continua em ascensão, podendo apresentar taxa superior aos 10 anos (Figura 3).

O cabo aéreo apresentou uma TIR de 34% no décimo ano de vida útil.

Ponto de equilíbrio

Para o módulo 1, verificou-se que o ponto em que as receitas se igualam aos custos foi de 3.035,20 horas ano⁻¹. Analisando individualmente as máquinas, obteve-se um ponto de equilíbrio de 3.073,28 horas ano⁻¹ para o *harvester* e de

2.997,13 horas ano⁻¹ para o *forwarder*, evidenciando a similaridade das máquinas.

O ponto de equilíbrio das máquinas do módulo 1 é inferior ao ponto de equilíbrio do trabalho de Leite (2012a), devido o autor ter calculado maiores custos fixo e variável.

Para o módulo 2 a quantidade mínima de uso anual das máquinas foi de 2.944,58 horas efetivas por ano, sendo que o *feller-buncher* apresentou um ponto de equilíbrio similar ao *skidder*.

Para o módulo 3 o período mínimo de operação efetiva das máquinas deve ser de 830,15 horas efetiva ano⁻¹. A motosserra apresentou um ponto de equilíbrio igual a 566,32 horas efetiva ano⁻¹, e o guindaste 1093,98 horas efetivas ano⁻¹.

Para o módulo 4 o tempo mínimo de operação efetiva das máquinas foi de 653,04 horas efetiva ano. O ponto de equilíbrio do cabo aéreo foi de 739,76 horas por ano de trabalho. Caso as máquinas forem operar em valores abaixo do estimado, não se justifica a compra das mesmas, podendo viabilizar o aluguel ou terceirização da atividade.

A baixa quantidade de horas efetivas de uso anual, associada ao baixo custo operacional, proporcionou a motosserra o menor ponto de

equilíbrio dentre as máquinas estudadas.

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.

O sistema toras curtas semi-mecanizado, módulo composto pela motosserra e guindaste teve o menor custo operacional.

O sistema toras curtas mecanizado, combinado pelas máquinas *harvester* e *forwarder* apresentou o maior custo de produção, justificado devido ao módulo realizar o processamento completo da madeira.

O sistema toras curtas semi mecanizado, formado pelo subsistema motosserra e guindaste teve a maior taxa interna de retorno.

O módulo 4, constituído pela motosserra e cabo aéreo, apresentou maior flexibilidade de operação, explicado pelo menor ponto de equilíbrio.

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

Figura 1 - Custo operacional por hora efetiva de trabalho (y), com variação de 20% para mais e para menos (x).

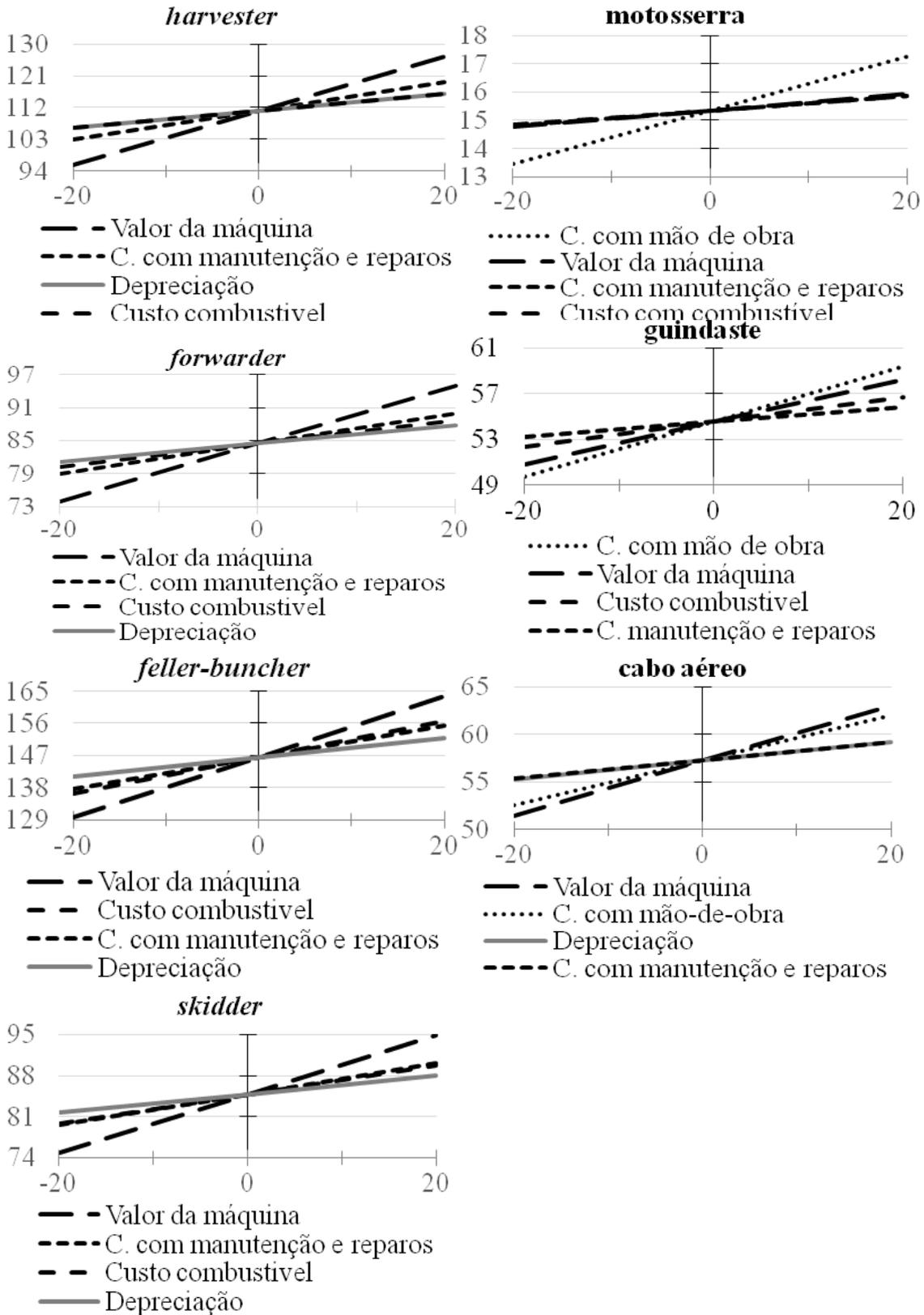


Figura 2 - Representação do custo, da receita bruta e da receita líquida, em dólar, pela vida útil das máquinas estudadas.

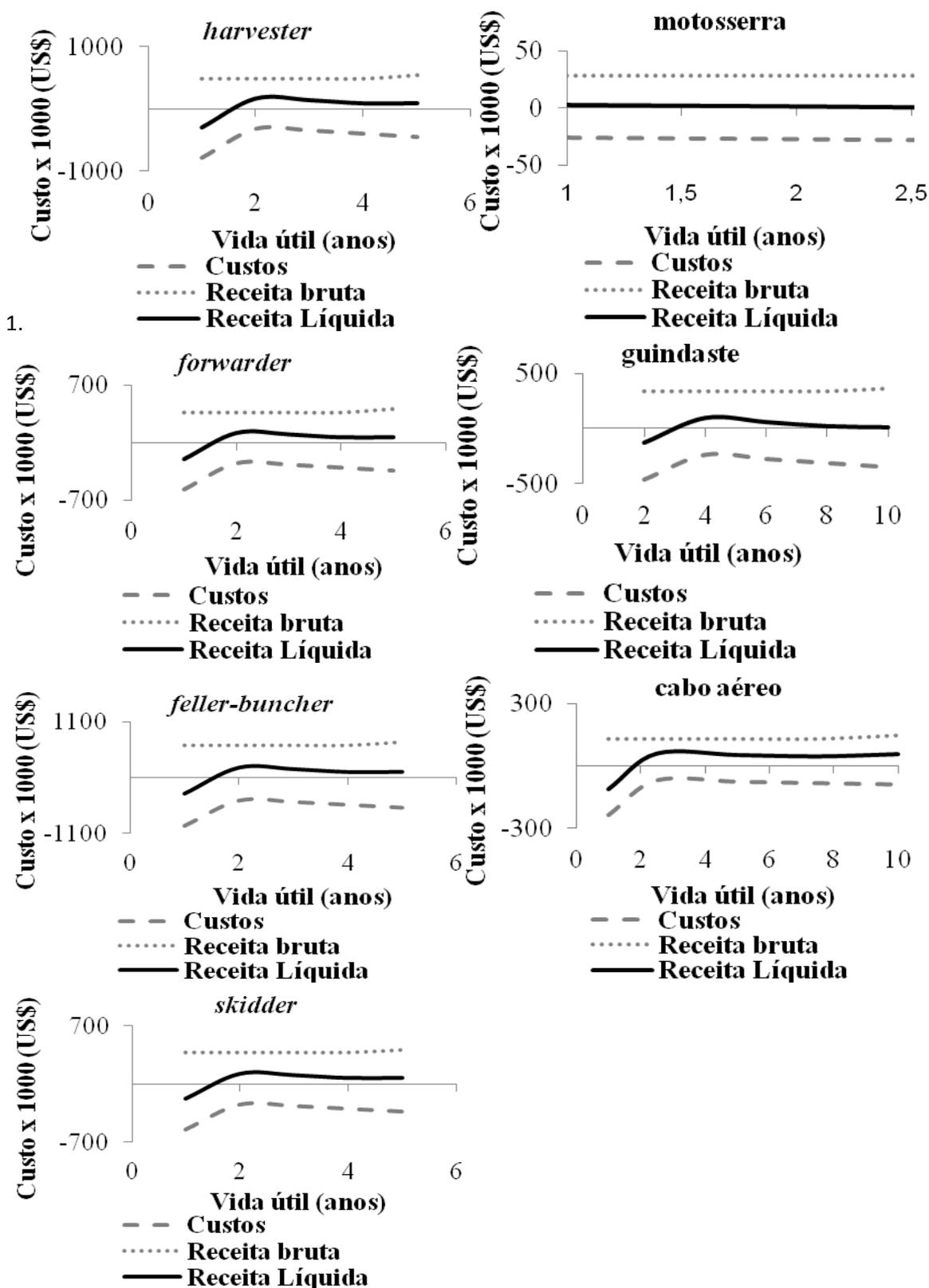
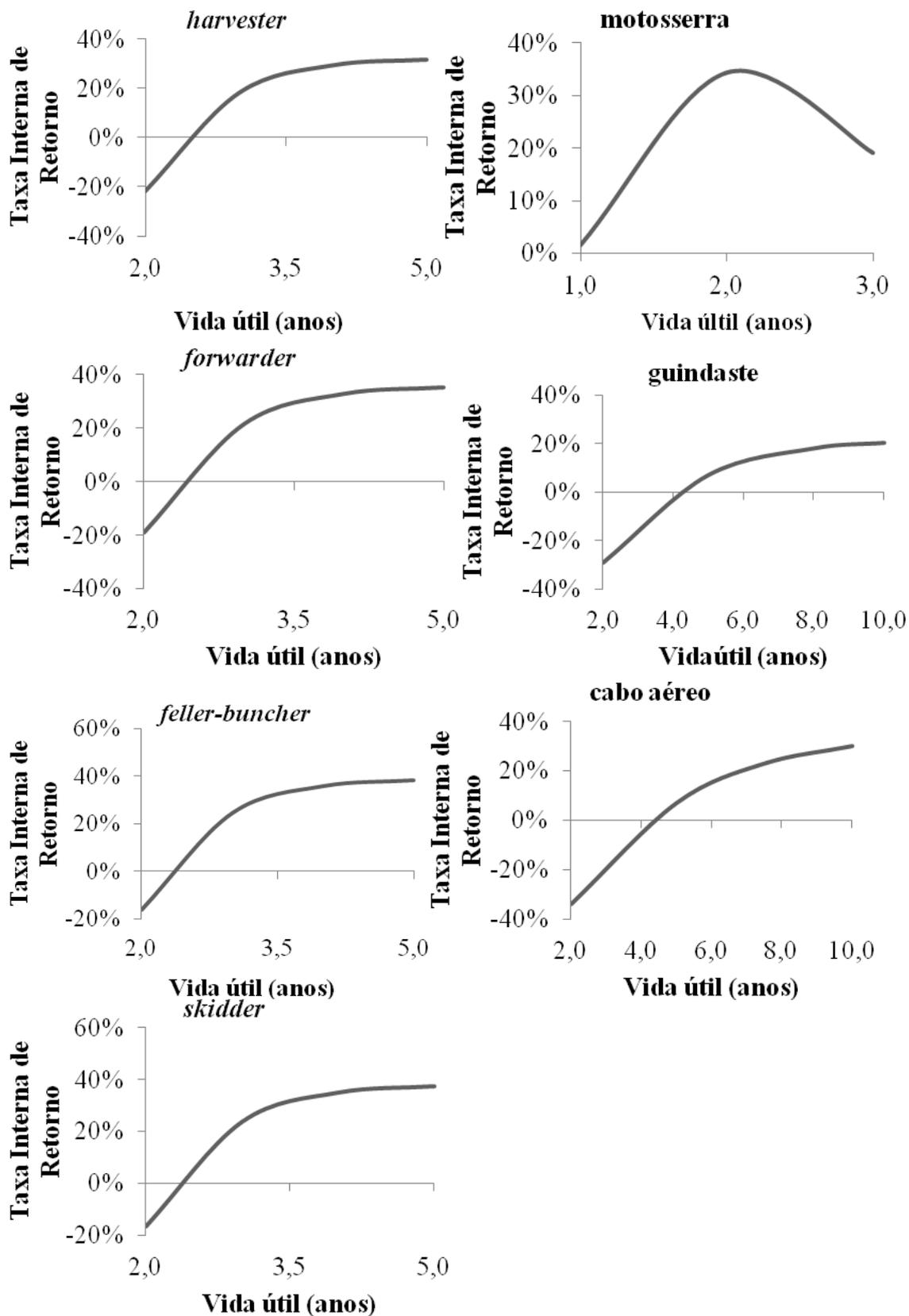


Figura 3 - Taxa interna de retorno, em função do tempo de substituição das máquinas estudadas, em anos.



Referências

- American Society of Agricultural Engineers. (2001). *ASAE standards 2001: machinery, equipment and buildings: operating costs* (pp. 164-226). Iowa: Ames.
- Andreon, B. C. (2011). *Análise de custos do corte florestal semi mecanizado em regiões declivosas no sul do Espírito Santo*. (33f). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, SP, Brasil.
- Associação Brasileira de Produtos de Florestas Plantadas (2013). *Anuário estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012* (149p). Brasília.
- Batista, H. L. (2008). *Estudo do tempo e rendimento da motosserra considerando fatores ergonômicos numa exploração florestal na Amazônia central* (101f). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil.
- Burla, E. R. (2008). *Avaliação técnica e econômica do "harvester" na colheita do eucalipto* (62f). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Fernandes, C. F. et al. (2009). Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. *Scientia Forestalis*, 37 (83), 225-232.
- Harry, G.G. et al. (1991). Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de máquinas florestais. *Anais do Simpósio Brasileiro Sobre Exploração e Transporte Florestal* (pp. 57-75). Belo Horizonte: UFV/SIF.
- Leite, E. S. (2012a). *Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas* (109f). Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Leite, E. S. et al. (2013). Avaliação do estudo de tempo e movimentos, produtividade e custo de produção no processo de corte semi mecanizado em plantios de eucalipto. *Magistra*, 25 (2), 84-93.
- Leite, E. S. et al. (2013b). Desempenho do *harvester* na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. *Revista Árvore*, 38 (1), p.000-000.
- Leite, E. S. et al. (2012b). Utilização de guindaste na extração de madeira em região montanhosa. *Revista Árvore*, 36 (1), 195-201.
- Lopes, E. S. et al. (2011). Avaliação técnica e de custos de um sistema de cabos aéreos na extração de *Pinus taeda* L. em região montanhosa. *Scientia Forestalis*, 39 (91), 387-394.
- Lopes S. E. (2007). *Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal* (124f). Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Machado C. C., & Lopes E. S. (2000). Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. *Cerne*, 6 (2), 124-129.
- Malinovski, J. R., et al. (2008). Sistemas. In: Machado, C. C. (Ed). *Colheita Florestal* (2ed., pp.161-184). Viçosa-MG: UFV.
- Moreira, F. M. T. (2000). *Avaliação técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação* (160f). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Nascimento, A. C. et al. (2011). Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com feller-buncher. *Cerne*, 17 (1), 9-15.
- Oliveira, D., et al. (2010, agosto). Avaliação técnica e econômica do trator florestal arrastador. *Anais do Seminário de Atualização Florestal e Semana de Estudos Florestais*. Irati: Unicentro, 2., 11.
- Oliveira, R. J. (2009). *Avaliação técnica e econômica de cabos aéreos na colheita de pinus no município de Cerro Azul-PR*. (54f). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Paula, E. N. S. O. (2011). *Avaliação técnica, de custos e ambiental de dois modelos de harvester na colheita florestal* (83f). Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

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

Silva, M. L., Jacovine, L. A. G., & Valverde, S. R. (2005). *Economia florestal* (2.ed., 178p). Viçosa: UFV.

Simões, D., & Fenner, P. T. (2010d). Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de madeira em povoamentos de eucalipto de primeiro corte. *Floresta*, 40 (4), 711-720.

Simões, D. et al. (2010c). Custo e rendimento operacionais da extração de madeira de eucalipto com cabo aéreo. *Cerne*, 16 (2), 185-192.

Recebido em: 05/08/2014
Aceito em: 15/03/2016