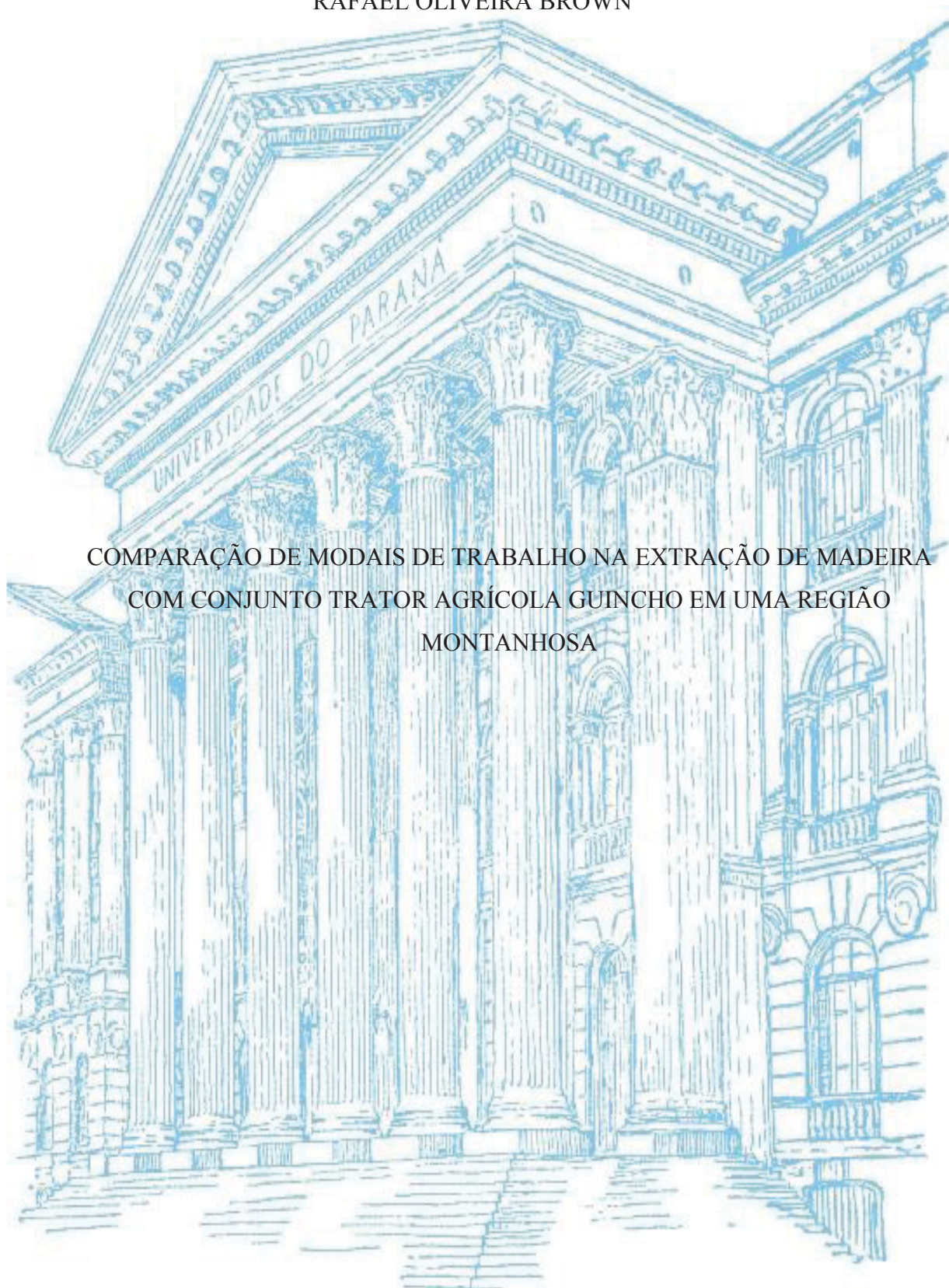


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
RAFAEL OLIVEIRA BROWN



COMPARAÇÃO DE MODAIS DE TRABALHO NA EXTRAÇÃO DE MADEIRA
COM CONJUNTO TRATOR AGRÍCOLA GUINCHO EM UMA REGIÃO
MONTANHOSA

CURITIBA

2018

RAFAEL OLIVEIRA BROWN

COMPARAÇÃO DE MODAIS DE TRABALHO NA EXTRAÇÃO DE MADEIRA COM
CONJUNTO TRATOR AGRÍCOLA GUINCHO EM UMA REGIÃO MONTANHOSA

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, Departamento de Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert

Coorientador: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

CURITIBA

2018

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Brown, Rafael Oliveira

Comparação de modais de trabalho na extração de madeira com conjunto trator agrícola guincho em uma região montanhosa / Rafael Oliveira Brown. – Curitiba, 2018.

89 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert

Coorientadores: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva

Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 26/02/2018.

Área de concentração: Tecnologia e utilização de produtos florestais.

1. Colheita Florestal. 2. Exploração Florestal. 3. Máquinas Florestais. 4. Dissertações. I. Robert, Renato Cesar Gonçalves. II. Silva, Dimas Agostinho da. III. Nakajima, Nelson Yoshihiro. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDU – 634.0.31



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL
Código CAPES: 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RAFAEL OLIVEIRA BROWN**, intitulada: "**COMPARAÇÃO DE MODAIS DE TRABALHO NA EXTRAÇÃO DE MADEIRA COM CONJUNTO TRATOR AGRÍCOLA GUINCHO EM UMA REGIÃO MONTANHOSA**", após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

Curitiba, 26 de fevereiro de 2018.


Prof. RENATO CESAR GONCALVES ROBERT (UFPR)
(Presidente da Banca Examinadora)


Prof. ALEXANDRE BERNARDI KOEHLER (PUC/PR)


Prof. JEAN ALBERTO SAMPIETRO (UDESC)



*Aos meus pais e avós, pelo esforço
e torcida constante.*

*A Rodrigo Pollari Rodrigues,
minhas saudades*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade única.

Ao meu orientador, Professor Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert, pelo apoio, conselhos, ensinamentos, confiança e por instigar todos a alcançar o seu melhor.

Ao meu coorientador Professor Dr. Dimas Agostinho Silva por primeiramente acreditar na minha capacidade de cumprir com as exigências do mestrado.

Ao meu coorientador Professor Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima pela confiança depositada para que possa seguir a me aperfeiçoar como engenheiro florestal.

Aos meus pais Arsênio Brown e Ana Oliveira e aos meus avós, Joaquim Rodrigues, Maria de Oliveira, Oswaldo Brown e Leda Brown pelo exemplo, torcida e apoio incondicional durante todas as etapas da minha vida.

Aos amigos alhures, a torcida, apoio, conselhos e risadas compartilhados durante tantos anos.

A Rodrigo Pollari Rodrigues, por enquanto pudemos dividir o mesmo tempo sempre acreditou, apoiou e depositou verdadeira fraternidade.

Aos meus amigos, Ana Paula Donicht, Edberto Moura, Hassan David, Pedro Lício e Narcísio Bila, que nos últimos dois anos fizeram o papel de família e irmãos em Curitiba.

À Hortênsia Labiak, Ariel Labiak e Araci Labiak pela amizade e ajuda fundamental e que tornaram possível a conclusão de mais essa etapa da minha vida.

Aos amigos e colegas da pós-graduação e do Laboratório de Abastecimento e Mecanização Florestal pelos momentos de conversa e companheirismo.

Ao Engenheiro Florestal Ricardo Ströher e sua equipe, em especial ao “Seu Marabá” e ao “Seu” Joel, fundamentais para a execução desse trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

*“Quem elegeu a busca não pode
recusar a travessia”
Alfredo Bosi*

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho operacional e ajustar um modelo além de avaliar o efeito do modal de trabalho no tempo de ciclo operacional efetivo, produtividade, os custos energéticos da extração de *Pinus taeda* em uma região montanhosa com um conjunto trator-guincho. Além disso estimar custos operacionais e custo de produção. O equipamento estudado foi um conjunto trator agrícola guincho, e os tratamentos foram dois modais de trabalhos, com um operador de trator e um operador de cabo e um operador de trator e dois operadores de cabo. Foi realizado um estudo de tempos e movimentos dos ciclos operacionais com os distintos modais em diferentes condições de distância de extração, declividade e distância até o pátio. Para o desempenho operacional foram realizadas regressões múltiplas em cada módulo de tratamento, posteriormente comparadas pelo teste F de Graybill, constatada a diferença entre os tratamentos foi feita uma regressão com variável dummy. A uma distância de extração de 100 metros a produtividade estimada com um operador de cabo foi de $9,69 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ e de $12,11 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ com dois operadores de cabo. O consumo específico de combustível foi de $44,26 \text{ g kW}^{-1} \text{ he}^{-1}$, a produtividade da extração em $9,26 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ com um operador de cabo e $12,12 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ com dois operadores de cabo a uma distância de extração de 100 m e o rendimento energético estimado foi $4,92 \text{ g kW}^{-1} \text{ m}^3$ com um operador de cabo e $3,13 \text{ g kW}^{-1} \text{ m}^3$ a uma distância de extração de 100 m. Os custos operacionais foram estimados em 35,85 e 44,49 US\$.he⁻¹ de trabalho no módulo com um e dois operadores de cabo respectivamente. O custo de produção a uma distância de extração de 100 metros ficou em 3,95 e 3,72 US\$.m³ no módulo com um e dois operadores de cabo respectivamente. Com isso foi observado um aumento significativo da produtividade em decorrência da diminuição do tempo de ciclo. Apesar do consumo específico nos dois módulos de trabalho serem iguais o aumento de produtividade resultante da adição de um operador de cabo melhorou o rendimento energético do conjunto trator agrícola guincho na atividade de extração com guincho arrastador. Os custos operacionais foram superiores na operação com dois operadores de cabo, apesar disso o aumento de produtividade torna o custo de produção economicamente viável.

Palavras-chave: guinchamento; trator agrícola; colheita florestal.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the operational performance and to adjust a model in addition to evaluating the effect of modal work on the time of effective operational cycle, productivity, energy costs of Pinus taeda extraction in a mountainous region with a tractor-winch assembly. Also estimate operating costs and production cost. The equipment studied was a tow truck combination, and the treatments were two modes of work, with one tractor operator and one cable operator and one tractor operator and two cable operators. A study of the times and movements of the operational cycles with the different modalities in different conditions of distance of extraction, slope and distance to the patio was carried out. For the operational performance, multiple regressions were performed in each treatment module, later compared by the Graybill F test. The difference between the treatments was a regression with a dummy variable. At an extraction distance of 100 meters the estimated productivity with a cable operator was 9.69 m³ he-1 and 12.11 m³ he-1 with two cable operators. The specific fuel consumption was 44.26 g kW-1 he-1, the extraction productivity at 9.26 m³ he-1 with a cable operator and 12.12 m³ he-1 with two cable operators at one extraction distance of 100 m and the estimated energy yield was 4.92 g kW-1 m³ with a cable operator and 3.13 g kW-1 m³ at an extraction distance of 100 m. Operating costs were estimated at 35.85 and 44.49 US \$.he-1 working in the module with one and two cable operators respectively. The cost of production at an extraction distance of 100 meters was 3.95 and 3.72 US \$.m³ in the module with one and two cable operators respectively. With this, a significant increase in productivity was observed due to the decrease in cycle time. Although the specific consumption in the two work modules were the same, the increase in productivity resulting from the addition of a cable operator improved the energy efficiency of the tow truck assembly in the trawler winch. Operational costs were higher in the operation with two cable operators, however the increase in productivity makes the cost of production economically viable.

Keywords: winching; farm tractor; forest harvesting

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MÉTODOS E MODAIS NA EXTRAÇÃO FLORESTAL	24
FIGURA 2: DESBOBINADOR, CONTROLES VIA RÁDIO, SISTEMA DE EMBREAGEM PRÓPRIO E CABO DE RETORNO, DA ESQUERDA PARA DIREITA DE CIMA ATÉ ABAIXO.....	30
FIGURA 3: LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS ONDE ENCONTRA-SE O LOCAL DE ESTUDO	31
FIGURA 4: PERFIL DO RELEVO DO LOCAL DA ÁREA DE ESTUDO	32
FIGURA 5: TRATOR ACOMPANHADO DURANTE O ESTUDO.....	33
FIGURA 6: DETALHE DO IMPLEMENTO UTILIZADO	34
FIGURA 7: DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS DO CICLO EM DIFERENTES MODAIS DE TRABALHO.....	50
FIGURA 8: DISTRIBUIÇÃO DO RESÍDUO EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO NAS ESTIMATIVAS DE TEMPO DE CICLO OPERACIONAL	53
FIGURA 9: DISTRIBUIÇÃO DO RESÍDUO EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO NAS ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE.....	54
FIGURA 10: ESTIMATIVA DE TEMPO EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO.....	54
FIGURA 11: ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO	55
FIGURA 12: ESTIMATIVA DE TEMPO EM RELAÇÃO A DECLIVIDADE.....	57
FIGURA 13: ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE EM RELAÇÃO A DECLIVIDADE.....	57
FIGURA 14: ESTIMATIVA DE TEMPO EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA ATÉ ESTALEIRO	60
FIGURA 15: ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA ATÉ ESTALEIRO	60
FIGURA 16: DISTRIBUIÇÃO DO RESÍDUO EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO NA ESTIMATIVA DE RENDIMENTO ENERGÉTICO	64
FIGURA 17: COMPORTAMENTO DO RENDIMENTO ENERGÉTICO (G KW-1 M ³) EM RELAÇÃO AO AUMENTO DA DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO	64
FIGURA 18: CONTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS NOS CUSTOS OPERACIONAIS	66
FIGURA 19: COMPORTAMENTO DOS CUSTOS COM MANUTENÇÃO EM DIFERENTES CENÁRIOS DE IDADE E PREÇO DO EQUIPAMENTO (US\$).....	70

FIGURA 20: COMPORTAMENTO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO EM RELAÇÃO A PRODUTIVIDADE NOS DOIS MODAIS DE TRABALHO	71
FIGURA 21: RELAÇÃO ENTRE DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO E CUSTOS DE PRODUÇÃO	72
FIGURA 22: DIAGRAMA DE SPIDERPLOT COM A VARIAÇÃO DOS CUSTOS E DA TAXA DE UTILIZAÇÃO NO MODAL TRADICIONAL.....	75
FIGURA 23: DIAGRAMA DE SPIDERPLOT COM A VARIAÇÃO DOS CUSTOS E DA TAXA DE UTILIZAÇÃO NO MODAL ALTERNATIVO.....	75
FIGURA 24: DIAGRAMA SPIDERPLOT EM RELAÇÃO AOS CUSTOS DE PRODUÇÃO NO MODAL TRADICIONAL PADRONIZADO A 100 METROS DE DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO, 30 METROS DE DISTÂNCIA ATÉ O ESTALEIRO E 40% DE DECLIVIDADE.....	77
FIGURA 25: DIAGRAMA SPIDERPLOT EM RELAÇÃO AOS CUSTOS DE PRODUÇÃO NO MODAL COM MODAL ALTERNATIVO PADRONIZADO A 100 METROS DE DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO, 30 METROS DE DISTÂNCIA ATÉ O ESTALEIRO E 40% DE DECLIVIDADE.....	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: DESCRIÇÃO DO TRATOR VALTRA BMI125	33
TABELA 2: DESCRIÇÃO DO GUINCHO TMO 33T	34
TABELA 3: MODAIS DE TRABALHO	35
TABELA 4: INDICADORES DE PRODUTIVIDADE NOS DOIS MODAIS DE TRABALHO ESTUDADOS.....	48
TABELA 5: CONTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS DO CICLO PARA O CICLO OPERACIONAL EFETIVO	49
TABELA 6: RESUMO DO AJUSTES FEITOS PARA PRODUTIVIDADE E TEMPO NOS MODAIS DE TRABALHO E NO CONJUNTO DE DADOS.....	51
TABELA 7: RESULTADO DO TESTE F DE GRAYBILL PARA AS REGRESSÕES COM TEMPO E PRODUTIVIDADE	52
TABELA 8: RESUMO DA REGRESSÃO COM VARIÁVEL DUMMY DO TEMPO DE CICLO NOS DOIS MODAIS	52
TABELA 9: RESUMO DE CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL EM DIFERENTES MÁQUINAS ESTUDADAS.....	61
TABELA 10: RESUMO DAS ÍNDICES E COEFICIENTES DAS REGRESSÕES PARA RENDIMENTO ENERGÉTICO.....	62
TABELA 11: RESULTADO DO TESTE F DE GRAYBILL PARA REGRESSÕES COM RENDIMENTO ENERGÉTICO.....	63
TABELA 12: RESUMO DE ÍNDICES E COEFICIENTES DA REGRESSÃO COM VARIÁVEL DUMMY	63
TABELA 13: RESUMO DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO EM US\$.HE ⁻¹	66
TABELA 14: RESUMO DOS RESULTADOS DA REGRESSÃO	71
TABELA 15: VALORES ESTIMADOS DE CUSTO DE PRODUÇÃO EM DIFERENTES CENÁRIOS MANTENDO-SE UMA DECLIVIDADE DE 50%. (US\$)	73

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
2.	OBJETIVOS.....	16
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3.	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1.	SISTEMAS DE COLHEITA.....	17
3.1.1.	SISTEMA DE TORAS CURTAS (CUT TO LENGTH).....	18
3.1.2.	SISTEMA DE TORAS LONGAS (TREE LENGHT).....	19
3.1.3.	SISTEMA DE ÁRVORES INTEIRAS (FULL TREE).....	19
3.1.4.	SISTEMAS DE ÁRVORES COMPLETAS (WHOLE TREE).....	19
3.1.5.	SISTEMA DE CAVAQUEAMENTO (CHIPPING).....	20
3.1.6.	SISTEMA DE COMPRIMENTO ESPECIFICADO (SPECIFIED LENGHT).....	20
3.2.	EXTRAÇÃO FLORESTAL.....	21
3.2.1.	FATORES DE INFLUÊNCIA NA EXTRAÇÃO FLORESTAL.....	21
3.2.2.	MÉTODOS E MODAIS DE EXTRAÇÃO FLORESTAL.....	22
3.2.3.	EXTRAÇÃO COM FORWARDER (GTA).....	24
3.2.4.	EXTRAÇÃO COM TRAÇÃO ANIMAL.....	25
3.2.5.	EXTRAÇÃO MANUAL E CALHAS.....	25
3.2.6.	EXTRAÇÃO COM HELICÓPTERO.....	26
3.2.7.	EXTRAÇÃO COM CABOS AÉREOS.....	27
3.2.8.	EXTRAÇÃO COM TRATOR AGRÍCOLA.....	27
3.2.8.1.	EXTRAÇÃO COM TRATOR AGRÍCOLA COM GARRA.....	27
3.2.8.2.	EXTRAÇÃO COM TRATOR AGRÍCOLA AUTOCARREGÁVEL.....	28
3.2.8.3.	EXTRAÇÃO COM CONJUNTO TRATOR AGRÍCOLA GUINCHO.....	28
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1.	ÁREA DE ESTUDO.....	31
4.1.1.	LOCALIZAÇÃO.....	31
4.1.2.	CLIMA E VEGETAÇÃO.....	32
4.1.3.	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO DE COLHEITA FLORESTAL.....	32
4.2.	DESCRIÇÃO DA MÁQUINA DE EXTRAÇÃO.....	33
4.3.	DESCRIÇÃO DO IMPLEMENTO TMO 33T.....	33
4.4.	COLETA DOS DADOS.....	34

4.5.	ANÁLISE OPERACIONAL.....	38
4.5.1.	DISPONIBILIDADE MECÂNICA.....	39
4.5.2.	EFICIÊNCIA OPERACIONAL.....	39
4.5.3.	TAXA DE UTILIZAÇÃO.....	39
4.5.4.	DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE.....	40
4.5.5.	CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL.....	40
4.5.6.	RENDIMENTO ENERGÉTICO.....	40
4.6.	ANÁLISE DE CUSTOS.....	41
4.6.1.	CUSTOS OPERACIONAIS.....	41
4.6.1.1.	CUSTOS FIXOS.....	41
4.6.1.2.	DEPRECIAÇÃO.....	41
4.6.1.3.	JUROS.....	42
4.6.1.4.	SEGUROS.....	42
4.6.1.5.	CUSTOS ADMINISTRATIVOS.....	42
4.6.1.6.	CUSTOS COM PESSOAL OPERACIONAL.....	43
4.6.2.	CUSTOS VARIÁVEIS.....	43
4.6.2.1.	COMBUSTÍVEL.....	43
4.6.2.2.	CUSTO COM LUBRIFICANTES.....	44
4.6.2.3.	CUSTOS COM MATERIAL RODANTE.....	44
4.6.2.4.	MANUTENÇÃO.....	44
4.6.3.	CUSTO OPERACIONAL TOTAL.....	45
4.6.4.	CUSTO DE PRODUÇÃO.....	45
4.7.	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	45
4.8.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	46
4.8.1.	TESTE DE NORMALIDADE.....	46
4.8.2.	HOMOGENEIDADE DAS VARIÂNCIAS.....	46
4.8.3.	AJUSTE DE MODELOS ESTATÍSTICOS.....	46
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
5.1.	CONTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS DO CICLO.....	49
5.2.	ESTIMATIVA DE TEMPO DE CICLO E PRODUTIVIDADE.....	51
5.3.	CONSUMO ESPECÍFICO E RENDIMENTO ENERGÉTICO.....	61
5.4.	CUSTOS OPERACIONAIS E DE PRODUÇÃO.....	65
5.4.1.	CUSTO DE MANUTENÇÃO E REPAROS.....	68
5.4.2.	CUSTO DE PRODUÇÃO.....	70

5.5.	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	74
6.	CONCLUSÕES	79
7.	RECOMENDAÇÕES	80
	REFERÊNCIAS	81

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, no mercado de máquinas de uso no setor florestal brasileiro está disponível uma grande variedade de máquinas e equipamentos para se realizar a extração de madeira como *track skidders*, *choker skidders*, *clambunk skidders*, *grapple skidders*, *forwarders*, cabos aéreos, *shovel loggers* entre outros. A intensificação da mecanização nos equipamentos para atividades florestais ocorreu no Brasil principalmente a partir da década de 90 com a abertura do mercado a importação destes equipamentos, e hoje a extração 100% mecanizada no país atinge a maior parte das grandes empresas florestais.

Uma boa parte desses equipamentos consegue desenvolver bem a atividade de extração em terrenos planos e suaves e a declividade seja talvez o maior limitante e impedidor da mecanização. Mesmo com o uso de implementos como o guincho de tração auxiliar (GTA) nem todos os métodos de extração conseguem desempenhar a atividade de extração em terrenos declivosos. Por essa razão, a extração florestal em regiões montanhosas enfrenta continuamente um grande desafio: a declividade do terreno. Além das condições de declividade impostas pelo relevo acidentado, há ainda restrições de trafegabilidade em microrrelevo que podem implicar em uma declividade em relação ao eixo lateral das máquinas que inviabilize a mecanização da operação.

Além de restrições técnicas a mecanização da extração é também restringida por fatores de ordem econômica, como os custos de aquisição das máquinas. Com basicamente a maioria das máquinas tendo origem no exterior a importação é a via com que as empresas podem adquirir máquinas para mecanizar a extração. E os custos envolvidos como câmbio, taxas de importação, possibilidade de revenda tornam a aquisição e manutenção de máquinas específicas para a extração florestal algo custoso e inviável, principalmente para empresas de pequeno porte ou que movimentam baixo volume de madeira.

Frente a isso, o trator agrícola apresenta-se como uma possibilidade com diversas aplicações, desde sua função como força motriz para pulverizadores, arados, grades e subsoladores como para implementos florestais na colheita como cabeçotes, carregadores, autocarregáveis e guincho arrastador. Com implemento guincho arrastador, doravante chamado de conjunto trator agrícola guincho configura-se uma alternativa com baixo custo de aquisição, manutenção mais simples e barata, operacionalização sem a exigência de mão de obra muito especializada, além de ser versátil para trabalhar em terrenos onde o tráfego de máquinas florestais é limitada devido a declividade. Uma frequente aplicação do conjunto trator agrícola guincho é no guinchamento de árvores em regiões com microrrelevo muito

irregular que impõem ao tráfego uma limitação quanto a declividade lateral, esse tipo de limitação que alternativas como o GTA não conseguem sanar.

Entretanto, em vista a introdução de novas tecnologias, a extração realizada com conjunto trator agrícola guincho tem uma carência em estudos que visam entender como se comporta a execução do trabalho com esse equipamento.

“Qual a produtividade média por hora efetivamente trabalhada?”; “qual o custo de operação?”; “qual elemento do ciclo contribuí mais para o tempo total de um ciclo?”; “qual o método de trabalho mais potencializa o uso do equipamento?”; “qual o rendimento energético de um trator guincho arrastador?”; “até qual declividade o equipamento trabalha?”; essas perguntas orientadoras serviram como marco de condução ao se realizar este trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar tecnicamente e economicamente dois modais de extração de madeira com conjunto trator agrícola guincho em uma região montanhosa.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Os objetivos específicos este trabalho são: Avaliar o tempo de ciclo total e a produtividade por hora efetivamente trabalhada, rendimento em dois modais de trabalho distintos, com 1 e 2 operadores de cabo na extração com conjunto trator agrícola guincho em regiões montanhosas.
- Ajustar modelo linear que explique o comportamento dos ciclos operacionais levando em consideração as variáveis de influencia, declividade, distância de extração, distância até o estaleiro e modal de trabalho.
- Avaliar o comportamento do rendimento energético e consumo específico do conjunto trator agrícola guincho em dois modais de trabalho distintos, com 1 e 2 operadores de cabo.
- Analisar os custos operacionais e de produção em dois modais de trabalho.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A colheita florestal é sob o ponto de vista da logística uma atividade parte da logística *inbound* e divide-se em duas etapas principais, o corte florestal e a extração florestal (ROBERT, 2012). Ambas as etapas visam preparar a madeira para o transporte até os centros de consumo (TANAKA, 1986).

Até a década de 1940 o emprego de máquinas florestais era praticamente nulo, utilizando-se basicamente de equipamentos de origem agrícola ou industrial. Apenas em 1970 começaram a surgir no Brasil equipamentos específicos para o uso nas florestas como os *skidders* e somente após a abertura do mercado para importações na década de 1990 que começou a figurar entre as máquinas de grandes empresas as modernas tecnologias desenvolvidas em países da América do Norte e Europa como os *forwarders*, *harvesters* e outros (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998; MACHADO et al. 2014).

Apesar da existência de máquinas com especialização em trabalhos florestais os altos custos, necessidade de mão de obra especializada e ambientes hostis, como os terrenos montanhosos, limitam o emprego de máquinas como os *harvesters* e *forwarders* em diversas empresas brasileiras, em especial as de médio e pequeno porte (MACHADO et al. 2014).

Por conta disso e de buscar atender o produtor de madeira com soluções e alternativas que supram a necessidade com boas técnicas de colheita, cumpra com as atuais exigências ambientais e estejam dentro da realidade econômica das empresas é que desde a década de 1980 nas escolas florestais ocorre um esforço em pesquisa e desenvolvimento não apenas na área de colheita, mas toda logística envolvendo o fornecimento da matéria prima madeira para a indústria.

Esclarecido isso, é importante o entendimento das melhores alternativas entre os sistemas de colheita existentes e estes que estejam em sintonia com o produto a ser retirado da floresta. A escolha da tecnologia adequadas de corte e de extração deve estar dentro das limitações técnicas, ambientais e econômicas que cada ambiente impõe (KANTOLA; HARSTELA, 1994).

3.1. SISTEMAS DE COLHEITA

Sistemas de colheita compreendem um conjunto de elementos e processos que envolvem a cadeia de produção e todas as atividades parciais, desde a derrubada até a madeira posta em pátio industrial (MALINOVSKI et al. 2014). Um sistema pode ser entendido como

um conjunto de operações realizadas em um mesmo ambiente, ou em ambientes distintos que estejam ligados, realizando um fluxo perfeito evitando estrangulamentos e gargalos nas operações levando os equipamentos e máquinas a sua melhor utilização (SALMERON, 1981)

De acordo com a FAO (1978) diversas formas de classificação de um sistema de colheita podem ser utilizadas, dentre elas há a mais habitual é a distinção do sistema de colheita pelo estado longitudinal das toras e árvores que serão extraídas de dentro do talhão. A FAO (1978) cita os seguintes sistemas: sistemas de toras curtas, sistemas de toras longas e sistemas de árvores inteiras, além destes sistemas há mais outros três sistemas, o sistema de árvores completas, o sistema de árvores cavaqueadas e o sistema de comprimento específico. Além desses a FAO (1978) classifica os sistemas pelo método de extração, com carga arrastada, com carga suspensa em uma plataforma e com a carga suspensa por cabos.

Outros autores ainda tratam sistemas de colheita como a junção do método de colheita (considerado sistema de colheita para FAO, 1978) com o grau de mecanização da colheita (UUSITALO, 2010). Outros ainda tratam o termo sistema de colheita como sinônimo de método de colheita (KANTOLA; HARSTELA, 1994; NURMINEN et al. 2006; MOUSAVI et al. 2012; ACKERMAN et al. 2016 e HÄGGSTRÖM; LINDROOS 2016)

3.1.1. SISTEMA DE TORAS CURTAS (*CUT TO LENGTH*)

No sistema de toras curtas ou *cut to length*, comumente abreviado por CTL as iniciais da denominação em inglês a árvore é derrubada e processada dentro do talhão, sendo transportada para as margens da estrada, pátio intermediário ou estaleiro em pequenas toras com o comprimento máximo de 6 metros (MALINOVSKI et al., 2014). É o sistema mais antigo implantado no Brasil e muito utilizado nos países escandinavos e na Irlanda (ROBERT; ANDREATA, 2012; FERNANDES et al., 2013).

A derrubada, desgalhamento, traçamento e descascamento (esse podendo ou não ser realizado) ocorrem dentro do talhão, em pequena escala a derrubada e processamento podem ser realizados com equipamentos como motosserra, traçadeiras e outros e a extração realizada manualmente ou usando animais.

O sistema CTL pode também ser referido como a técnica de colheita nórdica, que atualmente aplica principalmente duas máquinas, o *harvester* para atividades de derrubada e traçamento e o *forwarder* para atividade de extração (NURMINEN et al. 2006).

De acordo com Kellogg e Bettinger (1994) é o sistema mais ambientalmente amigável, versátil e seguro que entrega um produto final com maior qualidade do que sistemas como *full-tree* ou *tree-length*.

3.1.2. SISTEMA DE TORAS LONGAS (*TREE LENGTH*)

A árvore é derrubada, depois é realizado o destopamento ou desgalhamento no local da derrubada e então transportada para margens da estrada, pátios e estaleiros na forma de fustes com mais de 6 metros (MALINOVSKI et al., 2014).

Robert e Andreatta (2012) afirmam ser um sistema muito comum na América do Norte e também no Sul do país devido à presença de investidores da América do Norte. Segundo os mesmos autores é comum sua utilização em locais acidentados. Devido à alta produtividade é um dos sistemas onde a mecanização é mais barata. A mecanização ocorre com a utilização de um *feller* ou *feller buncher* para o corte de derrubada da árvore, o destopamento utiliza-se de uma motosserra e a extração com *skidders* ou conjunto trator agrícola guincho ou garra arrastadora. No pátio de toras ou beira de estrada pode ser realizado o traçamento com um cabeçote *harvester* ou motosserra.

3.1.3. SISTEMA DE ÁRVORES INTEIRAS (*FULL TREE*)

A árvore é derrubada e transportada com a copa para as margens da estrada, pátios ou estaleiros onde é então processada (MALINOVSKI et al., 2014). Ou seja, toda biomassa acima do toco onde foi realizado o corte é transportada para a beira da estrada, pátio ou estaleiro.

Sua mecanização conta com máquinas como o *feller e feller-buncher*, realizando a derrubada, o *feller buncher* com a característica de acumular as árvores no cabeçote e o arraste sendo realizado com *skidders* ou tratores agrícolas com implementos como guincho ou garra para fazer o arraste (ROBERT e ANDREATA, 2012). Outra forma de se combinar equipamentos para esse sistema é a utilização de motosserra e a extração realizada por cabos aéreos com posterior processamento com um cabeçote *harvester* ou motosserra.

3.1.4. SISTEMAS DE ÁRVORES COMPLETAS (*WHOLE TREE*)

Toda a árvore, incluindo seu sistema radicular é levada de dentro dos talhões para pátios intermediários onde lá ocorre o processamento (PULKKI, 2006; MALINOVSKI et al., 2014). De acordo com Robert e Andreato (2012) a única justificativa do uso desse sistema é se o valor das raízes for um atrativo. Além de pouca tecnologia disponível para esse sistema o impacto ao solo é significativo.

3.1.5. SISTEMA DE CAVAQUEAMENTO (*CHIPPING*)

A árvore é derrubada e imediatamente é processada no local na forma de cavacos onde é transportada ou para um pátio ou diretamente para indústria (MALINOVSKI et al., 2014). Esse sistema pode ser subdividido em outros três subsistemas, cavaqueamento integral, cavaqueamento parcial com casca e cavaqueamento parcial sem casca.

- Cavaqueamento integral: a árvore é cavaqueada inteira ou completa, com casca, galhos, folhas ou acículas e etc. Também chamado de cavaqueamento verde.
- Cavaqueamento parcial com casca: o fuste com a casca é colocado para fazer o cavaqueamento, chamado de cavaqueamento marrom.
- Cavaqueamento parcial sem casca: toras curtas e descascadas são processadas no cavaqueador.

3.1.6. SISTEMA DE COMPRIMENTO ESPECIFICADO (*SPECIFIED LENGHT*)

Sistema de colheita que visa atender a demanda por produtos diferentes, a árvore é processada em diferentes comprimentos para atender necessidades específicas (MALINOVSKI et al., 2014).

Outras definições de sistemas ocorrem, são o sistema de toras quentes e o sistema de toras frias, que não se trata da forma em que a árvore é derrubada, processada e transportada, mas sim de acordo com o tempo com que a tora ou árvore esperam no talhão ou pátio para ser realizado o transporte para indústria (MALINOVSKI et al., 2014).

Ainda segundo os mesmos autores a distinção desses dois sistemas influencia no sistema de colheita a ser adotado e nas necessidades dos compradores da madeira e o uso final dado à matéria prima.

3.2. EXTRAÇÃO FLORESTAL

A extração é definida como a movimentação da madeira do seu local de corte até uma estrada, carreador, pátio ou estaleiro (SEIXAS et al. 2014). Conway (1978) menciona a atividade de extração de transporte primário igualmente faz Uusitalo (2010) como a atividade de transporte que liga as operações de derrubada até a operação de carregamento.

Extração é considerada a operação com os maiores custos na colheita (CONWAY, 1978). Segundo o mesmo autor de 32% até 52% do custo da madeira é reflexo da operação de extração. Essa afirmação já deixa tácita a necessidade de estudos sobre a operação de extração. De acordo com Birro et al. (2002) os custos envolvidos com a extração podem chegar até 25 vezes o valor do transporte até a indústria para uma mesma unidade de madeira.

De acordo com Conway (1978) até o final do século XIX essa operação era realizada com tração animal. Com o desenvolvimento de tecnologias surge a operação de extração com cabos, que utiliza uma força estacionária para puxar a tora ou o feixe de toras. Ainda assim uma forma de extração mecanizada com força móvel era requerida, então que surgem os primeiros tratores para essa operação em florestas.

Algumas definições diferem as formas de extração, são elas: baldeio, arraste, encoste e transporte primário. Baldeio é a atividade de extração onde a madeira é transportada sobre uma plataforma, um trailer puxado por um trator agrícola equipado com uma grua ou *forwarder* (SEIXAS et al. 2014), essa definição vai de encontro ao determinado por Maran et al. (2012) que caracteriza essa extração pela ausência de contato das toras com o solo via reboques.

A operação de arraste é o transporte florestal onde parte ou a totalidade da carga tem contato com o solo, sendo essa realizada por tração animal, guincho acoplado ao trator agrícola, *skidder*, entre outros (MARAN et al., 2012; SEIXAS et al., 2014).

A extração de madeira suspensa é realizada por cabos aéreos, helicópteros e balões onde a tora ou feixe de toras entra em contato parcial, total ou nulo com o solo (MARAN et al. 2012).

3.2.1. FATORES DE INFLUÊNCIA NA EXTRAÇÃO FLORESTAL

Diversos são os fatores que influenciam na atividade de extração da madeira. O tempo de ciclo da extração pode ser afetado pela distância de extração, declividade do terreno e o número de toras extraídas por ciclo, volume de madeira extraído por ciclo e a interação

dessas variáveis dentro do ciclo (BEHJOU et al. 2008).

Malinovski et al. (2006) fazem considerações sobre os fatores que afetam a produtividade de máquinas florestais, e os dividem em categorias devido à capacidade de identificação desses como de forma direta e indireta. São de determinação direta, o volume de madeira a ser extraído, características dos fustes, extensão da área, topografia, tipologia do solo, malha viária, distância de extração e distância até o pátio de toras entre outras. Da mesma forma existe fatores indiretos, de difícil determinação, mas que ainda assim influenciam nas operações como habilidade da mão-de-obra, microrrelevo, variações climáticas bruscas, fadiga dos trabalhadores entre outros fatores.

Nas operações com cabos, sejam eles suspensos ou cabos de um *chocker-skidder* ou trator agrícola com guincho, a forma com que a frente de trabalho é organizada interfere na produtividade da operação, o número de funcionários dentro da operação além do número de árvores a serem amarradas para se realizar a extração. Studier e Binkey (1976) e Skogsarbeten (1983) citados por Machado et al. (1990) chegam a conclusão que em extração com cabos e trator agrícola o melhor modal de trabalho é contando com mais de um operador de cabo. Lopes e Diniz (2015) estudando a operação de um *chocker-skidder* observaram que dentro do ciclo, funcionários previamente amarravam as árvores a serem arrastadas, poupando tempo assim na operação, esse tipo de método só é possível com mais de um operador de cabo.

3.2.2. MÉTODOS E MODAIS DE EXTRAÇÃO FLORESTAL

Ao se realizar a extração florestal podemos utilizar diversos equipamentos. Determinados equipamentos realizam distintas formas de transportar a madeira ou árvore até a beira do talhão ou estaleiro. Seixas e Castro (2014) tratam como método a utilização de diferentes máquinas para se realizar a extração, *skidder*, *forwarder*, cabo aéreo, calha entre outros. Maran et al. (2013) consideram método a forma com que a carga é transportada, baldeio, arraste, suspenso entre outros.

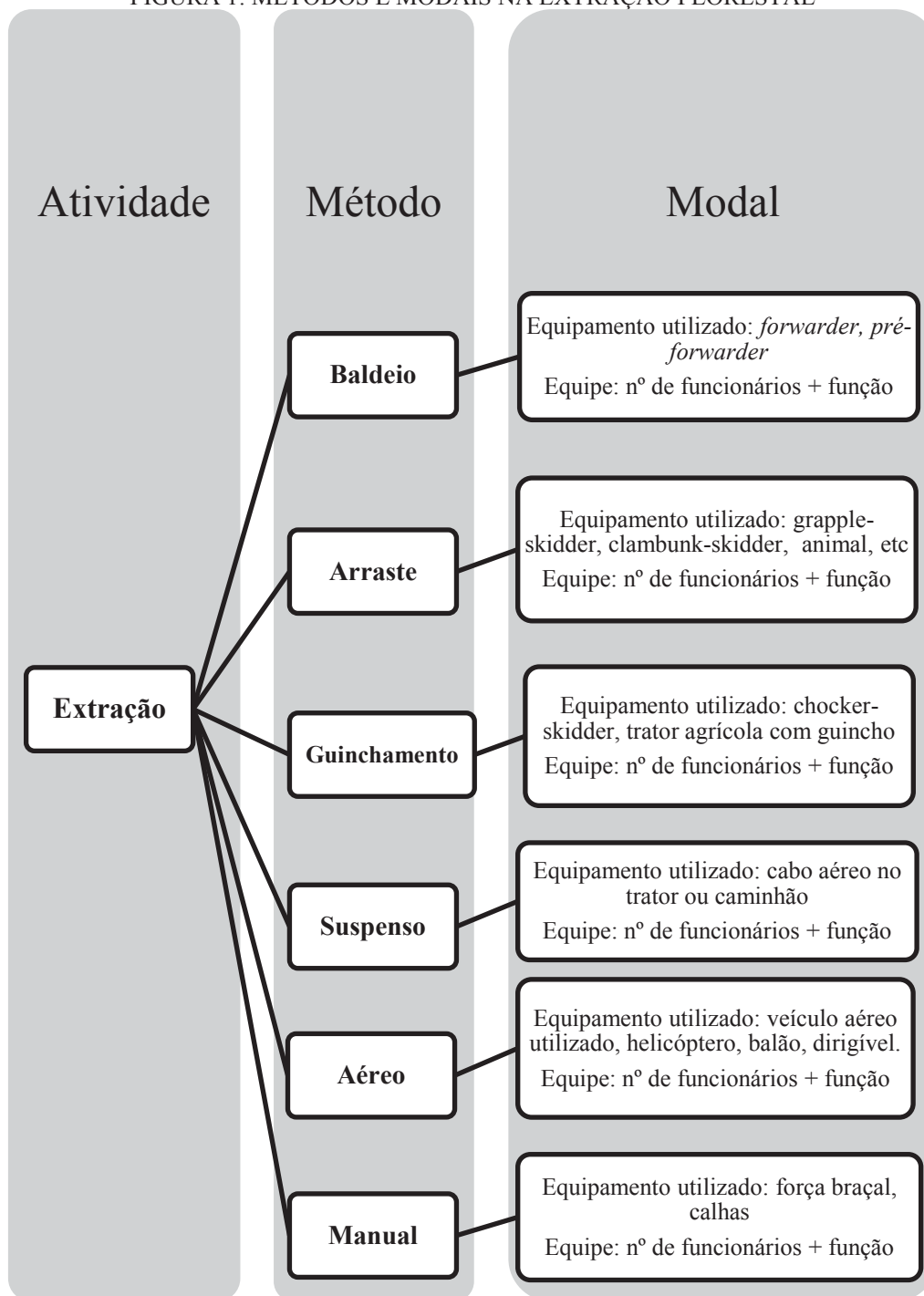
Diante disso buscou-se distinguir o que seria método e o que seria modal. Ficou estabelecido neste trabalho que o método de extração seria a forma com que o equipamento realizaria a extração da carga: baldeio, arraste, guinchamento, suspenso, manual e aéreo. O modal a forma particular de se realizar o método. Muitas vezes o conceito de modal é tratado como subsistema como por exemplo nos trabalhos de Moreira (2000), Minette et al. (2004) e Jacovine et al. (2005). A intenção é fazer uma distinção do sistema de colheita, do método de extração e o modal de extração. O método é a forma com quem a madeira é retirada, baldeio,

arraste e etc., o modal serial a combinação do equipamento utilizado com a formação e função de cada membro na equipe de trabalho. Por exemplo: método de baldeio, realizado com o modal trator *forwarder* ou trator agrícola autocarregável; método de arraste com o modal utilizando-se de um *clambunk-skidder* ou *grapple-skidder*.

Decidiu-se distinguir arraste de guinchamento, verificado que há uma diferença substancial nas duas formas de operação. É verdade que em ambas a carga de madeira tem contato parcial ou total com o solo e isso configuraria o método de arraste. O método de guinchamento diferencia-se então do arraste pelo motivo de ser realizado com cabos e guincho, onde a força motriz, geralmente um conjunto trator agrícola guincho, não adentra o talhão ou em raros casos pode adentrar realizando a operação com a máquina estática. Já o arraste, comumente realizado por *grapple-skidder*, *clambunk-skidder* e *track-skidder* ocorre a necessidade dos equipamentos adentrarem o talhão para realizar o arraste onde a operação ocorre com o deslocamento da máquina sem que a mesma permaneça estacionada.

Há ainda que se diferenciar que apesar do guinchamento poder ser feito com um conjunto trator agrícola guincho diferenças nesse modal podem ocorrer de acordo com o número de funcionários empregados na atividade. Sant'Anna (2014) diferencia por exemplo como modal (tratado pelo autor como sistema de corte semimecanizado) de corte semimecanizado o número de motosselistas e ajudantes empregados na atividade em 1+0, 1+1, 1+2 e 2+0. Buscou-se aqui que a mesma forma de classificar o modal, de acordo com o número de operadores do equipamento, sendo diferenciada a função de operador de trator e operador de cabo. A figura 1 a seguir apresenta de forma simplificada a distinção de método e modal.

FIGURA 1: MÉTODOS E MODAIS NA EXTRAÇÃO FLORESTAL



Fonte: O Autor (2018)

3.2.3. EXTRAÇÃO COM *FORWARDER* (GTA)

Um *forwarder* ou trator florestal autocarregável é uma máquina cujo projeto teve por objetivo atender as demandas de extração de um sistema de toras curtas (MACHADO, 2014). Tem um chassi articulado para facilitar a movimentação dentro das florestas, capacidade de

carga variando de 6 até 25 toneladas além de tração x4x, 6x6 8x8 e mais recentemente um modelo com tração 10x10.

Não tem como velocidade uma de suas características principais uma vez que foi desenvolvida para passar mais parte do tempo de seu ciclo operacional realizando o carregamento e descarregamento. É um equipamento que pode ser utilizado em diversas condições, inclusive em condições montanhosas. Hoje com os dispositivos como o guincho de tração auxiliar (GTA) permitindo o *forwarder* realizar com segurança extração em terrenos com até 75% de declividade Robert et al. (2017). Outro equipamento é o *T-winch* com princípio semelhante ao GTA, com a diferença de se tratar de um equipamento independente do *forwarder*.

O GTA permitiu que o *forwarder* conseguisse enfim ser uma alternativa viável tecnicamente de extração em terrenos bastante declivosos. Possibilitou em alguns casos que a mecanização com *forwarder* em uma empresa passasse dos 60% para 95% de acordo com Castillo et al. (2014) citado por Lopes et al. (2016).

3.2.4. EXTRAÇÃO COM TRAÇÃO ANIMAL

Segundo Saarilahti e Isoaho (1992), Akay (2005) e Melemez et al. (2014) o uso de animais para a extração e transporte é uma alternativa de trabalho em diversos países em desenvolvimento, isso ocorre devido ao alto investimento requerido para se mecanizar operações florestais. Ainda de acordo com os mesmos autores, bois, cavalos, búfalos, elefantes, iaques e mulas são os animais mais comumente encontrados na extração com animais.

Acosta et al. (2004) encontrou para extração realizada por bois uma quantidade três vezes menor de danos causados ao solo quando comparados com a extração realizada com tratores com guincho, em contrapartida apresentaram uma produtividade quatro vezes menor que as observadas quando a extração foi realizada com tratores.

3.2.5. EXTRAÇÃO MANUAL E CALHAS

A extração manual, por meio da força humana pode também ser chamada de tombamento. Muito rudimentar e comum em países subdesenvolvidos a extração manual pode ser realiza por tombamento, onde a madeira é lançada com a força humana em pequenas toras até a beira da estrada. Nessa técnica há uma influência positiva da declividade na extração,

uma vez que em declividades acentuadas o potencial gravitacional é superior facilitando assim a extração. Seixas e Castro (2014) definem uma distância de até 70 metros de extração em terrenos com declividade superior a 30%.

Outra forma de extração é a extração por calhas, nessa técnica a madeira na forma de pequenas toras é colocada em calhas instaladas ao longo do talhão onde as madeiras deslizam pelas calhas até a beira da estrada, novamente essa técnica sofre influência positiva da declividade pelos mesmos motivos da extração por tombamento, segundo Seixas e Castro (2014) a extração é recomendável num mínimo de 40% de declividade, conseguindo realizar a extração em uma faixa até de 14 metros com uma distância de extração de até 200 metros.

3.2.6. EXTRAÇÃO COM HELICÓPTERO

Akay et al. (2008) afirmam que o surgimento de helicópteros comerciais para a atividade de extração de madeira surgiu no final dos anos de 1970, principalmente na costa Oeste americana e canadense.

No Oeste canadense e na região Noroeste dos EUA a extração com helicópteros é uma alternativa utilizada (AKAY et al. 2008), na Columbia Britânica, Canadá de acordo com Dunham (2006) uma quantidade de 8 milhões de metros cúbicos de madeira são extraídos com helicópteros por ano. A extração com helicópteros é indicada principalmente em regiões ambientalmente muito sensíveis onde a construção de estradas e operações de colheita são restringidas (AKAY; BILICI 2016).

Por ser um método de alto custo o seu planejamento deve ser bastante criterioso para garantir uma boa produtividade. Dessa forma segundo Akay et al. (2008) a extração com helicóptero apresenta uma distância ótima de voo de dois quilômetros do ponto de extração até o ponto onde são depositadas as árvores. Outros fatores relevantes são as condições climáticas conforme Akay e Bilici (2016) ventos superiores a $55 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, névoa, chuvas fortes e neve são problemáticos para essa forma de extração.

A extração com helicópteros é bastante produtiva, dessa forma para aproveitar essa qualidade é crucial que se aproveite ao máximo o ciclo de extração com o maior volume de madeira possível (AKAY; BILICI, 2016). Mesmo assim de acordo com Akay et al. (2008) operações de extração com helicóptero são mais caras quando comparadas com métodos de extração baseadas no solo devido ao custo de aquisição, operação e manutenção do helicóptero.

3.2.7. EXTRAÇÃO COM CABOS AÉREOS

O sistema de cabos aéreos é usualmente empregado na extração de madeira em regiões montanhosas, Conway (1978) descreve que o uso de cabos aéreos permite uma menor densidade de estradas, e com a tora totalmente suspensa por cabos os danos ao solo podem ser reduzidos. Uma das suas características que diferem de outros sistemas é que sua força motriz não se desloca pelo talhão (Bantel, 2010), esse sendo um dos motivos, além da suspensão das toras no momento da extração para que não ocorram distúrbios ao solo.

No Brasil equipamentos para extração por meio de cabos aéreos ainda são pouco utilizados de acordo com Lopes et al. (2011) e Paula et al. (2014), apesar disso é um sistema que consegue, quando bem planejado, entregar uma produção satisfatória com baixo custo por metro cúbico (BROWN; DINIZ, 2017).

3.2.8. EXTRAÇÃO COM TRATOR AGRÍCOLA

Tratores agrícolas são na maioria das vezes tracionados nas 4 rodas, com um par de pneus traseiros maiores que os dianteiros e direção por munhões. São produzidos em grande quantidade, muitos com fabricação nacional, apresentam um custo de aquisição baixo, maior rede de assistência técnica e reposição de peças rápidas.

Tem como desvantagem a má distribuição de peso, tendência a empinar, dificultando a dirigibilidade e o que facilita capotamentos, além de não terem sido desenvolvidos para a atividade de extração (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998; BONNEMANN; NAGY, 1986).

Seus implementos, como o guincho podem ser instalados na parte frontal do trator, o que melhoraria a distribuição de peso, apesar disso a tomada de potência encontra-se na parte traseira o que dificulta a instalação na parte frontal (BONNEMANN; NAGY, 1986).

3.2.8.1. EXTRAÇÃO COM TRATOR AGRÍCOLA COM GARRA

Uma opção de uso do trator agrícola para fins de extração florestal é a adaptação com implemento de garra, onde o equipamento fica denominado “*mini-skidder*” (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998). Em estudo com a operação de desbaste com uma distância média de 240 metros com um relevo suave a produtividade do *mini-skidder* foi de aproximadamente 4 m³ he⁻¹ (VUSIĆ et al., 2013).

No Brasil encontram-se opções no mercado local de garras com guinchos fazendo dessa uma opção mais barata aos atuais *skidders*. Em terrenos declivosos o *mini-skidder* pode ser uma opção de arraste dos fustes ou árvores até os estaleiros deixando a extração a encargo de tratores com guincho.

3.2.8.2. EXTRAÇÃO COM TRATOR AGRÍCOLA AUTOCARREGÁVEL

Devido ao alto custo de aquisição de um *forwarder* foi então adaptado um trator agrícola com uma carreta e grua com garra (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998), muitas vezes chamado de *pré-forwarder*. É considerado um nível de pré-mecanização de uma operação de extração, não é indicado sua operação em situações com o terreno com inclinação lateral superior a 10% (SEIXAS; CASTRO, 2014). Pode ser chamada também de “baldeadeira”. O trator agrícola autocarregável se apresenta como alternativa mais barata que um *forwarder* para trabalhos em condições de relevo suave.

3.2.8.3. EXTRAÇÃO COM CONJUNTO TRATOR AGRÍCOLA GUINCHO

Diversos benefícios são obtidos ao se mecanizar a colheita florestal, apesar disso o investimento necessário desencoraja o pequeno produtor isso explica a popularidade do uso de tratores agrícolas equipados com guincho (SPINELLI; MAGAGNOTTI, 2011). Tratores agrícolas exigem um menor investimento inicial, baixo custo de operação quando comparado a tratores florestais, contando com uma satisfatória produtividade (KANTOLA; HERSTELA, 1994; MOUSAVI; NIKOOY, 2014). De acordo com Gilanipoor et al. (2012) tratores agrícolas apresentam uma boa maleabilidade quanto ao seu uso em diversos tipos de terrenos e operam com boa eficiência em plantios com volume médio individual baixo e médio.

A extração é realizada por um guincho acoplado ao terceiro ponto de um trator agrícola, ou tomada de potência (CONWAY, 1978). Essa alternativa é comumente utilizada por pequenos produtores devida o baixo investimento necessário e em áreas de acesso muito difícil, como em regiões montanhosas (OZTURK et al. 2017). Hoje em dia no mercado brasileiro pode ser encontrado com facilidade guinchos que conseguem tracionar cargas que variam de 6 toneladas até 51 toneladas.

Os fatores de influência nas atividades de extração com guincho é a declividade, e distância de extração, modal de trabalho e outros como temperatura, pluviosidade, espécie florestal a ser extraída e fatores edáficos (VOLPATO et al. 1991). Studier e Binkey (1976), e

Skogsarbeten (1983) citados por Machado et al. (1990) afirmam que na extração de madeira com guincho obtêm-se um melhor resultado quando utilizado um modal de trabalho com um operador de guincho e dois ajudantes. Em estudo realizado na extração de *Eucalyptus grandis*, Volpato et al. (1991) encontraram que para distâncias de extração superior a 100 metros não é recomendável a utilização de trator equipado com guincho, sendo a distância de extração a variável de maior influência, seguida pelo modal de trabalho e por fim declividade.

Apesar de diversas vantagens, o uso de guincho na extração de toras é bastante danoso ao solo de acordo com Conway (1978) e Ozturk et al. (2017) e danos residuais ao plantio remanescente segundo Picchio et al. (2011). Em um trabalho realizado com extração florestal em Pinar Del Rio, Cuba, Acosta et al. (2004) constataram que as perturbações no solo ao se utilizar o guincho chegavam até 17,11% da área total onde ocorreu a extração enquanto com o uso de animais ficou em 6,25% e o método que mescla guincho com animais os danos atingiram 11,28% da área.

Para reduzir os danos ao solo alguns equipamentos podem ser utilizados como o *skidding cone*, arcos, roldanas ou o “*sulky*” (CONWAY, 1978). Pearce e Stenzel (1972) citados por Spinelli; Magagnotti (2012) afirmam que o uso do *sulky* permite maior velocidade na extração, toras mais limpas, menor desgaste dos cabos além de menores distúrbios no solo. Picchio et al. (2012) em estudo realizado com a extração por guincho de *Pinus nigra* em um terreno declivoso em regime de desbaste encontraram que o uso de roldanas diminui de forma significativa os distúrbios gerados ao sítio na atividade de extração.

Além dos danos ao solo de acordo com Aalmo et al. (2016) a atividade de extração com guincho é considerada uma atividade de alto esforço físico quando avaliada as condições dos trabalhadores. Ainda de acordo com o mesmo autor o esforço físico na atividade de extração com guincho aumenta de acordo com o aumento da declividade do terreno, aumentando o esforço ao se puxar o cabo em aclave e diminuindo ao puxa-lo em declive.

Atualmente a extração com o conjunto trator agrícola com guincho conta com tecnologias que permitem realizar a atividade de extração com uma menor exigência física. Alguns dos dispositivos são: cabo de retorno, que possibilita o cabo ser trazido até o ponto de engate das toras sem a exigência de um funcionário realizando seu tracionamento, sistemas de embreagens próprias que evitam o desgaste da embreagem do trator, desbobinador hidráulico de cabo além de controles via rádio permitindo a operação do guincho a distância (Figura 2).

FIGURA 2: DESBOBINADOR, CONTROLES VIA RÁDIO, SISTEMA DE EMBREAGEM PRÓPRIO E CABO DE RETORNO, DA ESQUERDA PARA DIREITA DE CIMA ATÉ ABAIXO.



Fonte: Tajfun Brasil

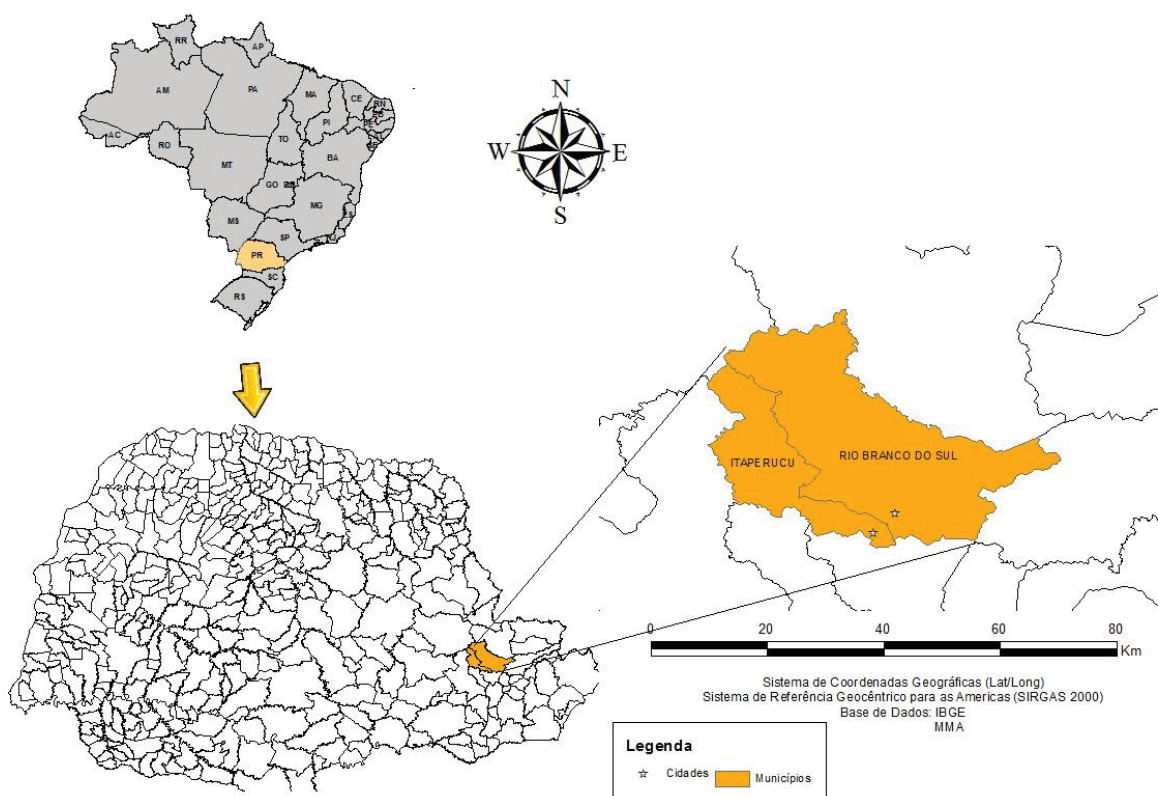
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

4.1.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo localiza-se no município de Itaperuçu e Rio Branco do Sul, Região Metropolitana de Curitiba, Paraná. O trabalho foi conduzido na área de plantio florestal de uma empresa onde foi realizado o corte raso de árvores de *Pinus taeda* com 16 anos de idade, o povoamento possuía em média 563 árvores por hectare e volume médio individual estimado em inventário pré-colheita realizado pela própria empresa de 0,60 m³. A Figura 3 abaixo apresenta a localização dos municípios onde foi desenvolvido o trabalho.

FIGURA 3: LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS ONDE ENCONTRA-SE O LOCAL DE ESTUDO



Fonte: O Autor (2018)

A região caracteriza-se pelo relevo bastante acidentado com declividades predominantes de 20% até 75%, portanto, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Embrapa, 2006), o relevo predominante é forte ondulado e

montanhoso (Figura 4). As altitudes máximas e mínimas em relação ao nível do mar são de 966 metros e 700 metros respectivamente.

FIGURA 4: PERFIL DO RELEVO DO LOCAL DA ÁREA DE ESTUDO



Fonte: O Autor (2018)

4.1.2. CLIMA E VEGETAÇÃO

O clima na região é classificado como Temperado Oceânico (Cfb) de acordo com a classificação de Köppen, sendo temperado úmido caracterizado por inverno com médias de temperaturas abaixo dos 18° C e verões com temperaturas médias abaixo dos 22° C. A vegetação nativa do local é Floresta Ombrófila Mista.

4.1.3. DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO DE COLHEITA FLORESTAL

O sistema de colheita empregado pela empresa era o de Árvores Inteiras, sendo o corte realizado pelo método semimecanizado. A derrubada era realizada por motosserristas, posteriormente, as árvores eram extraídas com guinchos acoplados à terceira tomada de potência de tratores agrícolas.

A equipe usualmente empregada no trabalho de extração contava com um operador de guincho e trator, responsável pela condução do trator até as áreas onde seria realizada a extração, e a operação com o guincho, desbobinar o cabo, recolhendo o cabo, deslocando o trator cheio até o estaleiro e organizando com as sapatas do implemento as árvores no estaleiro.

O operador de cabo era responsável por estender o cabo até as árvores que seriam arrastadas, acorrenta-las e quando estas estavam então no estaleiro desacorrentava-as guardando as correntes no suporte que se encontrava na grade de proteção do guincho. As

instruções de quando começar a puxar o cabo era realizada por visualização do operador de cabo que alertava o momento, obrigando o operador do trator a manter uma torção de tronco uma vez que o banco da máquina não tinha a opção de rotação.

O ciclo operacional em todas as observações foi realizado arrastando um número de 4 árvores era esse também o número de corrente disponibilizadas para a operação.

4.2. DESCRIÇÃO DA MÁQUINA DE EXTRAÇÃO

O trator utilizado para extração foi um trator agrícola da marca Valtra, modelo da linha média BMi125 com cabine e tração 4x4 (Figura 5). Na tabela 1 seguem as especificações do trator:

FIGURA 5: TRATOR ACOMPANHADO DURANTE O ESTUDO



Fonte: O Autor (2018)

TABELA 1: DESCRIÇÃO DO TRATOR VALTRA BMI125

Especificações	
Motor	AGCO POWER 420DSA
Combustível	Diesel ou Biodiesel B100 – ANP 07/2008
Potência Máxima unid – rpm (Normal)	132 cv (96,7 kW) - 2300 (ISO TR 14396)
Torque Máximo unid - rpm (Norma)	459 N.m - 1400 (ISO TR 14396)
Cilindrada (cm ³)	4400

Fonte: Valtra (2017)

O equipamento observado é considerado novo, com menos de 1000 horas de uso. Possuía cabine climatizada e o operador da máquina não necessitava de se retirar da cabine para operar o guincho.

4.3. DESCRIÇÃO DO IMPLEMENTO TMO 33T

O guincho TMO 33T é um guincho de fabricação nacional amplamente utilizado em atividades florestais. Vem equipado com freio hidráulico, escora hidráulica, proteção do trator em casos de rompimento de cabos, roletes de proteção, duas velocidades e marcha ré (utilizada para facilitar a puxamento de cabo).

TABELA 2: DESCRIÇÃO DO GUINCHO TMO 33T

Especificações do guincho TMO 33T	
Resistência mecânica	33.000 kgf·m
Capacidade do cabo de aço	3/4" 120 metros 5/8" 200 metros
Tratores indicados	acima de 90 cv

Fonte: TMO (2017)

No período de coleta de dados, o guincho tinha o mesmo tempo de uso do conjunto trator agrícola guincho, o cabo utilizado pela equipe de extração tinha uma bitola de 19 mm e 120 metros de comprimento. Durante a extração, se o cabo estivesse em um comprimento que não alcançasse as árvores no talhão e caso fosse possível para o conjunto trator agrícola guincho acessar o talhão, então assim o fazia possibilitando a extração dessas árvores. Foi observado que em nenhum momento onde o conjunto trator agrícola guincho entrou no talhão foi extrapolada a declividade de 25°, pois acima dessa declividade o tratorista não acessava o talhão com o conjunto trator agrícola guincho.

FIGURA 6: DETALHE DO IMPLEMENTO UTILIZADO



Fonte: O Autor (2018)

4.4. COLETA DOS DADOS

Foi realizado um estudo de tempos e movimentos da operação de extração com conjunto trator agrícola guincho em:

- Diferentes distâncias de extração

- Diferentes declividades
- Diferentes distâncias até o estaleiro
- Diferentes modais de trabalho.

Não há uma classificação em como os modais de trabalho com conjunto trator agrícola guincho se organizam, mas para isso, neste trabalho, foi proposta uma nomenclatura ou método de classificação de um modal ou equipe de extração com conjunto trator agrícola guincho arrastador. Os modais podem então ser classificados de acordo com a Tabela 3 a seguir:

TABELA 3: MODAIS DE TRABALHO

Modal de trabalho	nº de operadores de trator	nº de operador de cabo
1+0	1	0*
1+1	1	1
1+2	1	2
1+3	1	3

*(o operador de trator faz a atividade de operador de cabo)

Fonte: O Autor (2018)

Neste trabalho foram avaliados os modais de trabalho 1+1 e 1+2. Para fins de nomenclatura foi dividido o que é a atividade de guinchamento e o que é a atividade de arraste. Guinchamento é a operação onde o conjunto trator agrícola guincho estacionado aciona a potência do terceiro ponto, fazendo com que o guincho recolha o cabo com a carga de madeira, movimentando então apenas a carga de madeira. Arraste é a atividade onde o conjunto trator agrícola guincho já com a carga próxima do equipamento fazia o deslocamento do equipamento juntamente com a carga, realizando a tração através dos rodados.

O modal 1+1 é tradicionalmente utilizado na empresa onde foi desenvolvido o estudo, sendo adotada a nomenclatura de **modal tradicional**, constituído por um operador de conjunto trator agrícola guincho que tinha como função operar o conjunto trator agrícola guincho, fazendo o recolhimento do cabo, soltando o cabo além das viagens com o conjunto trator agrícola guincho cheio e vazio. O operador de cabo realizava a puxada de cabo, amarrava os feixes de tora e posicionava o gancho do cabo através das argolas das correntes. Além disso fazia a desamarração do feixe e acondicionava as correntes em local específico do conjunto trator agrícola guincho.

O modal 1+2, foi o modal proposto como alternativa ao já utilizado na empresa, por esse motivo foi dada a nomenclatura de **modal alternativo**. Era formado por um operador de conjunto trator agrícola guincho que exercia as mesmas funções do modal anterior. Os dois

operadores de cabo revezavam-se nas atividades que anteriormente eram realizadas apenas por um operador. Enquanto o conjunto trator agrícola guincho realizava o guinchamento e arraste, um operador de cabo adiantava-se e já iniciava a amarração de feixe de toras, enquanto isso o outro operador de cabo acompanhava o conjunto trator agrícola guincho para realizar a desamarração do feixe de árvores e acondicionava as correntes em um local específico. Quando o conjunto trator agrícola guincho terminava a viagem vazio o mesmo operador de cabo que realizava a desamarração do feixe então puxava o cabo. Ao chegar com o cabo próximo às árvores que seriam extraídas essas já se encontravam amarradas com as correntes, necessitando então que o gancho fosse passado pelas argolas. Terminado o posicionamento do gancho o operador de conjunto trator agrícola guincho realizava então o guinchamento e o operador que inicialmente estava amarrando feixe então trocava de lugar com seu companheiro revezando assim as atividades.

Para tomadas de tempo foi utilizado o método de leitura repetitiva descrita por Barnes (1977). O uso do método foi devido aos elementos do ciclo serem de longa duração, além de facilitar a tabulação dos dados posteriormente, onde o cronometro é zerado ao início de cada elemento. Para tal estudo foi utilizado um cronômetro centesimal da marca Vollo VL237 que registrava os tempos e em seguida já iniciava a contagem de outro elemento, não afetando por tanto a cronometragem por conta do tempo de anotação do tempo do elemento. Posterior a coleta de tempos os dados anotados foram tabulados em uma planilha eletrônica onde então foi feita a conversão dos valores sexagesimal para decimal como descrito por Peinado e Graelm (2007). Tal procedimento foi realizado pela facilidade de processamento dos dados.

O ciclo operacional foi dividido nos seguintes elementos: deslocamento vazio (DV), puxada de cabo (PC), amarração de feixe (AF), guinchamento de feixe (GF), deslocamento cheio (DC), desamarração de feixe (DF) e organização do estaleiro (OE). As descrições dos elementos do ciclo são apresentadas abaixo:

- Deslocamento vazio: inicia com a movimentação do conjunto trator agrícola guincho do estaleiro até o ponto onde era realizada a extração e finalizava com o desligamento do conjunto trator agrícola guincho, podendo assim o operador de cabo começar o próximo elemento do ciclo.
- Puxada de cabo: inicia com o operador de cabo recolhendo as correntes e gancho e puxando-os até o feixe a ser amarrado, finaliza quando o operador de cabo cessa a puxada de cabo jogando o gancho no chão e partindo para a próxima etapa que é a amarração das árvores.

- Amarração de feixe: começa no momento que o operador de cabo deixa o gancho no chão e iniciava a amarração das árvores com uma corrente. O elemento finaliza-se ao ser dado o sinal que o operador de conjunto trator agrícola guincho poderia então começar a guinchar o feixe. No modal com dois operadores de cabo esse elemento do ciclo ocorre concomitantemente às outras atividades que estão sendo realizadas pelo operador de conjunto trator agrícola guincho e pelo outro operador de cabo. Dessa forma a adição de mais um operador de cabo tem por objetivo reduzir o tempo neste elemento do ciclo.
- Guinchada de feixe: inicia no momento que o operador do conjunto trator agrícola guincho começa a recolher o cabo no tambor, arrastando assim o feixe de toras e finaliza quando esse feixe se encontra com mais da metade de seu comprimento sobre a estrada, quando o conjunto trator agrícola guincho pode enfim arrastar as toras sem o auxílio do guincho.
- Deslocamento cheio: inicia com o arraste pela estrada e finaliza quando o operador de conjunto trator agrícola guincho para com o feixe próximo ao estaleiro, não fazendo mais movimentos de arraste.
- Desamarração do feixe: era iniciado com o operador de cabo fazendo os movimentos para retirar as correntes das árvores extraídas e era finalizado no momento que toras as árvores estavam desacorrentadas com as correntes ou sobre o implemento ou de posse do operador de cabo.
- Organização do estaleiro: era iniciado no momento que o operador tinha condições de, com as sapatas do implemento, organizar o estaleiro. Essa organização era realizada para tentar acomodar numa menor área o maior número de árvores, a operação finalizava no momento que o operador julgava que o estaleiro já não poderia ser mais comprimido pela sapata do implemento e então iniciava seu deslocamento para o ponto de extração.

Inicialmente foi conduzido um estudo-piloto a fim de definir um número de observações mínimas necessárias para um erro de amostragem de 10% a um nível de significância de 95%. Foi possível definir um número mínimo de ciclos necessários para cada modal para realização do estudo (equação 1) de acordo com Peinado e Graemi (2007):

$$n \geq \left(\frac{Z \times R}{E \times d_2 \times \bar{x}} \right)^2 \quad (1)$$

Em que: n = número mínimo de ciclos necessários ao nível de significância e tal erro; Z = coeficiente de distribuição normal para uma probabilidade determinada; R = amplitude das amostras dos tempos dos ciclos operacionais; E = erro admissível; d_2 = coeficiente de acordo com o número de cronometragens realizadas no estudo piloto; \bar{x} = média dos valores observados nos tempos dos ciclos operacionais.

Os tempos dos ciclos foram coletados entre março e maio de 2017, em um total de 15 dias úteis durante o período de Outono totalizando mais de 49 horas de coleta e um total de 147 ciclos, superando em mais de o dobro o número de ciclos necessários para um erro de amostragem de 10% a um nível de significância de 95% no modal tradicional e no modal alternativo.

As distâncias de extração e distâncias até os estaleiros foram aferidas com o auxílio de um GPS de navegação da marca Garmin, modelos 76csx com erros de ± 3 metros onde as distâncias entre os pontos eram posteriormente visualizadas com auxílio do aplicativo Quantum GIS levando em consideração a diferença de altimetria entre esses pontos. Foram registrados os pontos da localização de onde o conjunto trator agrícola guincho estacionava para realizar a extração, o ponto onde se encontravam as árvores a serem guinchadas, o estaleiro onde eram depositadas as árvores e ponto na beira do talhão de onde o conjunto trator agrícola guincho saía do talhão e entrava na estrada. O Datum Planimétrico utilizado foi o WGS 84 e o altimétrico foi o Datum de Marégrafo de Imbituba, SC.

A declividade do terreno foi aferida com um Vertex III, sendo duas medidas eram tomadas. O ponto de referência foi marcado no capacete do operador puxador de cabo que se encontrava a altura dos olhos do operador do aparelho.

4.5. ANÁLISE OPERACIONAL

Para a análise operacional foram avaliados indicadores de produtividade, como a disponibilidade mecânica, eficiência operacional e taxa de utilização. Para realizar o cálculo desses indicadores de produtividade foram utilizados os diários de controle operacional preenchidos pelos operadores do conjunto trator agrícola guincho, nesse caso pelo operador do TG 11. Nesses diários de controle operacional eram anotados horários e ocasiões que porventura interrompessem a operação. Para isso foram utilizados os diários de controle operacional do período de janeiro de 2017 até maio de 2017.

A contribuição percentual dos elementos do ciclo operacional no ciclo total foi estimada considerando os ciclos que estavam a uma distância de extração acima de 50 metros até 150 metros e distância de estaleiro até 100 metros. Foi realizada uma relação entre o

tempo desses elementos divididos pelo tempo total de ciclo. Essa operação foi realizada nas operações com 1 e 2 operadores de cabo a fim de comparar onde houve alteração na contribuição dos elementos no ciclo operacional.

Para determinação dos indicadores de produtividade foi utilizada a metodologia proposta por Paccola (2011) e adotada por Robert (2013) descrita à seguir, onde são adotados os termos disponibilidade mecânica, eficiência operacional e taxa de utilização.

4.5.1. DISPONIBILIDADE MECÂNICA

A disponibilidade mecânica expressa em termos relativos o tempo em que a máquina esteve apta para atividade e é considerado no cálculo o tempo de manutenção que de fato interrompeu o uso do maquinário. O cálculo de disponibilidade mecânica a seguir, e o cálculo de outros índices de produtividade foram calculados de acordo com o proposto por Paccola (2011) e adotado por Robert (2013) (equação 2):

$$DM = \frac{HT - HM}{HT} \times 100 \quad (2)$$

Em que: DM = disponibilidade mecânica; HT = tempo programado de trabalho; HM = tempo gasto com manutenção da máquina.

4.5.2. EFICIÊNCIA OPERACIONAL

Exprime o tempo gasto com paradas de ordem técnica, interrupções como necessidades fisiológicas, hidratação, obstrução temporárias da estrada por outros veículos, entre outros (equação 3):

$$EO = \frac{(HT - \text{int})}{HT} \times 100 \quad (3)$$

Em que: EO = eficiência operacional; HT = tempo de trabalho programado; int = interrupções de ordem técnica.

4.5.3. TAXA DE UTILIZAÇÃO

A taxa de utilização é o produto de dois valores relativos, a disponibilidade mecânica e eficiência operacional e expressa o real tempo em que a máquina esteve em uso dentro do programado para sua operação (equação 4):

$$TU = EO \times DM \quad (4)$$

Em que: TU = taxa de utilização; EO = eficiência operacional; DM = disponibilidade mecânica.

4.5.4. DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE

A determinação da produtividade da extração em $m^3 \cdot he^{-1}$ foi possível através da multiplicação do volume médio individual das árvores extraídas estimadas pelo inventário pré-colheita pelo número médio de toras extraídas por ciclo e o número de ciclos realizados em uma hora efetiva de trabalho (equação 5):

$$Pr = n(Vmi) \times \frac{60}{t_{ciclo\ i}} \quad (5)$$

Em que: Pr = produtividade de um ciclo ($m^3 \cdot he^{-1}$); n = número de toras extraídas por ciclo; Vmi = volume médio individual com casca determinado por inventário pré-corte (m^3); $t_{ciclo\ i}$ = tempo efetivo para realização do ciclo i (minutos decimais).

4.5.5. CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL

O consumo específico expressa a quantidade de combustível consumida por unidade de potência nominal da máquina (equação 6):

$$C_{esp} = \frac{D \times C_c}{Pt} \quad (6)$$

Em que: C_{esp} = consumo específico de combustível ($g\ kW\ he^{-1}$); D = densidade do diesel ($g\ L^{-1}$) para este trabalho utilizou-se o valor de $0,856\ g\ cm^3$ como descrito por Agarwal (2007); C_c = consumo de combustível por hora efetiva de trabalho ($L\ he^{-1}$); Pt = potência nominal do trator (kW).

4.5.6. RENDIMENTO ENERGÉTICO

O rendimento energético expressa a quantidade de energia por unidade de potência nominal da máquina para se extrair um metro cúbico de madeira com casca (equação 7):

$$RE = \frac{C_{esp}}{Pr} \quad (7)$$

Em que: RE = rendimento energético ($\text{g kW}^{-1} \text{ m}^3$); Cesp = consumo específico de combustível (g kW he^{-1}); Pr = produtividade do ciclo ($\text{m}^3 \text{ he}^{-1}$).

4.6. ANÁLISE DE CUSTOS

Para fins de comparação foram calculados os custos de produção do metro cúbico de madeira nos dois modais de trabalho. Os valores estimados foram com base em dados fornecidos pela empresa onde foi realizado o estudo. Os valores fornecidos em reais foram convertidos para dólares americanos de acordo com a taxa de câmbio no dia 28 de abril de 2017 (US\$ 1 = R\$ 3,1732).

4.6.1. CUSTOS OPERACIONAIS

Por meio do método contábil, com a utilização de valores reais e estimados, pôde ser realizado o cálculo dos custos operacionais das máquinas.

4.6.1.1. CUSTOS FIXOS

Custos fixos são aqueles que independem da taxa de utilização do maquinário, ou seja, com maior ou menor uso os custos mantêm-se os mesmos num determinado intervalo de tempo. São considerados custos fixos a depreciação da máquina, seguro e juros, custo administrativo e custo com pessoal operacional.

4.6.1.2. DEPRECIÇÃO

Para o cálculo da depreciação, uma forma de se calcular o valor investido, foi utilizada uma adaptação da equação proposta por Simões e Fenner (2010) (equação 8). Foi utilizado o método da depreciação linear, resultante da razão da subtração do valor investido na máquina e implemento menos o valor de retorno do investimento sobre a vida útil multiplicado pelo número de horas efetivamente trabalhadas no ano. Para o cálculo se considerou uma máquina com vida útil de 10 anos e um valor residual de 20%:

$$DP = \frac{Va - Vr}{N \times He_a} + \frac{(n_c \times C_{co} + n_{ca} \times C_{ca})}{He_a} \quad (8)$$

Em que: DP = depreciação linear da máquina (US\$·he⁻¹); Va = valor de aquisição da máquina e implemento (US\$); Vr = valor residual da máquina e implemento (US\$), considerado aqui em 20% depois de 10 anos de uso; C_{co} = valor de uma corrente (US\$); C_{ca} = valor do metro do cabo (US\$); n_c = número de correntes usadas na operação; n_{ca} = quantidade de metros instaladas no trator; N = vida útil da máquina (anos); He_a = horas efetivas trabalhadas anualmente.

4.6.1.3. JUROS

Para cálculo dos juros utilizou-se a equação 9 adotada por Simões et al. (2010) e Simões e Fenner (2010). Foi considerada uma taxa de juros anual de 10% (taxa básica de juros praticados no Brasil na época do estudo) e um valor residual de 20% do custo de aquisição do equipamento (equação 9):

$$J = \frac{Va + Vr}{2 \times He_a} \times i \quad (9)$$

Em que: J = juros (US\$·he⁻¹); Va = valor de aquisição da máquina (US\$); Vr = valor residual da máquina, utilizado nesse caso 20% do valor de aquisição (US\$); i = taxa de juros e de seguro; He_a = horas efetivas trabalhadas por ano.

4.6.1.4. SEGUROS

Nesse ponto foram calculados os custos envolvidos na proteção do patrimônio contra sinistros, incêndios e roubos. Utilizou-se um fator de ajuste de 0,25% em relação ao valor de aquisição do equipamento conforme equação 10 usada por Simões e Fenner (2010).

$$S = \frac{Va \times Fa}{He_a} \quad (10)$$

Em que: S = custo com seguros (US\$·he⁻¹); Va = valor de aquisição da máquina (US\$); Fa = fator de ajuste, no caso 0,25%; He_a = horas efetivamente trabalhadas em um ano.

4.6.1.5. CUSTOS ADMINISTRATIVOS

Os custos administrativos foram calculados de acordo com que determina a ASAE (2001), utilizado por Simões e Fenner (2010) e Robert (2013). Os custos foram calculados com base no valor de aquisição da máquina com o implemento (equação 11):

$$C_{adm} = \frac{V_a \times FA}{he} \quad (11)$$

Em que: C_{adm} = custos administrativos (US\$·he⁻¹); V_a = valor de aquisição (US\$); FA = fator de ajuste de 1,0%; he = horas efetivas trabalhadas em 1 ano.

4.6.1.6. CUSTOS COM PESSOAL OPERACIONAL

Na composição dos custos com pessoal operacional levou-se em consideração os salários e os encargos que incidem sobre os salários desses funcionários (décimo terceiro, férias, INSS, FGTS e etc) além dos custos de transporte desses funcionários, alimentação (equação 12), esses dados foram obtidos junto à empresa.

$$C_{po} = \frac{Ct_m + n \times COC_m}{He_m} \quad (12)$$

Em que: C_{po} = custo com pessoal operacional por hora efetiva de trabalho (US\$·he⁻¹); CT_m = custos de um tratorista mensalmente (US\$); n = número de operadores de cabo; COC = custos de um operador de cabo mensalmente (US\$); He_m = horas efetivas trabalhadas em um mês.

4.6.2. CUSTOS VARIÁVEIS

A frequência do uso da máquina está diretamente ligada ao aumento ou diminuição dos custos variáveis. Ou seja, esse custo é formado pelos itens consumidos enquanto a máquina está em utilização: rodados, combustível, óleos e graxas e manutenção. Essa é então a característica que define os custos variáveis, sendo, portanto, os custos que oscilam de acordo com a produção.

4.6.2.1. COMBUSTÍVEL

Considerou-se aqui o custo do consumo de óleo diesel pelas máquinas por hora efetiva de trabalho (equação 13). Os valores de custo de um litro e o consumo por hora efetiva trabalhada foram fornecidos pela empresa.

$$Cc = Pu \times C \quad (13)$$

Em que: C_c = custo de combustível ($\text{US\$}\cdot\text{he}^{-1}$); P_u = preço de um litro de diesel (US\$); C = consumo de combustível por hora efetiva trabalhada.

4.6.2.2. CUSTO COM LUBRIFICANTES

Esse custo refere-se ao consumo de graxas e lubrificantes utilizados no trator e implemento. Foi considerado para o cálculo (equação 14) desse custo o consumo de combustível multiplicado por um fator Silva et al. (2010), Leite (2012), Santos et al. (2013) e Ackerman et al. (2014) uma vez que o controle de consumo de lubrificantes não é tão rígido quanto o de combustível.

$$Cl = CC \times fl \quad (14)$$

Em que: Cl = custo com lubrificantes ($\text{US\$}\cdot\text{he}^{-1}$); CC = custos com combustível (US\$); fl = fator de correção utilizado de 0,5.

4.6.2.3. CUSTOS COM MATERIAL RODANTE

O custo com material rodante refere-se aos gastos com pneus e esteiras, no caso do trator agrícola é em relação com os custos de um jogo de pneus (equação 15).

$$Cr = n \times \frac{Vp}{H} \quad (15)$$

Em que: Cr = custos de material rodante ($\text{US\$}\cdot\text{he}^{-1}$); n = número de pneus; Vp = valor de aquisição de material rodante (US\$); H = vida útil do material rodante ($\text{h}\cdot\text{he}^{-1}$).

4.6.2.4. MANUTENÇÃO

Os custos com manutenção correspondem aos custos que envolvem manutenção, reparos, preventivos ou corretivos durante a vida útil da máquina, bem como encargos sociais, mão-de-obra envolvida na manutenção, peças e outros materiais. Foi adotada a metodologia (equação 16) proposta por Simões e Fenner (2010), a máquina estudada encontrava-se com menos de um ano de uso e para fins de facilitar a estimativa dos custos de manutenção foi considerada a máquina tendo exatamente um ano de uso:

$$Cmr = \frac{\left[Va \times FR_1 \left(\frac{h+He}{1000} \right)^{FR_2} \right] - \left[Va \times FR_1 \left(\frac{h}{1000} \right)^{FR_2} \right]}{He} \quad (16)$$

Em que: Cmr = custos com manutenção e reparos (US\$·he⁻¹); Va = valor de aquisição (US\$); FR₁ = fator de reparo; FR₂ = fator de reparo; h = horas de uso acumulada até o início da análise; He = horas efetivas de uso em um ano.

4.6.3. CUSTO OPERACIONAL TOTAL

Os custos operacionais (equação 17) referem-se ao custo que incide na operação de extração em uma hora efetivamente trabalhada. É calculada levando em consideração a somatória dos elementos que compõem os custos fixos (equação 18) e variáveis (equação 19) conforme mostra-se abaixo.

$$Cot = CF + CV \quad (17)$$

$$CF = DP + J + C_{adm} \quad (18)$$

$$CV = Cpo + Cr + Cl + Cc + Cmr \quad (19)$$

Em que: Cot = custos operacionais totais (US\$·he⁻¹); CF = custos fixos; CV = custos variáveis; DP = depreciação; J = juros e seguros; C_{adm} = custos administrativos; Cpo = custos com pessoal operacional; Cr = custos com material rodante; Cl = custos com lubrificantes; Cc = custos com combustível; Cmr = custos com manutenção.

4.6.4. CUSTO DE PRODUÇÃO

O custo de extração de madeira foi calculado ao dividir-se o custo operacional em horas efetivas (he) pela produtividade de uma hora efetiva de trabalho (m³·he⁻¹), (equação 20):

$$Cem = \frac{Cot}{Pr} \quad (20)$$

Em que: Cem = custo de extração da madeira (US\$ m³); Cot = custo operacional total (US\$ he⁻¹); Pr = produtividade do ciclo (m³ ·he⁻¹).

4.7. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Foi realizada uma análise de sensibilidade dos custos operacionais e custos de produção a fim de determinar os valores mínimos, médios e máximos das variáveis mais relevantes para determinação dos custos de extração com conjunto trator agrícola guincho. Para isso foi considerada uma variação de 20% para mais e para menos nos valores dos componentes dos custos de operação. A análise foi realizada considerando um cenário com distância de extração de 100 metros, distância até o estaleiro de 30 metros e declividade de 40% onde foi considerado a produtividade média estimada neste cenário para os dois modais. Posterior a realização da análise de sensibilidade os dados foram plotados em um gráfico *spiderplot*.

4.8. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

4.8.1. TESTE DE NORMALIDADE

Antes de se realizar qualquer análise estatística foram realizados testes de normalidades com os dados a fim de verificar se sua distribuição de probabilidade se aproximava de uma distribuição que justificasse o uso de algum teste paramétrico. Para isto foi realizado o teste de Kolgomorov-Smirnov.

4.8.2. HOMOGENEIDADE DAS VARIÂNCIAS

Confirmado a normalidade dos dados foi realizado um teste de Bartlett que se adéqua a dados normais para conferir a igualdade das variâncias.

4.8.3. AJUSTE DE MODELOS ESTATÍSTICOS

Foram ajustados 3 modelos lineares onde, um modelo agrupava os dois tratamentos, com um e com dois operadores de cabo, e foram ajustados mais outros dois modelos, um para cada modal de trabalho. O modelo ajustado está apresentado na equação 21:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \times X + \varepsilon \quad (21)$$

Em que: Y = variável dependente; β_0 = intercepto; β_1 = coeficiente angular; X = variável independente (distância de extração, distância de arraste e declividade); ε = erro padrão.

Posterior aos ajustes para verificar a diferença na soma dos quadrados das regressões foi realizado um teste F de Graybill que permite realizar a inferência se os modelos ajustados para cada modal de trabalho podem ser agrupados num único modelo. Em outras palavras, rejeitando-se H_0 do teste F de Graybill permite-se inferir que o comportamento em cada modal de trabalho é distinto e diferente estatisticamente.

Ao rejeitar H_0 no teste F de Graybill foi então realizado um ajuste com a adição de uma variável binária (*Dummy*) que representa o modal de trabalho (variável qualitativa). A finalidade da variável *Dummy* é justamente fazer com que o modelo se adeque as diferenças existentes nos dois modais de trabalho.

Foi realizada uma regressão com variável *Dummy* que tem como objetivo estimar o comportamento dos tempos efetivos dos ciclos operacionais de uma série de variáveis não correlacionadas explicativas, dessa forma foi possível avaliar a forma como os tempos efetivos dos ciclos operacionais se comportam em diferentes distâncias de extração, distância até o estaleiro e principalmente em diferentes modais de trabalho.

Variáveis *Dummy* são valores binários adicionados à regressão onde esses assumem um caráter qualitativo dos dados. No caso a variável *Dummy* adicionada foi o número de funcionários na operação, onde dois funcionários (operador de cabo e operador de conjunto trator agrícola guincho) assumiu o valor de 0 (zero) e três funcionários (dois operadores de cabo e um operador de conjunto trator agrícola guincho) assumiu o valor de 1 (um). Dessa forma é possível estimar pelo valor p (p-value) se a variável *Dummy* explica a variável dependente, além das outras variáveis quantitativas, distância de extração, distância até o estaleiro e declividade.

O modelo utilizado na regressão com a variável dummy é o da equação 22 a seguir:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X + \beta_2 \cdot Z + \beta_3 \cdot XZ + \varepsilon \quad (22)$$

Em que: Y = variável dependente; β = coeficientes da regressão; X = variável independente (distância de extração, distância de arraste e declividade); Z = variável *Dummy*.

O ajuste foi avaliado pelo coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da estimativa e análise gráfica dos resíduos.

O coeficiente de determinação (R^2) de acordo com Campos e Leite (2009) indica a proporção da soma de quadrados total que é explicado pelo modelo de regressão. É uma estatística que deve ser utilizada com cuidado, pois é possível aumentá-la ao se adicionar variáveis independentes no modelo (MONTGOMERY e RUNGER, 2009). Por esse motivo é

utilizado o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) que penaliza a inclusão de variáveis que pouco explicam o ajuste (MONTGOMERY e RUNGER, 2009). Para se calcular o R^2_{aj} utiliza-se a equação 23:

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{n - 1}{n - (k + 1)} \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_1)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_1)^2} \right) \quad (23)$$

Em que: n = número de amostras; k = número de coeficientes; $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_1)^2$ = soma dos quadrados total; $\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_1)^2$ = soma dos quadrados do resíduo.

O ajuste possibilita prever com que precisão os valores são estimados, enquanto o erro padrão da estimativa ($Sy_x\%$) indica o erro esperado ao se estimar um valor y em um ajuste de regressão. O erro padrão da estimativa pode ser calculado pela equação 24:

$$Sy_x\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{observado}} - Y_{\text{estimado}})^2}{n - k}} \quad (24)$$

Em que: $Y_{\text{observado}}$ = valor observado; Y_{estimado} = variável dependente estimada; n = número de observações; k = número de coeficientes.

Foi realizada a análise gráfica do resíduo, para isso anteriormente será calculado o resíduo da estimativa de acordo com a equação 25:

$$R(\%) = \frac{Y_{\text{estimado}} - Y_{\text{observado}}}{Y_{\text{observado}}} \times 100 \quad (25)$$

Em que: Y_{estimado} = variável dependente estimada; $Y_{\text{observado}}$ = valor observado.

Além de gráficos de resíduos foram plotados gráficos para verificar como a regressão se ajustava, permitindo assim realizar inferências ao comportamento da variável dependente em relação a distância de extração.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta os resultados dos indicadores de produtividade do conjunto trator agrícola guincho, em ambos os modais. Pode ser observado que não houve alteração significativa na taxa de utilização ao se adicionar um segundo operador de cabo.

TABELA 4: INDICADORES DE PRODUTIVIDADE NOS DOIS MODAIS DE TRABALHO ESTUDADOS

Modais de trabalho	Indicadores de produtividade (%)		
	DM	EO	TU
Modal Tradicional	93,065	69,014	64,228
Modal Alternativo	93,134	69,318	64,559

Em que: DM = disponibilidade mecânica; EO = eficiência operacional; TU = taxa de utilização.

Fonte: O Autor (2018)

Por se tratar de um trator novo sua disponibilidade mecânica manteve-se alta, apresentando durante o estudo apenas duas falhas de ordem mecânica ocorreram: um defeito no freio do guincho ocasionado por falha humana e o rompimento de um cabo, situação encontrada nesse tipo de operação com cabos.

A eficiência operacional foi reduzida devido a paradas de diversas naturezas. A principal delas foi o deslocamento dos funcionários até a frente de trabalho. As interrupções para se resgatar de eventuais atolamentos de caminhões na estrada e estradas obstruídas por outros veículos, sendo esses os motivos de maior relevância na perda de eficiência operacional.

5.1. CONTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS DO CICLO

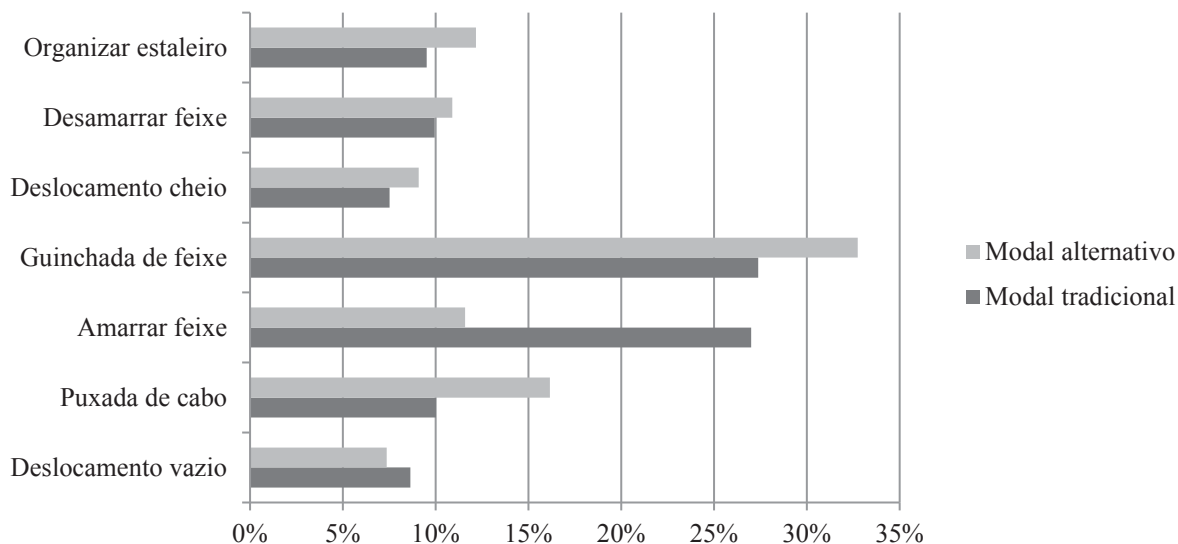
A Tabela 5 e Figura 7 a seguir apresentam a contribuição dos elementos do ciclo para formação do ciclo efetivo operacional.

TABELA 5: CONTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS DO CICLO PARA O CICLO OPERACIONAL EFETIVO

	Contribuição dos elementos do ciclo (%)		
	Modal Tradicional	Modal Alternativo	Variação
DV	8,63	7,36	-1,28
PC	10,01	16,16	6,15
AF	27,00	11,58	-15,41
GF	27,39	32,75	5,36
DC	7,51	9,09	1,58
DF	9,94	10,89	0,95
OE	9,52	12,17	2,65

Total	100	100
Em que: DV = deslocamento vazio; PC = puxada de cabo; AF = amarrar feixe; GF = guinchada de feixe; DC = deslocamento cheio; DF = desamarração de feixe; OE = organização de estaleiro.		
Fonte: O Autor (2018)		

FIGURA 7: DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS DO CICLO EM DIFERENTES MODAIS DE TRABALHO.



Fonte: O Autor (2018)

No modal de trabalho tradicional os elementos amarrar feixe e guinchada de feixe são os mais representativos. O elemento amarrar feixe consegue uma boa redução ao adicionar um segundo operador de cabo, ganhando de outros elementos de maior peso.

Em trabalho com *chocker-skidder* Lopes e Diniz (2015) dividiram o ciclo de forma diferente, mas encontraram no elemento puxada de cabo e engate de correntes uma contribuição de 28% no ciclo, abaixo do que encontrado aqui no modal tradicional que fica em 37,01%. Já o modal alternativo o valor fica próximo com 27,74%.

Um detalhe importante é que o ciclo operacional de um *chocker-skidder* se assemelha bastante do realizado por um conjunto trator agrícola guincho, guardadas as proporções das máquinas. No trabalho realizado por Lopes e Diniz (2015) também ocorriam de funcionários previamente amarrarem o feixe de árvores, tornando uma operação parecida com a operação no modal alternativo aqui estudado e, por conta disso, valores na contribuição dos elementos do ciclo semelhantes quando analisados o puxamento do cabo e amarração do feixe de toras.

Fica evidenciado que com a adição de um segundo operador de cabo ocorre a melhora nos tempos do elemento de amarração do feixe. Ainda assim, mesmo com a adição o elemento ainda corresponde a mais de 10% do ciclo efetivo. Isso ocorre devido o fato que passar o gancho pelas argolas das correntes ainda leva um tempo, principalmente caso as

árvores amarradas com as correntes estiverem distantes entre si. Deve ser considerado que em longas distâncias de extração o peso do cabo esticado pode superar em 100 kg, exigindo um grande esforço do operador de cabo passar o gancho pelas argolas das correntes.

Uma forma que pode reduzir esse tempo de amarrar o feixe é com o uso de um cabo adicional (*tag line*) que já faz a passagem pelas argolas das correntes e então facilita o engate no gancho do guincho, dessa forma reduz ainda mais os tempos para realização da amarração do feixe.

A melhora no valor de guinchada do feixe pode ser obtida ao alterar a relação de engrenagem do guincho, diminuindo sua capacidade de tração com o objetivo de aumentar a velocidade de guinchamento.

Juntos em ambos os modais de trabalho o tempo dessas viagens contribuem com 15% do tempo do ciclo efetivo. Destaca-se a importância de se planejar os estaleiros com a intenção de tornar essas viagens mais curtas, lembrando que o operador de cabo tem que percorrer o mesmo trajeto que o conjunto trator agrícola guincho para realizar o desengate das toras.

A realização de um planejamento da localização e tamanho dos estaleiros permitirá que o conjunto trator agrícola guincho passe mais tempo realizando de fato a extração da madeira de dentro do talhão. Lopes e Diniz (2015) encontraram nos mesmos elementos, deslocamento cheio e vazio, um valor próximo de 10% de um ciclo total. Apesar disso, no estudo consideraram as interrupções (40%), retiradas as interrupções os elementos deslocamento vazio e deslocamento cheio ficam próximos de 16%, valores bem próximos dos encontrados no presente estudo.

5.2. ESTIMATIVA DE TEMPO DE CICLO E PRODUTIVIDADE

Abaixo a Tabela 6 apresenta os resultados dos ajustes realizados sem distinção de modais e nos dois modais separados.

TABELA 6: RESUMO DO AJUSTES FEITOS PARA PRODUTIVIDADE E TEMPO NOS MODAIS DE TRABALHO E NO CONJUNTO DE DADOS

	Tempo (minuto decimal)		
	Modelo reduzido	Modelo Modal Tradicional	Modelo Modal Alternativo
R ² aj	0,4556	0,6889	0,6155
Syx	2,2031	1,5696	1,3862
Syx%	15,81	11,27	9,95
β ₀	5,9101	6,4367	6,4314
β ₁	0,0434	0,0534	0,0313

β_2	0,0258	0,0172	0,0715
β_3	0,0577	0,0645	-0,0219ns
Produtividade (m ³ he-1)			
	Modelo reduzido	Modelo Modal Tradicional	Modelo Modal Alternativo
R ² aj	0,3622	0,6410	0,6501
Syx	1,8943	1,1542	1,3392
Syx%	17,50	10,66	12,27
β_0	16,5512	15,7872	19,8166
β_1	-0,0328	-0,0363	-0,0493
β_2	-0,0181	-0,0098	-0,0650
β_3	-0,0381	-0,0473	0,0119ns

R²Aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx: erro padrão da estimativa; Syx(%)= erro padrão da estimativa; β_0 = intercepto; β_1 = coeficiente da distância de extração; β_2 = coeficiente da distância até o estaleiro; β_3 = coeficiente da declividade.

ns = coeficiente não significativo (p valor > 0,05)

Fonte: O Autor (2018)

Posterior aos ajustes realizados foi então por meio de análise de variância avaliado se existia diferença significativa entre as somas dos quadrados das regressões ajustadas, tanto para estimativa de tempo quanto de produtividade.

Ambas as situações houve diferença significativa entre os modelos reduzidos e os modelos com os modais dos trabalhos separados como pode ser observado na Tabela 7.

TABELA 7: RESULTADO DO TESTE F DE GRAYBILL PARA AS REGRESSÕES COM TEMPO E PRODUTIVIDADE

Modelo	F calc	F tab
Tempo	4,1056*	2,6815
Produtividade	9,2504*	2,6815

*significativo a 95% de certeza

Fonte: O Autor (2018)

Sendo rejeitada H₀ assume-se a hipótese H₁ sendo verdadeira e demonstrando que os modais de trabalho apresentam tendências distintas que não podem ser agrupadas e explicadas pelo modelo reduzido.

Na Tabela 8 são apresentados os resumos dos ajustes por meio de regressão com variável *dummy* que ajustam o modelo com a adição de uma variável binária que assume um caráter qualitativo, neste caso os modais de trabalho.

TABELA 8: RESUMO DA REGRESSÃO COM VARIÁVEL DUMMY DO TEMPO DE CICLO NOS DOIS MODAIS

	Tempo		Produtividade	
R ² aj	0,7376		0,7242	
Syx	1,5042		1,2260	
Syx%	10,80		11,33	
	Coeficientes	p-Valor	Coeficientes	p-Valor

β_0	6,4314	0,0018	19,8166	$3,15703 \times 10^{-22}$
β_1	0,0053ns	0,9980	-4,0295	0,0230
β_2	0,03126	0,0400	-0,0493	0,0001
β_3	0,0534	$4,9992 \times 10^{-17}$	-0,0363	$3,28947 \times 10^{-13}$
β_4	0,0715	$4,71562 \times 10^{-08}$	-0,0650	$1,93681 \times 10^{-09}$
β_5	0,0172	$2,83097 \times 10^{-09}$	-0,0098	$1,69119 \times 10^{-05}$
β_6	-0,0219ns	0,3815	0,0119ns	0,5580
β_7	0,0645	$2,36967 \times 10^{-06}$	-0,0473	$1,86836 \times 10^{-05}$

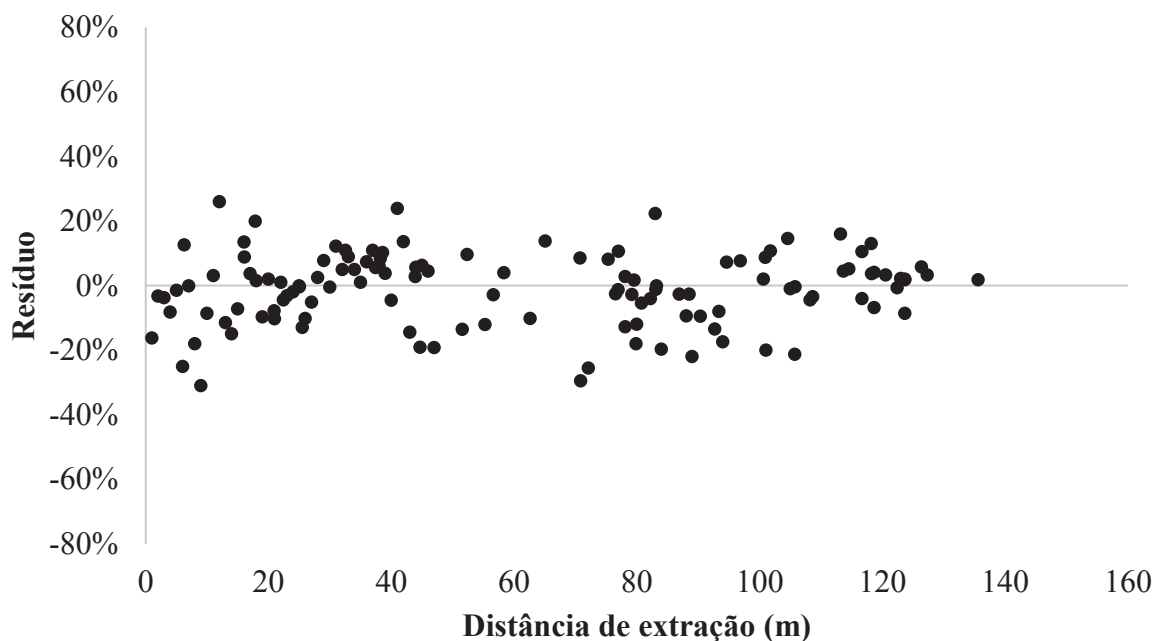
R^2_{Aj} = coeficiente de determinação ajustado; $Syx(\%)$ = erro padrão da estimativa; β_0 = intercepto; β_1 = coeficiente da *Dummy* do modal alternativo; β_2 = multiplicação da variável *Dummy* do modal tradicional pela distância de extração; β_3 = multiplicação da variável *Dummy* do modal alternativo pela distância de extração; β_4 = multiplicação da variável *Dummy* do modal tradicional pela distância de arraste; β_5 = multiplicação da variável *Dummy* do modal alternativo pela distância de arraste; β_6 = multiplicação da variável *Dummy* do modal tradicional pela distância de declividade; β_7 = multiplicação da variável *Dummy* do modal alternativo pela distância de declividade.

ns = coeficiente não significativo (p valor > 0,05)

Fonte: O Autor (2018)

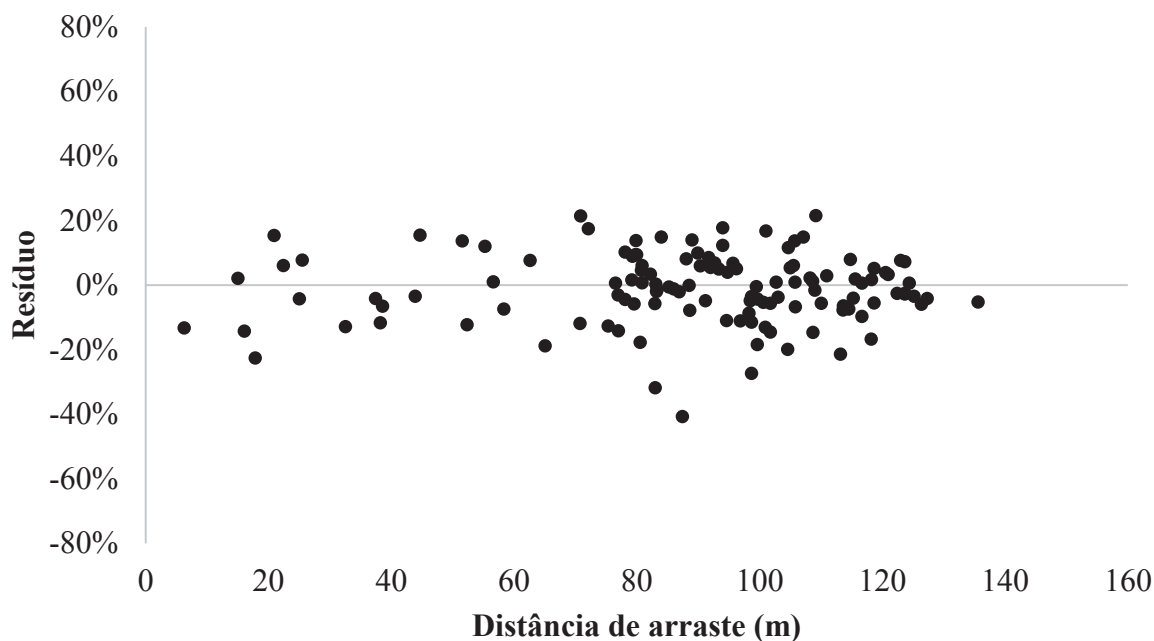
Nas Figuras 8 e 9 podem ser verificadas as distribuições dos resíduos ao longo da distância de extração. Observa-se que os ajustes não criaram superestimativas ou subestimativas na predição nem do tempo quanto da produtividade. Não há também nenhuma tendenciosidade aparente observando o gráfico de resíduo dos ajustes.

FIGURA 8: DISTRIBUIÇÃO DO RESÍDUO EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO NAS ESTIMATIVAS DE TEMPO DE CICLO OPERACIONAL



Fonte: O Autor (2018)

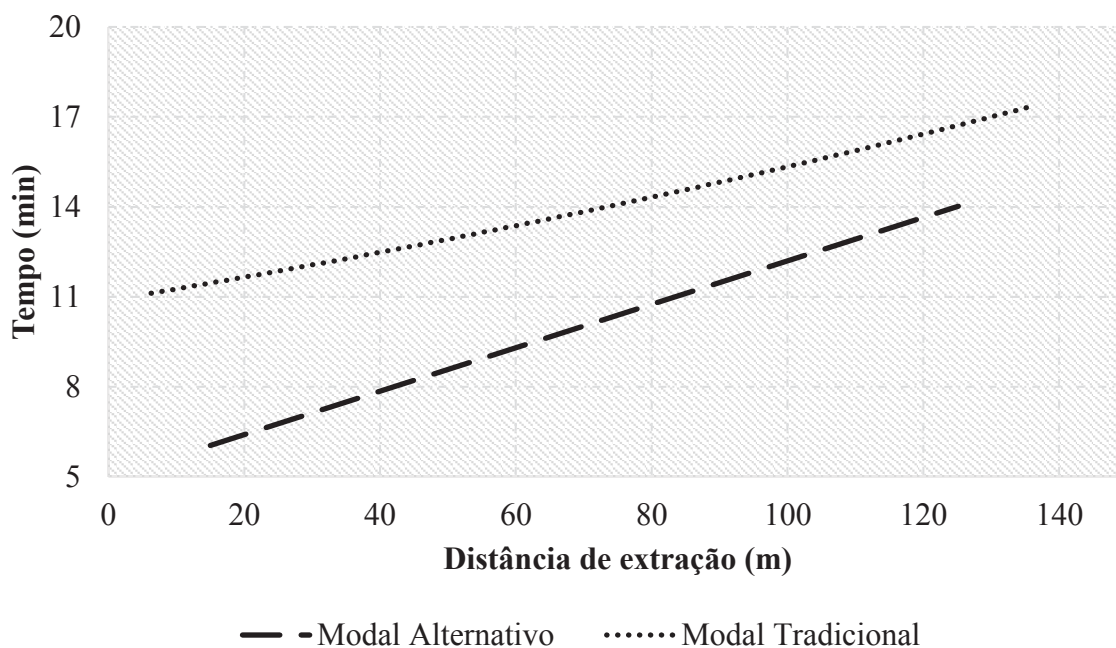
FIGURA 9: DISTRIBUIÇÃO DO RESÍDUO EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO NAS ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE



Fonte: O Autor (2018)

Abaixo nas figuras 10 e 11 estão apresentados a forma com que o tempo e a produtividade se comportam em relação a distância de extração. Pode ser observada uma tendência ao modal de trabalho com modal alternativo apresentar uma melhor produtividade em decorrência de um menor tempo de ciclo, isso justificado que não houve alteração no volume de madeira extraído por ciclo, mas o modal alternativo apresentou um tempo de ciclo menor.

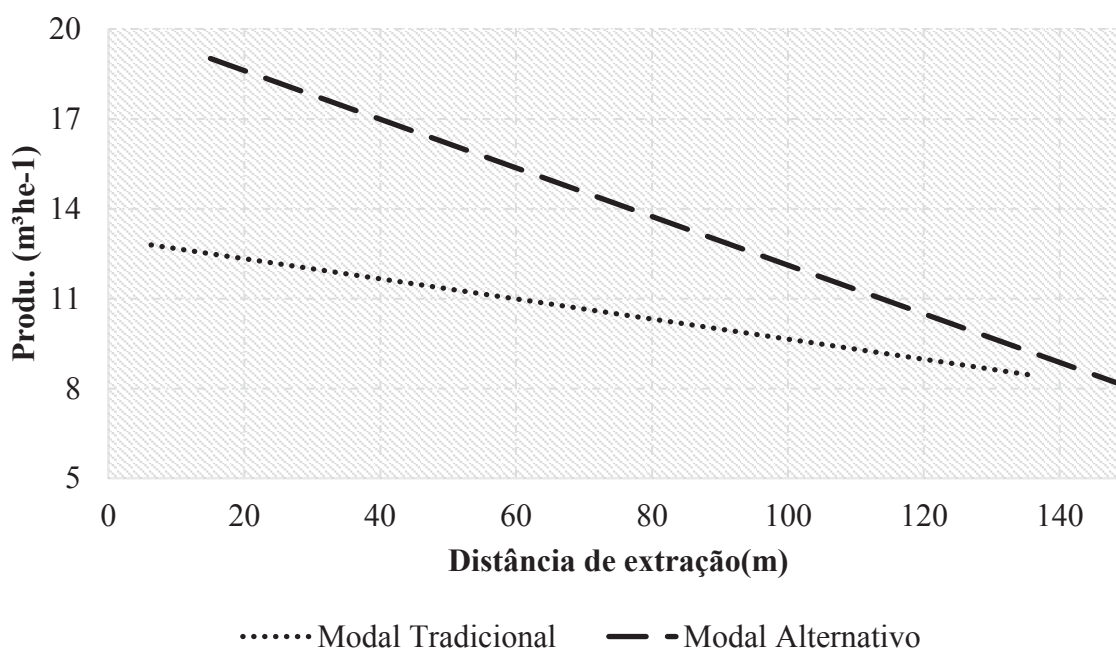
FIGURA 10: ESTIMATIVA DE TEMPO EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO.



Fonte: O Autor (2018)

Apesar dessa melhora, nota-se que ao aumentar a distância de extração da madeira o modal com dois operadores de cabo tende a piorar de forma mais acentuada, levando mais tempo por ciclo acarretando em queda da produtividade. Isso decorre do fato da melhora ocasionada pelo segundo operador de cabo ocasionar um menor tempo justamente no elemento amarração do feixe. Quando se trabalha com distâncias de extração maiores, outros elementos ganham importância como tempo de puxada de cabo e tempo de guinchamento. Isso faz com que a melhora seja diluída em outros elementos do ciclo, perdendo assim o efeito caso a extração ocorresse em distâncias menores.

FIGURA 11: ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO



Fonte: O Autor (2018)

A produtividade do conjunto trator agrícola guincho não excedeu no melhor ciclo o valor de $18,52 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$, indo para $12,11 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ com dois operadores de cabo a uma distância de extração de 100 metros e $9,69 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ com um operador de cabo numa mesma distância de extração Rudek (2015) encontrou valores um pouco abaixo, com o guincho-arrastador com uma produtividade de $7,5 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ também em áreas declivosas. Acosta et al. (2012) estudando a colheita de *Pinus caribea* encontrou na extração com trator valores médios de produtividade de $9,69 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$. Em trabalhos com o mesmo equipamento Machado et al. (1990) e Volpato et al. (1991) encontraram a mesma relação, entre a diminuição da produtividade à medida que aumenta a distância de extração.

Quando comparadas as produtividades de um conjunto trator agrícola guincho com outros equipamentos florestais como *skidder* e *forwarder* fica evidente uma menor

produtividade. Apesar disso, é necessário contextualizar em quais condições um conjunto trator agrícola guincho trabalha. Birro et al. (2002) encontraram em avaliação de um *track-skidder* valores de produtividade superiores, inclusive em distâncias de extração superiores. Entretanto o *track-skidder* apresentou menor produtividade em maiores declividades e o mesmo não ocorreu com o conjunto trator agrícola guincho deste estudo em um dos tratamentos e com os tratores estudados por Machado et al. (1990) e Volpato et al. (1991), que apresentaram maior produtividade em maiores declividades.

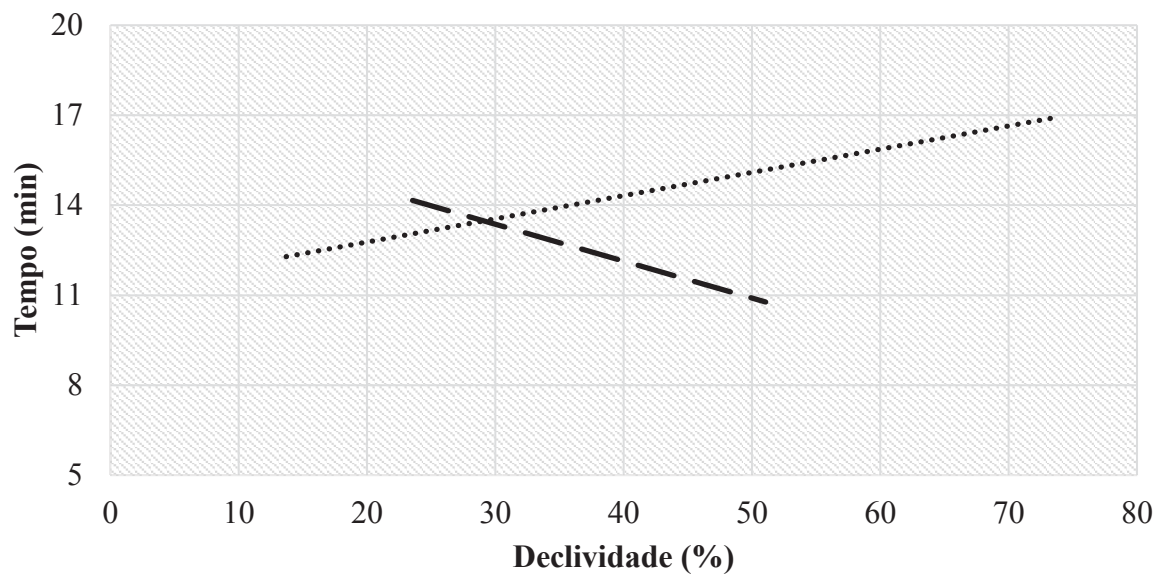
Esse mesmo comportamento de diminuição da produtividade ao se aumentar a distância de extração é encontrado em outros trabalhos tratando especificamente dessa atividade. Lopes et al. (2017) encontraram esta relação em um trabalho com *skidder* onde o aumento da distância altera o tempo de ciclo, diminuindo a produtividade do equipamento. O mesmo ocorreu em estudos de Lopes et al. (2009) com *skidder*. Estudando extração com *forwarder* e trator agrícola autocarregável Souza e Fiedler (2008) obtiveram o mesmo comportamento da distância com a produtividade.

Paula et al. (2014) em trabalho com cabos aéreos em regiões montanhosas também encontraram piora na produtividade em distâncias de extração maiores, tal informação já se encontra bastante solidificada ao tratar a distância de extração como uma das principais variáveis que afetam a extração de madeira e não foi diferente disso o trabalho aqui realizado. Os mesmos resultados foram então encontrados por Birro et al. (2002), Akay (2005), Lopes et al. (2007), Senturk et al. (2007), Oliveira et al. (2009), Ozturk (2010), Simões et al. (2010), Lopes et al. (2011), Pereira (2011), Balimunsi et al. (2012), Gallis e Spyroglou (2012), Magagnotti e Spinelli (2011), Gilanipoor et al. (2012), Spinelli et al. (2012), Spinelli e Magagnotti (2012), Borz et al. (2013), Santos et al. (2013), Oliveira (2013), Leite et al. (2014), Lopes e Diniz (2015), Pereira et al. (2015), Akay e Bilici (2016) trabalhando com os mais diversos métodos de extração, desde totalmente mecanizado com *forwarders* e *skidders* como com animais e helicópteros.

Em todos os trabalhos revisados a distância de extração foi um fato que independente da mecanização utilizada afetou de forma a aumentar o tempo de ciclo operacional e diminuir a produtividade ao passo que se aumenta a distância de extração.

Além de gráficos estimando o comportamento do tempo e produtividade em relação a distância de extração foram feitos gráficos com as estimativas em relação a declividade (Figuras 12 e 13) e a distância até o estaleiro (Figuras 14 e 15).

FIGURA 12: ESTIMATIVA DE TEMPO EM RELAÇÃO A DECLIVIDADE

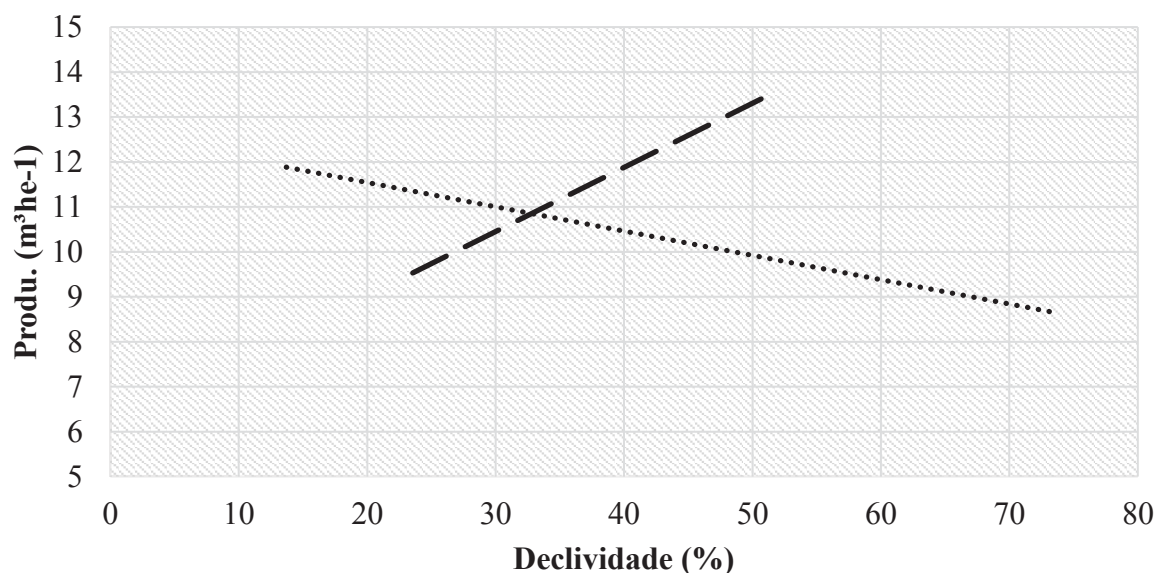


..... Modal Tradicional - - - Modal Alternativo

Fonte: O Autor (2018)

Observa-se quanto a declividade um comportamento distinto em ambos os modais, salientando que os coeficientes combinados entre a *dummy* e a variável declividade do terreno foram significativos no modal tradicional. Portanto a diminuição da produtividade e aumento do tempo do ciclo foi em partes também explicada pelo aumento na declividade.

FIGURA 13: ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE EM RELAÇÃO A DECLIVIDADE



..... Modal Tradicional - - - Modal Alternativo

Fonte: O Autor (2018)

No modal alternativo não houve significância na variável declividade, mas neste modal o aumento da declividade beneficiou o tempo de cada ciclo, por conseguinte, a sua produtividade, apesar de estatisticamente não haver diferenças que confirmem essa relação com a declividade.

Esse resultado possui o mesmo comportamento do resultado encontrado por Machado et al. (1990) trabalhando com o mesmo tipo de implemento da presente pesquisa, porém com modais de trabalho de 1 operador de trator e 3 ajudantes e Volpato et al. (1991) que encontraram uma relação positiva entre o aumento de declividade e produtividade. Em contrapartida em trabalho com conjunto trator agrícola guincho realizando extração de madeira Gilanipoor et al. (2012) encontraram influencia negativa da declividade no tempo e consequentemente produtividade do método de extração, justificado em razão da baixa potência do trator que pode sofrer influencia da declividade do terreno. Isso reforça a aplicação desse tipo de equipamento em ambientes de difícil acesso devido a condições topográficas desde que utilizando equipamentos suficientemente robustos para trabalhar nestas condições.

Em outros equipamentos como *forwarders* e *skidders* a declividade tende a prejudicar as atividades, por vezes sendo um limitante. Essa mesma dificuldade foi encontrada por Rudek (2015) com cabos aéreos onde pode ser notada uma menor produtividade com o aumento da declividade e o mesmo pode ser observado por Paula et al. (2014) também trabalhando com cabos aéreos.

O efeito negativo da declividade é encontrado em quase todos os métodos de extração. Difere-se disso os trabalhos de Machado et al. (1990) e Volpato et al. (1991) com conjuntos trator guincho e o método de tombamento onde Balimunsi et al. (2012) encontraram uma relação positiva entre produtividade e declividade.

A declividade é um limitador e influencia a produtividade negativamente, mesmo em equipamentos com adaptações para esse tipo de terreno como encontrados por Lopes et al. (2016) que estudando um *forwarder* com guincho de tração auxiliar (GTA) observaram uma piora na produtividade com o aumento da declividade. Lopes e Diniz (2015) em trabalho com *choker skidder* e Birro et al. (2002) em trabalho com *track skidder* também encontraram uma relação negativa entre produtividade e declividade.

Observa-se, então, que com conjunto trator agrícola guincho houve uma melhora na produtividade quando se utilizado apenas um único operador de cabo, apesar do efeito da declividade com a operação com dois operadores de cabo ser inconclusiva. O mesmo não

pode ser observado em cabos aéreos, apesar de serem métodos que assemelham entre si, mais do que o arraste feito com *skidder* e baldeio com o *forwarder*.

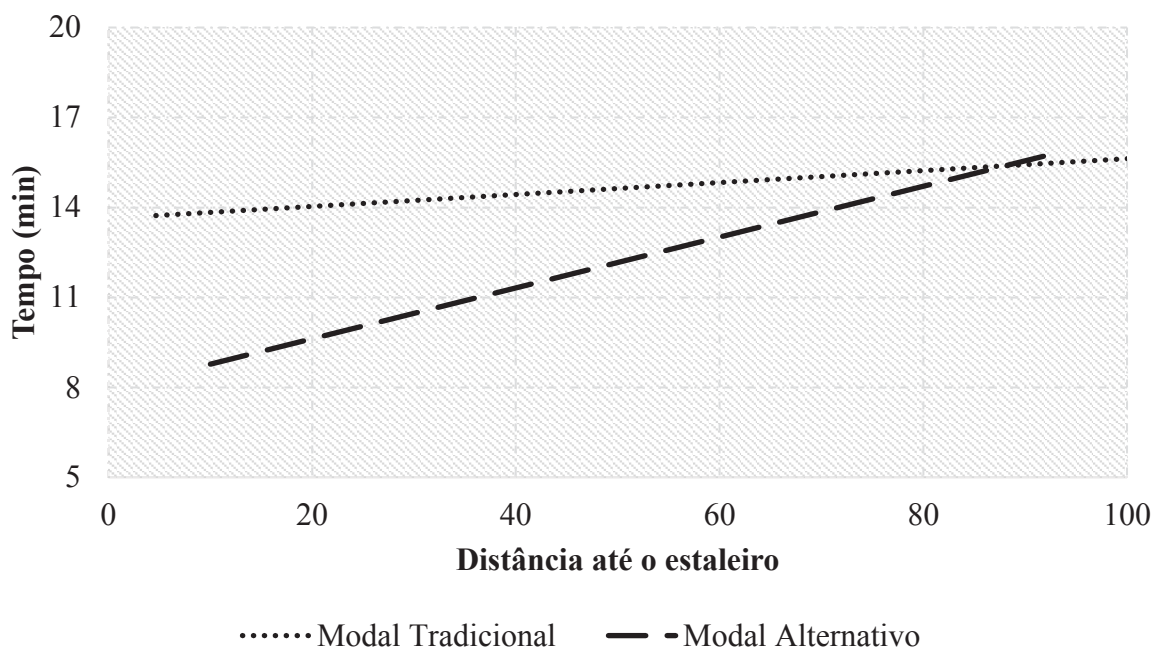
Em relação a técnica de extração chamada tombamento, onde os toretes são arremessados o aumento da declividade apresentou uma relação positiva com a produtividade, pode-se atribuir que em declividades maiores o potencial gravitacional é maior, facilitando assim a extração da madeira como encontrados por Balimunsi et al. (2012).

Apesar disso a variável declividade foi menos explicativa o que fica claro no p-Valor alto quando comparado as outras variáveis, tanto distância de extração quanto distância até estaleiro. Há de se atentar ao fato de que outras variáveis não aplicadas ao modelo não tiveram o controle, e que certamente influenciam em algum grau as operações.

Algumas variáveis que não foram controladas podem ter interferido, pois de alguma forma podem se relacionar com a variável declividade. Em maiores declividades é provável que se observe uma maior altura nos tocos o que possivelmente afetaria o guinchamento com o feixe de árvores prendendo-se aos tocos. A temperatura do ar, umidade do solo, horário da extração, presença de pedras e outros obstáculos, perfil lateral do talude que podem interferir gerando um maior ou menor atrito da carga e cabo com o solo. A sinuosidade da estrada, presença de pedras e “calombos”, sentido dela (se em aclive ou declive) também podem influenciar o elemento deslocamento cheio, que durante o estudo apresentou uma grande variação.

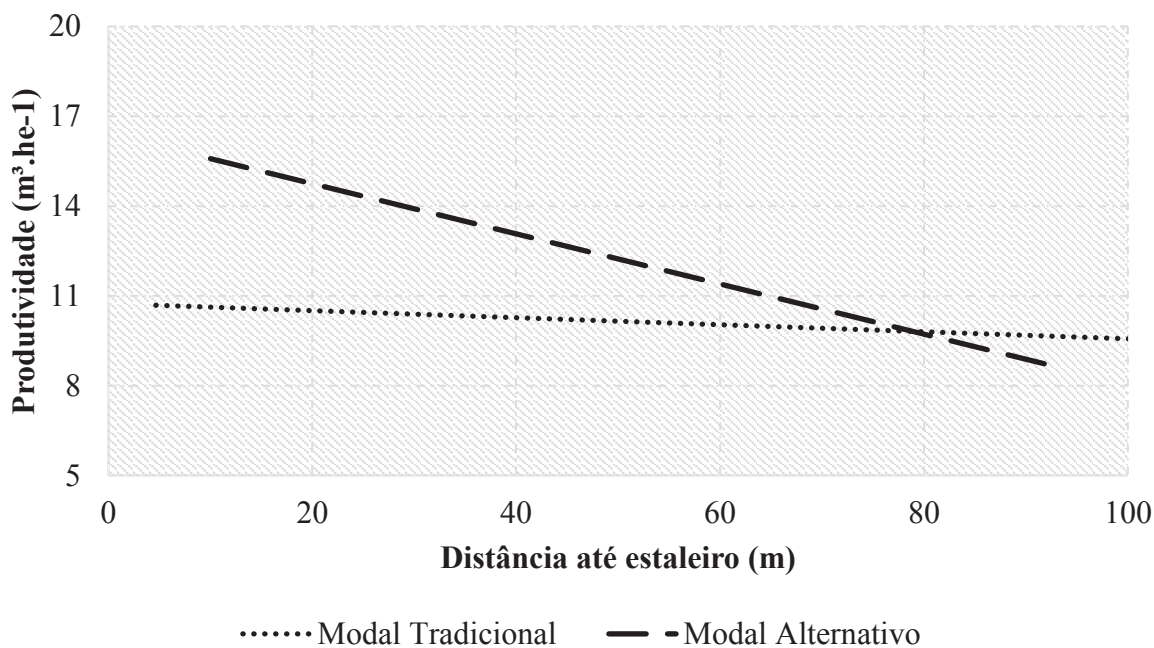
A Figura 14 apresenta como se comportaram o tempo e na Figura 15 a produtividade respectivamente nos dois modais de trabalho.

FIGURA 14: ESTIMATIVA DE TEMPO EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA ATÉ ESTALEIRO



Fonte: O Autor (2018)

FIGURA 15: ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA ATÉ ESTALEIRO



Fonte: O Autor (2018)

Distancias até o estaleiro superiores a 100 metros não foram encontradas no modal de trabalho com dois operadores de cabo, isso ocorreu de forma aleatória durante o processo de coleta de tempos de ciclo. A estimativa, tanto de tempo como de produtividade, do modal com dois operadores de cabo se tornar mais sensível ao aumento de distância até o estaleiro. Este comportamento pode ser motivado pelas outras variáveis estudadas como também por

condições de estradas adversas que já foram citadas. De qualquer forma, há uma evidente redução na produtividade e aumento no tempo de ciclo ao se aumentar a distância para ambos os modais.

Isso pode ser explicado por se tratar de uma região montanhosa, com raros locais planos e extensos o suficiente para se construir um pátio, decorrente disso a existência de diversos pequenos locais onde o conjunto trator agrícola guincho acomodam as árvores para serem processadas. Além desse fator, da dificuldade de se construir pátios, há também, o fato de que as estradas possuem aclives e declives e que, dependendo da direção tomada para o pátio isso possa gerar uma maior dificuldade.

Por esses motivos a distância até o estaleiro é uma variável importante, um melhor planejamento de onde deveriam ser os estaleiros, priorizando que as viagens carregadas fossem feitas em sentido de declive, evitando sinuosidades no trajeto e obstáculos como pedras e “calombos” tornaria possivelmente essa variável menos problemática.

5.3. CONSUMO ESPECÍFICO E RENDIMENTO ENERGÉTICO

O consumo específico do conjunto trator agrícola guincho não foi alterado pelo modal de trabalho, mantendo-se em $44,26 \text{ g kW}^{-1} \text{ he}^{-1}$, este valor é muito próximo do encontrado por Lopes et al. (2011) estudando cabos aéreos. Ambas as máquinas, conjunto trator agrícola guincho e teleférico tem por característica de não trafegarem com a força motriz dentro do talhão, ou seja, forças motrizes estacionárias.

Com a intenção de comparar com outras máquinas e com conjunto trator agrícola guincho em outras atividades a Tabela 9 aponta valores de consumos específicos de outras máquinas utilizadas na atividade de extração e de tratores agrícolas em outras atividades silviculturais, como irrigação e subsolamento^{[8][9]}.

TABELA 9: RESUMO DE CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL EM DIFERENTES MÁQUINAS ESTUDADAS

Equipamento	Potência (kW)	Consumo específico (g kW ⁻¹ he ⁻¹)
Trator agrícola ^[1]	96,7	44,26
Cabo aéreo ^[2]	102,9	45,19
Skidder ^[3]	163	95,26
Forwarder ^[4]	128,3	97,88
Forwarder ^[5]	171	63,85
Forwarder ^[6]	150	71,20
Skidder ^[6]	180	151,8
Skidder ^[7]	119	119,63
Trator agrícola ^[8]	55	69,57
Trator agrícola ^[9]	103	135,67

Fonte: ^[1]O autor (2018); adaptado de: ^[2]Lopes et al. (2011), ^[3]Pereira et al. (2015), ^[4] Minette et al. (2004), ^[5]Oliveira et al. (2009), ^[6]Oliveira (2013), ^[7]Lopes et al. (2009), ^[8]Simões e Da Silva (2012), ^[9]Simões et al. (2011).

Tratores como *skidder* e *forwarder* foram desenvolvidos especificamente para a atividade de extração florestal, apesar disso apresentam limitações quanto a aplicação desse maquinário em declividades muito acentuadas. Conforme a tabela 9 esses tratores como o *skidder* e o *forwarder* apresentaram consumo específico de combustíveis superiores aos dos cabos aéreos e ao conjunto trator-guincho deste estudo.

Simões e Da Silva (2012) e Simões et al. (2011) em trabalhos com tratores agrícolas em atividades como irrigação e subsolamento obtiveram consumos específicos superiores. Isso pode ser mais um indício que além da potência dos motores, a natureza da atividade possa alterar o consumo de combustível uma vez que nestes estudos as máquinas necessitavam se deslocar por uma maior extensão de área

Muitos equipamentos, principalmente *forwarders* e *skidders* apresentam um consumo específico elevado quando comparado ao conjunto trator agrícola guincho ou ao sistema de cabos aéreos e apesar disso, por trabalharem em geral em regiões com relevo mais suave a alta produtividade compensa um consumo energético mais elevado.

A Tabela 10 apresenta os coeficientes dos ajustes realizados. A primeira coluna apresenta os resultados do ajuste levando em conta os dois modais de trabalho, as outras colunas apresentam os coeficientes dos ajustes levando em consideração cada modal de trabalho. Quando se trabalha com os dois modais em conjunto obtém um R^2_{aj} de 0,455 abaixo do que ocorre quando se ajusta em modais de trabalho separados, demonstrando que existe influência no modal de trabalho ao tentar se explicar o rendimento energético. Essa diferença de comportamento é explicada de melhor forma pelo teste F de Graybill.

TABELA 10: RESUMO DAS ÍNDICES E COEFICIENTES DAS REGRESSÕES PARA RENDIMENTO ENERGÉTICO

	Rendimento Energético (g kW ⁻¹ m ³)		
	Modelo reduzido	Modelo Modal Tradicional	Modelo Modal Alternativo
R ² _{aj}	0,455	0,6888	0,6155
Syx	0,677	0,4824	0,4260
Syx%	15,81	10,41	11,49
β ₀	1,8166	1,9784	1,9768
β ₁	0,0133	0,0164	0,0096
β ₂	0,0079	0,0053	0,0220
β ₃	0,0177	0,01984	-0,0067ns

R²_{Aj} = coeficiente de determinação ajustado; Syx: erro padrão da estimativa; Syx(%)= erro padrão da estimativa; β₀ = intercepto; β₁ = coeficiente da distância de extração; β₂ = coeficiente da distância até o

estaleiro; β_3 = coeficiente da declividade.
 ns = coeficiente não significativo (p valor > 0,05)

Fonte: O Autor (2018)

Através de análise de variância foi possível concluir que o rendimento energético ($\text{g kW}^{-1} \text{ m}^3$) não pode ser estimado por meio de um ajuste que agrupe os dois modais de trabalho (Tabela 11).

TABELA 11: RESULTADO DO TESTE F DE GRAYBILL PARA REGRESSÕES COM RENDIMENTO ENERGÉTICO

Modelo	F calc	F tab
Rendimento energético	4,1056*	2,6815

*F calculado significativo ao nível de 95% de confiança.

Fonte: O Autor (2018)

Para ajustar um modelo em conjunto, que permita separar os modais de trabalho foi adicionada uma variável *dummy*, variável que exprime uma qualidade, neste caso o modal de trabalho. Com isso foi possível através de um único ajuste estimar o rendimento energético. Na Tabela 12 são apresentados os resultados da regressão realizada.

TABELA 12: RESUMO DE ÍNDICES E COEFICIENTES DA REGRESSÃO COM VARIÁVEL DUMMY

Rendimento energético ($\text{g kW}^{-1} \text{ m}^3$)		
R ² aj		0,7375
Syx		0,4623
Syx%		10,80
	Coeficientes	p-Valor
β_0	1,9768	0,0019
β_1	0,0016ns	0,9980
β_2	0,0096	0,0400
β_3	0,0164	$4,9992 \times 10^{-17}$
β_4	0,0220	$4,71562 \times 10^{-08}$
β_5	0,0053	$2,83097 \times 10^{-09}$
β_6	-0,0067ns	0,3815
β_7	0,0198	$2,36967 \times 10^{-06}$

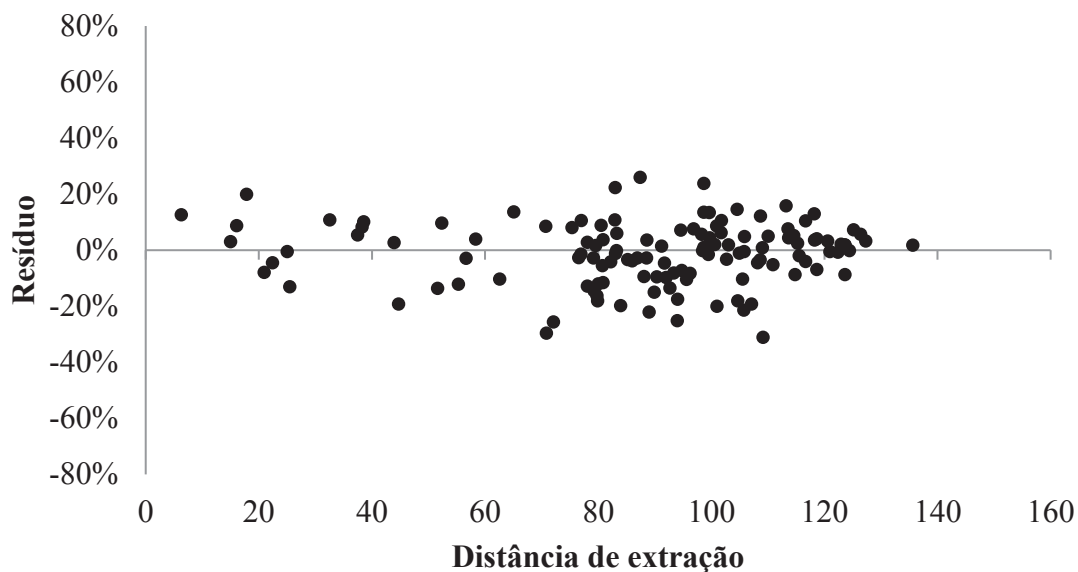
R²Aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx: erro padrão da estimativa; Syx(%)= erro padrão da estimativa; β_0 = intercepto; β_1 = coeficiente da *Dummy* do modal alternativo; β_2 = multiplicação da variável *Dummy* do modal tradicional pela distância de extração; β_3 = multiplicação da variável *Dummy* do modal alternativo pela distância de extração; β_4 = multiplicação da variável *Dummy* do modal tradicional pela distância de arraste; β_5 = multiplicação da variável *Dummy* do modal alternativo pela distância de arraste; β_6 = multiplicação da variável *Dummy* do modal tradicional pela distância de declividade; β_7 = multiplicação da variável *Dummy* do modal alternativo pela distância de declividade.

ns = coeficientes não significativos (p>0,05).

Fonte: O Autor (2018)

A Figura 16 apresenta a distribuição do resíduo em relação a distância de extração, demonstrando que o método utilizado consegue estimar o rendimento energético sem tendenciosidade.

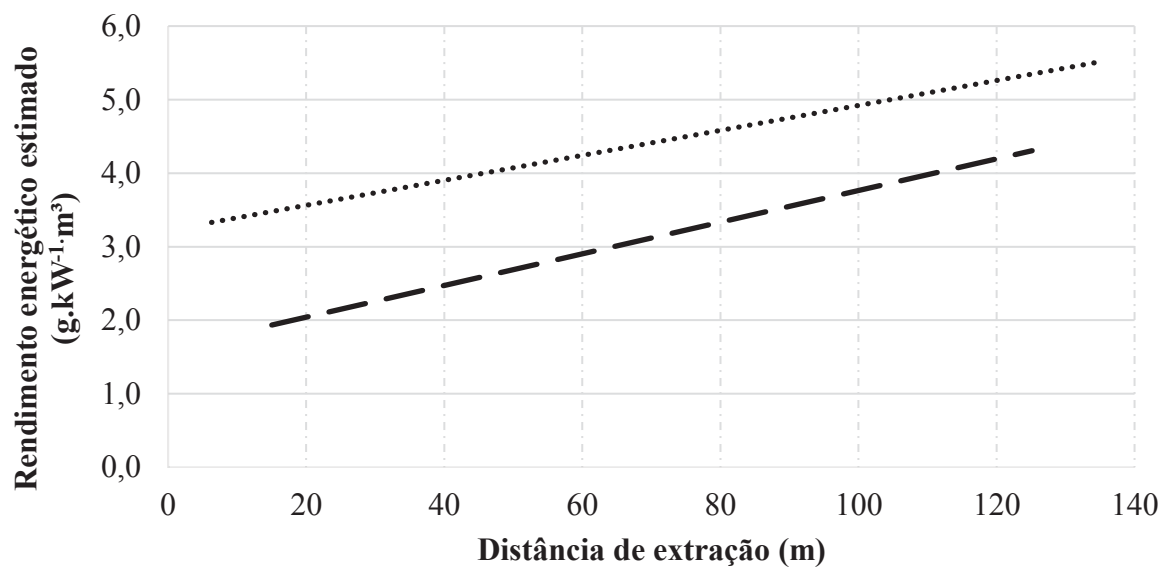
FIGURA 16: DISTRIBUIÇÃO DO RESÍDUO EM RELAÇÃO A DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO NA ESTIMATIVA DE RENDIMENTO ENERGÉTICO



Fonte: O Autor (2018)

Na Figura 17 é apresentado o comportamento do rendimento energético ao longo do aumento da distância de extração. O comportamento do rendimento energético nesse caso se explica pela diminuição da produtividade ao se trabalhar com distâncias maiores de extração.

FIGURA 17: COMPORTAMENTO DO RENDIMENTO ENERGÉTICO ($\text{G KW}^{-1} \text{M}^3$) EM RELAÇÃO AO AUMENTO DA DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO



..... Modal Tradicional - - - Modal Alternativo

Fonte: O Autor (2018)

Em uma distância de extração de 100 metros o rendimento energético foi aproximadamente de $3,76 \text{ g kW}^{-1} \text{ m}^3$ para dois operadores de cabo e $4,92 \text{ g kW}^{-1} \text{ m}^3$ para um operador de cabo, ou seja, existe uma diminuição no rendimento energético de aproximadamente 30,85% quando se utiliza apenas um operador de cabo.

Spinelli e Magagnotti (2012) em estudo com conjunto trator agrícola guincho chegaram em um rendimento de $15,89 \text{ g kW}^{-1} \text{ m}^3$ e $33,01 \text{ g kW}^{-1} \text{ m}^3$, apesar de valor bastante superiores justifica-se que neste trabalho as distâncias de extração superaram os mil metros, perfazendo dessa forma uma produtividade muito baixa.

Vusić et al. (2013) em estudos com extração realizados por um *mini-skidder* de cabos encontraram valores de $45 \text{ g kW}^{-1} \text{ m}^3$ e $20 \text{ g kW}^{-1} \text{ m}^3$ em dois sítios diferentes, esses valores apesar de altos representam operações em florestas com características distintas das encontradas neste estudo, com espécies diferentes, onde a distância de extração era superior a 200 metros e não se tratava de um plantio e sim de uma floresta com maior variabilidade de espécies, diâmetros e com corte seletivo.

Os valores encontrados com conjunto trator agrícola guincho são superiores aos encontrados por Lopes et al. (2009) e Fernandes et al. (2009) em trabalhos com *skidders*, apesar de em ambos os estudos não ser mencionada a declividade onde os *skidders* efetivamente trabalhavam. Em decorrência da alta potência dos *skidders* o alto consumo é compensado pela alta produtividade por ciclo e por hora efetiva de trabalho.

Ao se avaliar a extração em uma condição montanhosa o rendimento energético de um cabo aéreo avaliado por Lopes et al. (2011) pode se observar que mesmo os cabos aéreos tendo consumo específico semelhante ao encontrado nos conjunto trator agrícola guincho deste estudo a produtividade dos cabos aéreos foi superior, tornando assim o cabo aéreo uma alternativa com melhor rendimento energético.

Ao se analisar um sistema de colheita, Oliveira (2013) observou que os tratores utilizados para extração, *forwarder* e *skidder* obtiveram um rendimento de 2,3 e $1,3 \text{ g kW}^{-1} \text{ m}^3$ respectivamente, ambos superiores ao rendimento de um trator agrícola, apesar de neste caso os tratores trabalharem em declividades planas e suaves com média de 6% de declividade.

5.4. CUSTOS OPERACIONAIS E DE PRODUÇÃO

Os custos de operação observados neste estudo, como a contribuição dos elementos na formação dos custos diferiram de outros estudos envolvendo equipamento de extração florestal (TABELA 13). Como principal motivo dessa diferença pode se apontar o custo de

aquisição do trator agrícola e o implemento guincho, muito inferior quando se compara com os custos de aquisição de *forwarders*, *skidders*, *shovel loggers* e sistemas de cabos aéreos.

Um componente do custo que chama atenção é o custo que envolve a depreciação já que o trator agrícola em conjunto com o guincho forma uma unidade capaz de realizar extração em terrenos de difícil acesso por um custo de aquisição do equipamento inferior a 80 mil dólares, além desse fato, também se destaca a vida útil dos equipamentos. Esses fatores justificam o porque a depreciação, apesar de ser segundo custo de maior relevância na operação ainda é um custo baixo quando comparado a outras máquinas com finalidade de uso exclusivo florestal, as *purpose built*. Os custos de operação podem ser melhor visualizados na tabela 13.

TABELA 13: RESUMO DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO EM US\$.HE⁻¹

	Modal Tradicional	Modal Alternativo
Depreciação	4,93	5,09
Juros	3,08	3,09
Seguros	0,13	0,13
Custos administrativos	0,51	0,52
Custo com trabalhadores	18,11	26,65
Combustível	4,41	4,41
Lubrificantes	2,21	2,21
Rodados	1,23	1,23
Manutenção	0,91	0,91
Custos fixos	26,76	35,47
Custos variáveis	8,76	8,77
Custo operacional total	35,52	44,24

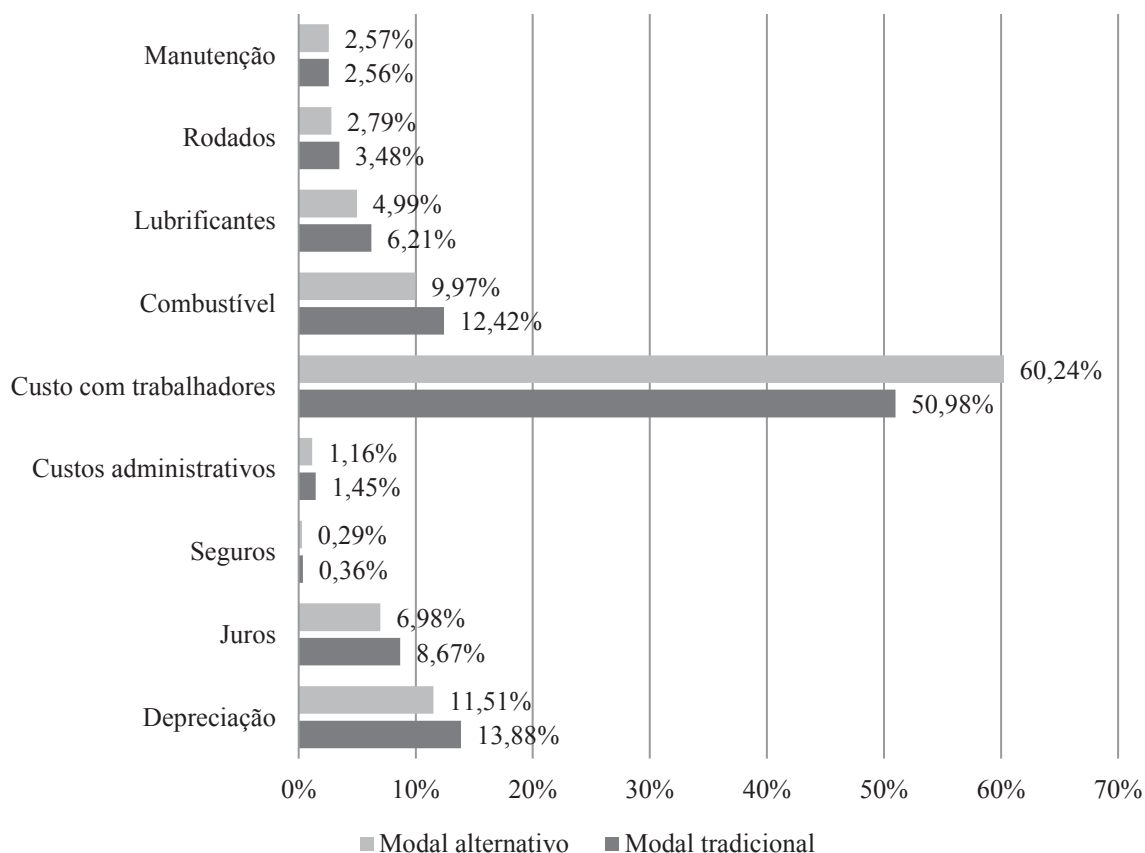
Fonte: O Autor (2018)

Os custos fixos de operação representaram 75,34% e 80,18% nos modais tradicional e alternativo, respectivamente, sendo um comportamento anormal os custos fixos representarem que os custos variáveis, afetados principalmente pela mão-de-obra na ocasião deste estudo. A depreciação no modal alternativo foi levemente superior devido ao fato de se adicionar mais um jogo de quatro correntes para se realizar a amarração do feixe de toras.

Pode se observar na Figura 18 que o valor que mais contribuiu na composição dos custos de operação foi o custo com mão-de-obra com contribuição de 60,24% no modal alternativo e 50,98% no modal tradicional. Esse custo que independe do valor de aquisição, valores altos para mão-de-obra também foram encontrados por Rocha et al. (2009) com 49,3% dos custos de operação de um *Skidder* sendo mão-de-obra.

FIGURA 18: CONTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS NOS CUSTOS OPERACIONAIS

Componentes do custo operacional (%)



Fonte: O Autor (2018)

A contribuição dos custos com combustíveis ficaram abaixo aos encontrados por Robert (2013), 14,3% e 17,5%, ainda assim foi o terceiro elemento que mais contribuiu para a formação dos custos de operação, mesmo havendo uma grande diferença nos consumos de combustível nas máquinas estudadas, 5 L he⁻¹ no conjunto trator agrícola guincho com guincho deste estudo frente aos 10,8 e 14,8 L he⁻¹ encontrados por Robert (2013) estudando *forwarders* operando em regiões montanhosas. Simões et al. (2010) chegou ao valor de 10,48%, bem próximo, mesmo se tratando de teleférico, mas esse estava conectado à tomada de potência de um trator agrícola, trator esse com potência de 88,3 kW, próxima dos 97,5 kW do trator descrito neste estudo.

Em estudo com tratores agrícolas Lips (2017), verificou em uma situação de operação com um trator com 10 anos de uso, 1000 horas de trabalho/ano um valor de combustível de 46,13%, considerando para o cálculo apenas valor de aquisição da máquina, taxas, combustível e manutenção, esses valores se aproximam ao encontrados neste estudo que ao fazer um paralelo a metodologia utilizada chegou aos valores de 45,69% e 45,05% para modal tradicional e modal alternativo respectivamente.

Contrastando com esses resultados de contribuição do consumo de combustível em tratores Simões e Da Silva (2012) e Simões et al. (2011) em trabalhos com irrigação e subsolamento encontraram os valores de 39,56% e 39% na contribuição do combustível para a formação do custo de operação respectivamente, verifica-se aqui que as atividades eram distintas onde para irrigar e subsolar uma área é exigido que o trator percorra as áreas de trabalho inteiras, diferentemente da extração de madeira com guincho, onde o trabalho com o guincho é feito de forma estacionária, deslocando-se apenas para levar as árvores até os estaleiros.

5.4.1. CUSTO DE MANUTENÇÃO E REPAROS

Um elemento do custo de operação que se destacou foi o custo com manutenção e reparos, estimados de acordo com metodologia proposta por Simões e Fenner (2010). A contribuição dos custos de manutenção e reparos no modal alternativo e modal tradicional ficaram em 2,56% e 2,57% do custo total de operação por hora efetiva respectivamente.

Esses valores contrastam com os encontrados por outros autores como 14,6% e 10,2% encontrados por Robert (2013) ao analisar os custos de um *forwarder* em duas localizações diferentes ambas declivosas, ou então dos 38,89% encontrados por Simões e Fenner (2010) em estudo com *forwarder*, 68,56% em estudo com cabos aéreos realizados por Simões et al. (2010), 32% em estudo com *skidder* Oliveira (2013), 26% encontrados por Oliveira et al. (2006) com *clumbunk-skidder*. Lopes et al. (2011) encontraram em cabos aéreos um valor de 27,8% da contribuição da manutenção na formação dos custos operacionais.

No entanto em trabalho realizado com tratores agrícolas em atividades de irrigação Simões e Da Silva (2012) e subsolagem Simões et al. (2011) foram encontrados os valores de 5% e 12% respectivamente, esse segundo superior provavelmente por se tratar de uma atividade que exige um equipamento mais potente e pela subsolagem ser uma operação mais desgastante aos equipamentos empregados nela. Além desses, Birro et al. (2002) encontraram um valor de manutenção correspondendo a 8% dos custos operacionais.

Lips (2017) chega em um valor próximo de 5% nos custos de manutenção e reparos com um ciclo de vida do trator de 10 anos em um estudo conduzido com tratores agrícolas na Suíça. Tais valores sustentam os valores encontrados no presente estudo, que apesar de ainda estarem inferiores estudos citados justifica-se pelo fato do equipamento estudado encontrar-se com menos de um ano de uso e ter um valor inferior a outros equipamentos de extração.

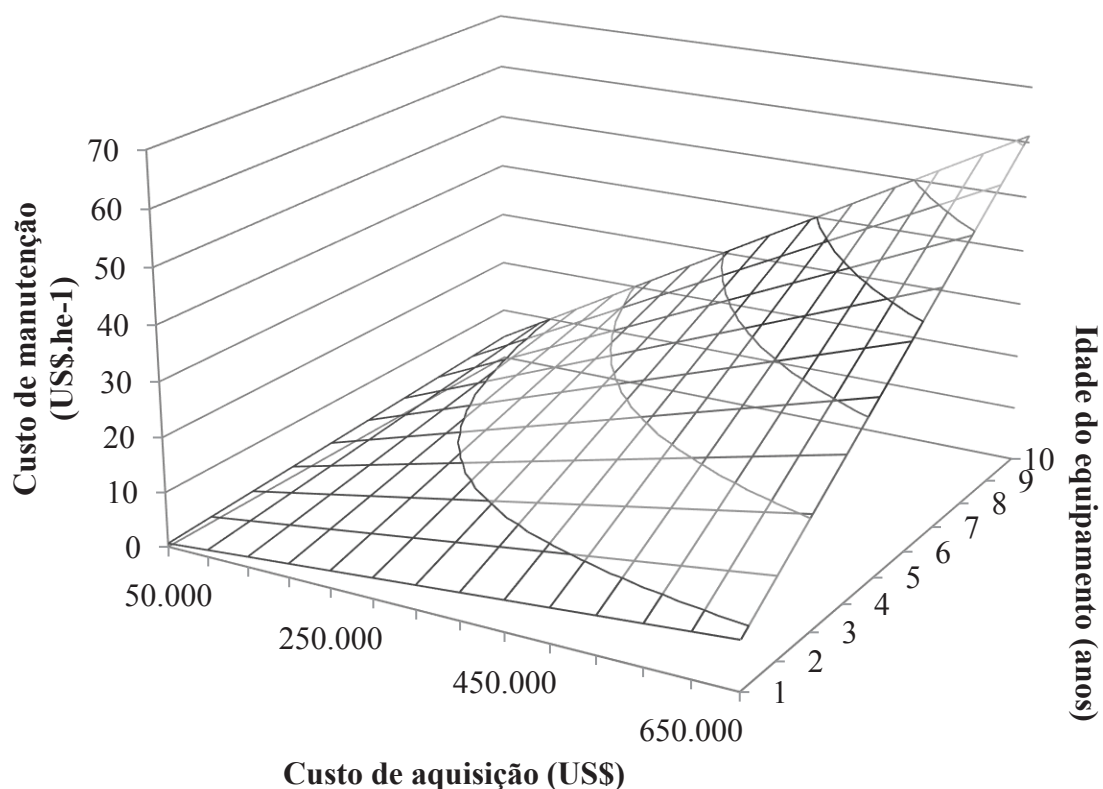
Mousavi e Nikooy (2014) também em estudo com tratores agrícolas, mas em um sistema *cut-to-length* chegaram ao valor de manutenção de um trator em 1,47 US\$.he⁻¹ um pouco superiores aos encontrados nesse estudo, de 0,90 US\$.he⁻¹.

É importante ressaltar que na operação de guinchamento, apesar das altas cargas guinchadas o conjunto trator agrícola guincho passa menos de 25% do ciclo se deslocando e próximo de 25% fazendo o guinchamento das toras. Provavelmente a natureza da atividade, que não exige do trator passe boa parte do tempo ativo, deslocando-se ou guinchando possa ter alguma influência na quantidade de manutenção exigida.

Al-Suhaibani e Wahby (2017) alertam que os principais fatores que influenciam nos custos de manutenção de um trator agrícola são o seu tempo de uso e sua potência, possibilitando afirmar que tratores com maior potência e idades mais avançadas tem um custo de reparo superior.

Para destacar visualmente este efeito, na Figura 19 optou-se por estimar o comportamento dos custos com manutenção em uma matriz ao variar seu tempo de uso em anos de 1 até 10 anos e o seu custo de aquisição variando de 50 mil até 700 mil dólares americanos. Para estimar o comportamento dos custos de manutenção e reparos utilizou-se a mesma metodologia aplicada neste trabalho.

FIGURA 19: COMPORTAMENTO DOS CUSTOS COM MANUTENÇÃO EM DIFERENTES CENÁRIOS DE IDADE E PREÇO DO EQUIPAMENTO (US\$)



Fonte: O Autor (2018)

Dessa forma, fica claro de forma gráfica que o tempo de uso tem uma maior relevância na formação do custo de manutenção em máquinas mais caras. Mesmo um trator agrícola com 10 anos de utilização o seu custo de manutenção não supera os 10 dólares por hora efetiva.

5.4.2. CUSTO DE PRODUÇÃO

Para estimativa dos custos de operação dos modais foi realizada a regressão com variável *dummy* e o resumo dos valores da regressão estão dispostos na Tabela 14:

TABELA 14: RESUMO DOS RESULTADOS DA REGRESSÃO

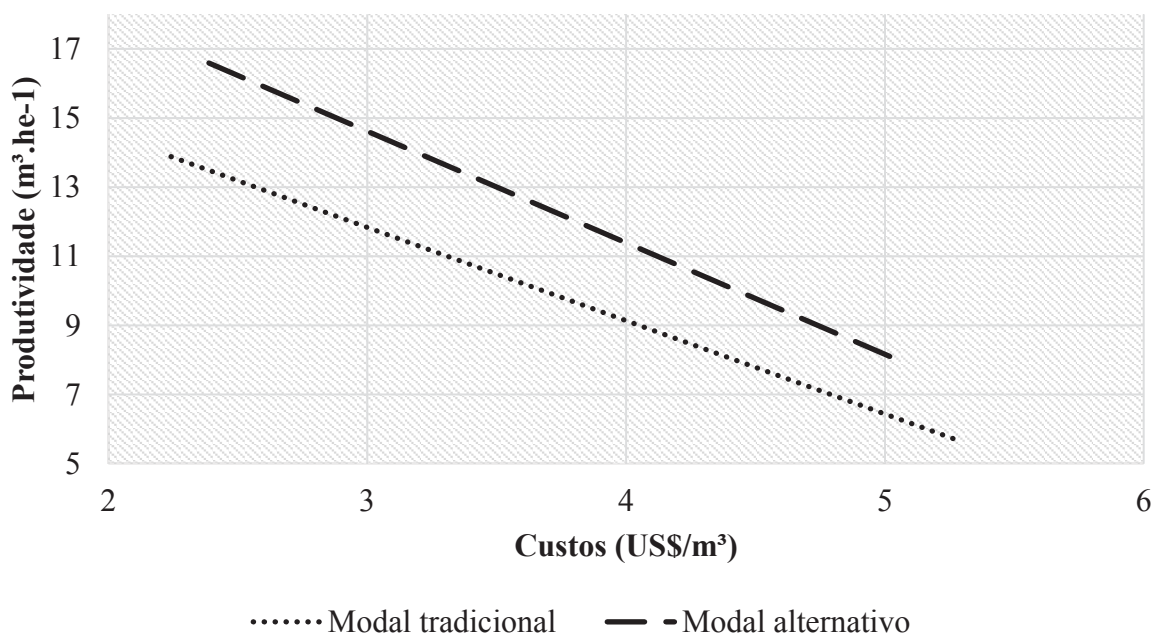
Custo de Produção (US\$ m ³)		
R ² Aj		0,6506
Syx (%)		10,82%
	Coefficiente	p-valor
β ₀	1,9760	0,0004
β ₁	-0,3881	0,4998
β ₂	0,0096	0,0186
β ₃	0,0132	2,99383 × 10 ⁻¹⁵
β ₄	0,0220	7,08642 × 10 ⁻¹⁰
β ₅	0,0042	2,99723 × 10 ⁻⁰⁸
β ₆	-0,0067	0,3146
β ₇	0,0159	1,15593 × 10 ⁻⁰⁵

R²Aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx(%)= erro padrão da estimativa; β₀ = intercepto; β₁ = coeficiente da *Dummy* do modal alternativo; β₂ = multiplicação da variável *Dummy* do modal tradicional pela distância de extração; β₃ = multiplicação da variável *Dummy* do modal alternativo pela distância de extração; β₄ = multiplicação da variável *Dummy* do modal tradicional pela distância de arraste; β₅ = multiplicação da variável *Dummy* do modal alternativo pela distância de arraste; β₆ = multiplicação da variável *Dummy* do modal tradicional pela distância de declividade; β₇ = multiplicação da variável *Dummy* do modal alternativo pela distância de declividade.

Fonte: O Autor (2018)

Os custos de operação encontrados para o modal alternativo foram 24,55% superiores aos custos de operação no modal tradicional, o que permite concluir que no mínimo, para que o custo de produção se manter igual o modal alternativo deve ser 24,55% mais produtivo que o outro modal (Figura 20).

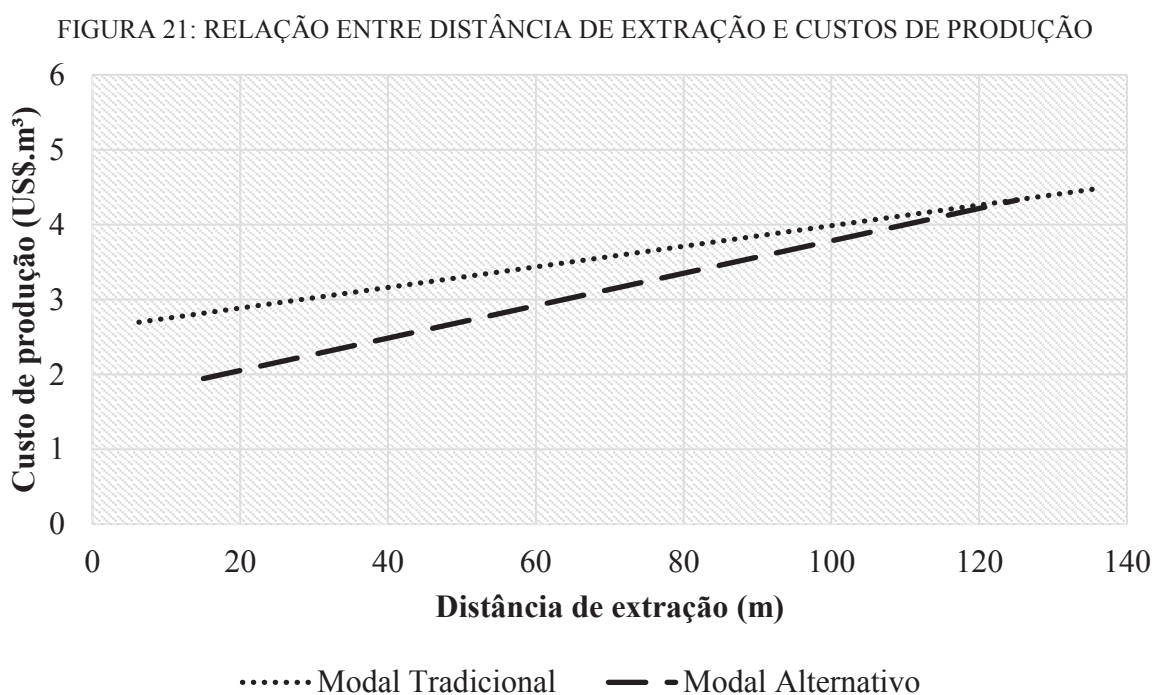
FIGURA 20: COMPORTAMENTO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO EM RELAÇÃO A PRODUTIVIDADE NOS DOIS MODAIS DE TRABALHO



Fonte: O Autor (2018)

Quanto maior a produtividade há uma redução nos custos por metro cúbico produzido. Para manter os mesmos custos de produção o modal alternativo é exigido em produzir um pouco a mais que o modal tradicional. Possível visualizar também uma tendência a essas duas linhas se cruzarem à medida que o ciclo vai se tornando menos produtivo. Isso resulta da relação que para manter os mesmos custos de produção o modal alternativo precisa ser 24,55% mais produtivo.

A produtividade é afetada principalmente pelo volume de madeira extraído por ciclo operacional (YOSHIDA; SAKAI, 2015) e em função da distância de extração que afeta o tempo do ciclo. Sendo esse um dos fatores que mais afetam a produtividade da extração também afetará os custos de produção. Na Figura 21 a seguir verificou-se que ao aumentar a distância de extração o comportamento dos custos de produção também aumenta. A tendência é que em distâncias de extração superiores a 120 metros o ciclo com dois operadores de cabo não seja tão produtivo ao ponto de valer financeiramente.



Fonte: O Autor (2018)

Como a adição de um operador de cabo ocorre a melhora de um único elemento do ciclo, a amarração do feixe de toras. Logo é compreensível afirmar que ao despender mais tempo em outros elementos, influenciados por longas distâncias de extração, longas distâncias até o estaleiro essa adição de um segundo operador de cabo não tenha tanto efeito. Gerando, portanto, produtividades semelhantes, porém com custos de produção mais elevados.

A adição de um segundo operador de cabo é interessante do ponto de vista econômico quando houver um controle maior das outras variáveis do ciclo, o que implica em um melhor planejamento das linhas de extração, localização de estaleiros entre outros fatores.

A variação de distância de extração e distância de estaleiro afetaram os custos de produção (Tabela 15). O custo por m³ aumenta ao se aumentar a distância de extração e a distância até o estaleiro.

TABELA 15: VALORES ESTIMADOS DE CUSTO DE PRODUÇÃO EM DIFERENTES CENÁRIOS MANTENDO-SE UMA DECLIVIDADE DE 50%. (US\$)

Distância de extração	Distância até o estaleiro	Modal Tradicional	Modal Alternativo	Varição
40	25	3,02	2,57	↓0,45
80	25	3,54	2,96	↓0,58
120	25	4,07	3,34	↓0,73
40	50	3,28	3,24	↓0,04
80	50	3,65	3,51	↓0,14
120	50	4,18	3,89	↓0,29

Fonte: O Autor (2018)

Pode ser observado acima que a variação na distância até o estaleiro afetou mais os custos de produção do modal alternativo. Entretanto esse resultado deve ser analisado com precaução, uma vez que ao estimar os tempos de ciclo o modal alternativo se comportou de maneira distinta ao modal tradicional quando avaliada a variação do tempo em relação a distância até o estaleiro. Certamente, outras questões envolvidas como sentido: subindo ou descendo; condições da estrada; umidade do solo; presença de obstáculos entre outros influenciaram além no tempo de viagem cheio além da distância até o estaleiro.

Mousavi e Nikooy (2014) em estudo realizado com conjunto trator agrícola guincho, em plantios de *Pinus taeda* no Irã, em condições de relevo mais favoráveis encontraram valores de custo de produção de 5,6 e 5,86 US\$ m⁻³ mesmo encontrando custos operacionais menores. Justifica-se isso pelo fato do sistema estudado por Mousavi e Nikooy (2014) em um sistema *cut-to-length*, que por mais que fosse mais produtivo por ciclo esses ciclos demoravam mais e tornavam a operação menos produtiva.

Em estudos com tratores com diversas potências Spinelli e Magagnotti (2012) encontraram custos de produção (13,3 € m⁻³) muito superiores que os encontrados nesse estudo quando avaliado tratores com potências semelhantes, decorre principalmente do fato da baixa produtividade (4,7 m³ he⁻¹).

Ainda assim, quando comparados com tratores destinados a atividades florestais os custos de produção com o conjunto trator agrícola guincho tornam-se menos atrativos,

Minette et al. (2004) encontraram valores por metro cúbico de 1,93 US\$ m⁻³ em estudo avaliando um *forwarder*, por sua vez Fernandes et al. (2009) encontrou valores de 0,93 US\$ m⁻³ ao trabalhar com *skidder*. Destaca-se aqui que os estudos foram conduzidos em regiões de relevo plano, ou suave-ondulado.

Robert (2013) ao verificar os custos de produção de um *forwarder* em terrenos declivosos achou valores próximos de 3 US\$ m⁻³. Também em condições de relevo montanhoso trabalhando com o *forwarder*, Santos et al. (2016) verificaram custos de produção médio de 4,58 US\$ m⁻³ observando também um significativo aumento nesse custo a medida que a máquina envelhece. Simões et al. (2010) ao estudar produtividade e custos de um teleférico em região montanhosa obtiveram custos de produção de 3,35 US\$ m⁻³ em povoamentos de *Eucalyptus grandis* com 0,20 m³ de volume médio individual. Pereira et al. (2011) trabalhando com cabo aéreo em uma floresta mais produtiva que a pesquisada por Simões et al. (2010) encontrou valores médios de extração de 9,68 R\$ m⁻³ a uma distância de extração de 350 metros.

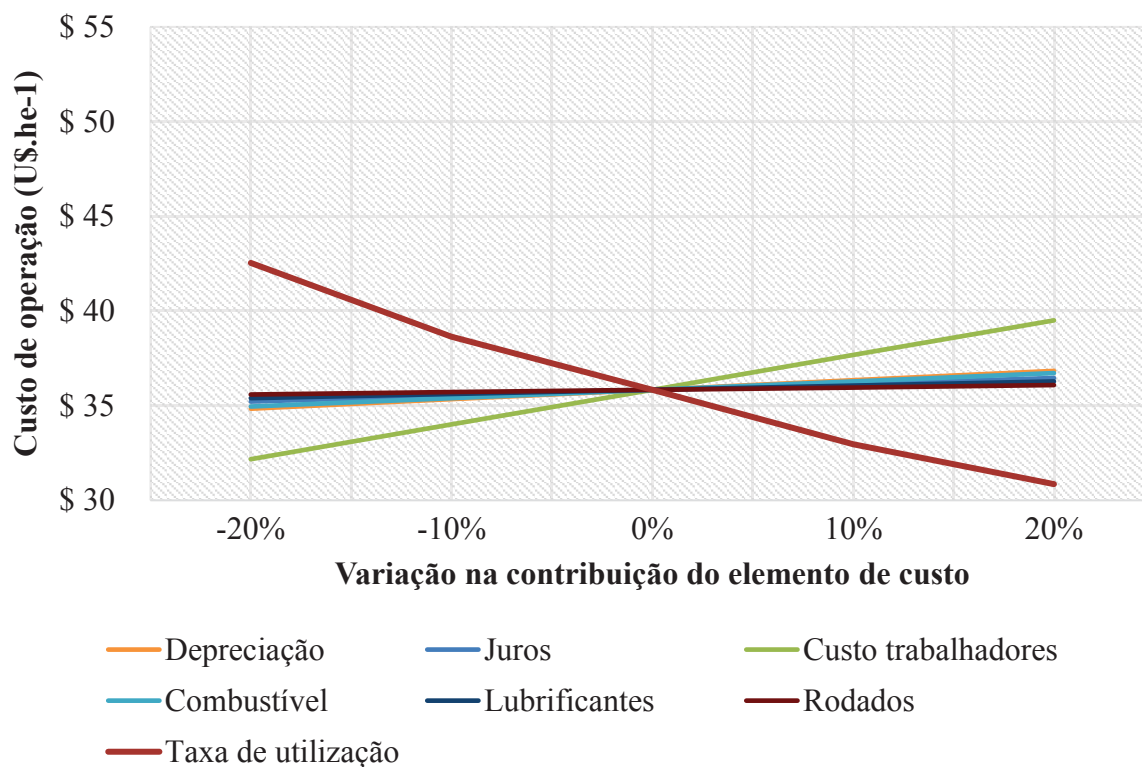
Esses estudos reforçam a ideia da viabilidade econômica, principalmente quando se trabalha em condições de difícil acesso a outros tipos de maquinário, mas que essa viabilidade depende totalmente da produtividade conseguida por esses tratores. Conjunto trator agrícola guincho consegue retornar uma produtividade satisfatória a custos competitivos quando comparados com outros tratores florestais, principalmente em operações de extração em regiões montanhosas.

5.5. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Com a intenção de verificar os elementos que mais interferem na formação do custo foi então realizada uma análise com variação de $\pm 20\%$ nas variáveis de maior influencia na formação do custo de operação e produção.

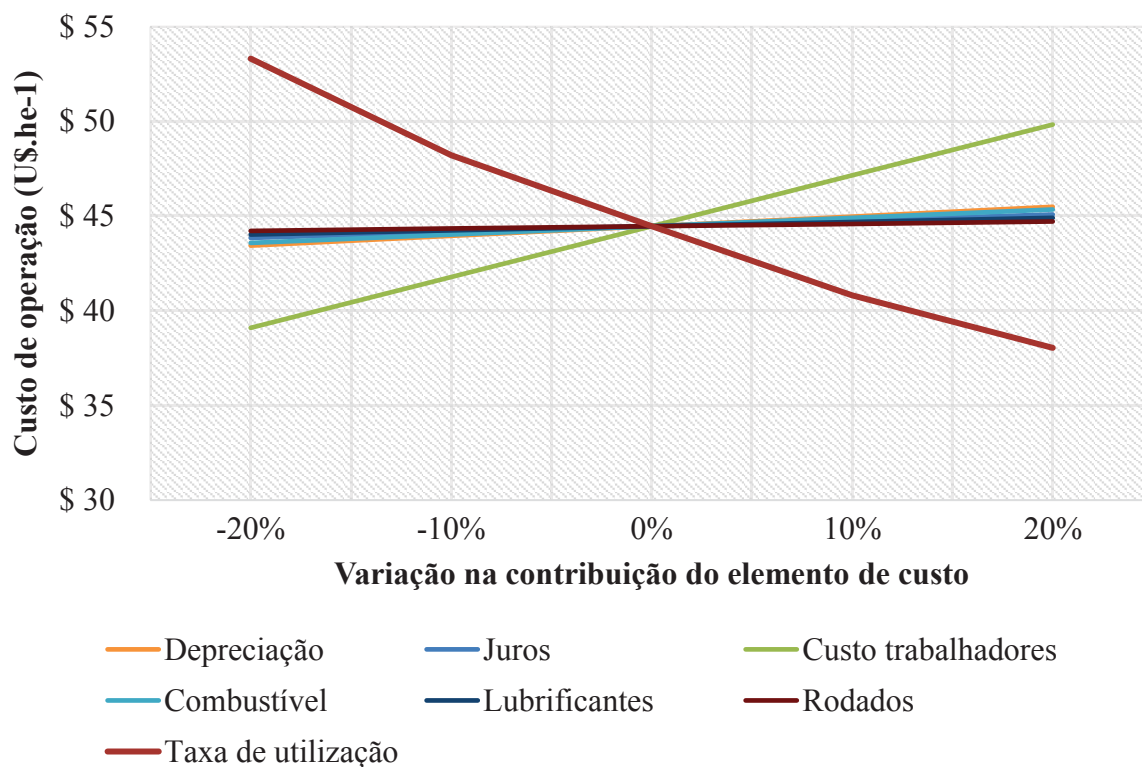
Observa-se nas Figuras 22 e 23 a variação nos custos de operação de acordo a variação nos elementos que compõem o custo e variação da taxa de utilização em modal tradicional e modal alternativo respectivamente.

FIGURA 22: DIAGRAMA DE *SPIDERPLOT* COM A VARIAÇÃO DOS CUSTOS E DA TAXA DE UTILIZAÇÃO NO MODAL TRADICIONAL



Fonte: O Autor (2018)

FIGURA 23: DIAGRAMA DE *SPIDERPLOT* COM A VARIAÇÃO DOS CUSTOS E DA TAXA DE UTILIZAÇÃO NO MODAL ALTERNATIVO



Fonte: O Autor (2018)

De acordo com o verificado há uma maior importância nos custos envolvendo mão-de-obra em ambos os cenários, tanto com dois operadores de cabo quanto com um. Porém dada a adição de um funcionário no modal alternativo observa-se que esse elemento do custo ganha mais importância nesse modal. Os outros elementos do custo pouco apresentam grandes variações no custo de operação em ambos os modais.

Trabalhando com *forwarders* Robert (2013) encontrou na variação de depreciação da máquina o elemento mais sensível. Leite (2012) também analisando um *forwarder* obteve uma maior sensibilidade no custo de aquisição da máquina e manutenção. Esse comportamento não foi encontrado nesse estudo devido a diferença de valores na aquisição de um conjunto trator agrícola guincho.

Foi observado no trabalho de Leite (2012) e Robert (2013) que os elementos que contribuíram para formação dos custos não ficaram tão concentrados diferentemente da situação encontrada com guinchos, onde excetuando-se os custos com mão-de-obra, os outros custos pouco foram sensíveis as variações nos seus valores.

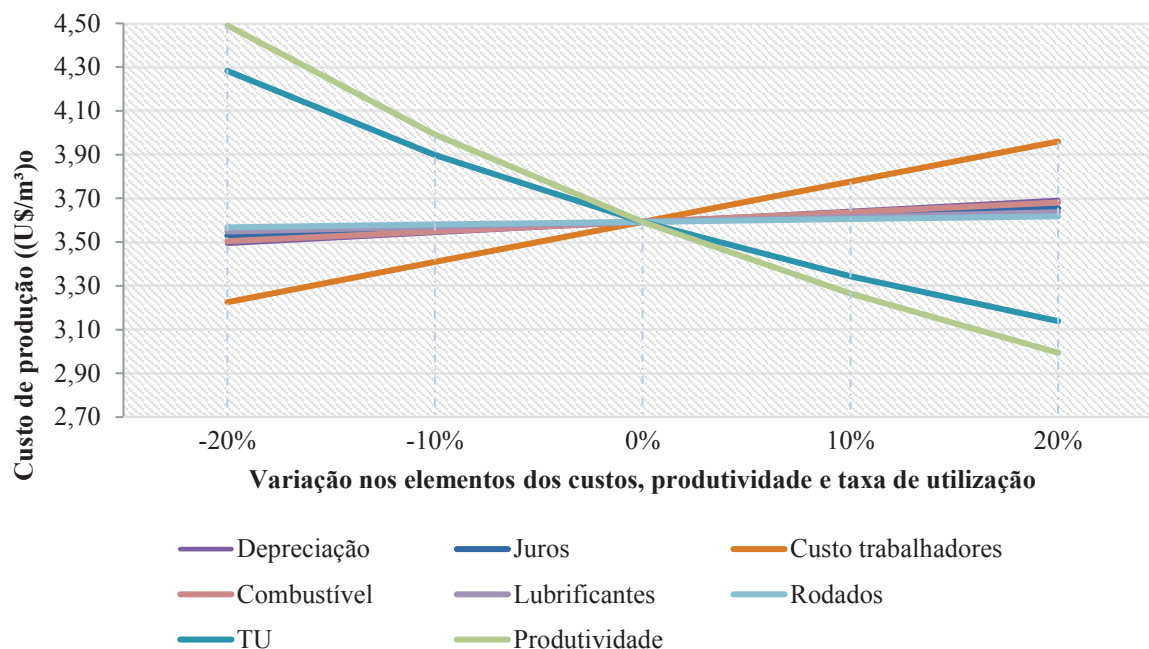
A taxa de utilização de um equipamento é uma variável interessante de se controlar, uma vez que ela afeta os componentes dos custos da operação. Nos custos variáveis esses aumentam ao passo que a taxa de utilização de um equipamento aumenta. Os custos fixos incidem independente da taxa de utilização de um equipamento, apesar disso, ao se utilizar mais um equipamento é possível se diluir esse custo fixo em mais horas trabalhadas, tornando assim o custo por hora trabalhada menor. Importante notar uma maior sensibilidade no modal alternativo à variação à taxa de utilização. Isso decorre do fato de que esse modal apresenta um custo operacional maior, implicando que alterações nas taxas de utilização acarretarão em uma variação nos custos operacionais maior. É possível reduzir em até US\$ 10,00 o custo de operação ao se aumentar a taxa de utilização em 20%, esse comportamento decorre do fato que com o aumento da taxa de utilização, os custos fixos e custos com mão de obra se diluem em um maior tempo trabalhado.

O modal alternativo apresenta maior sensibilidade a alteração nos custos dos elementos que compõem o custo total e principalmente sensível a mudanças na taxa de utilização isso devido a natureza do modal ter uma operação mais cara, fundamentalmente por função da adição de um funcionário.

A mesma tendência não se observa ao se comparar o custo de produção de ambos os modais em um cenário simulado com uma distância de extração de 100 metros, distância até o estaleiro de 30 metros e declividade de 40%. A justificativa para isso deve-se ao fato de que nesse cenário a produtividade do modal com 2 operadores de cabo seja 34,44% maior do que

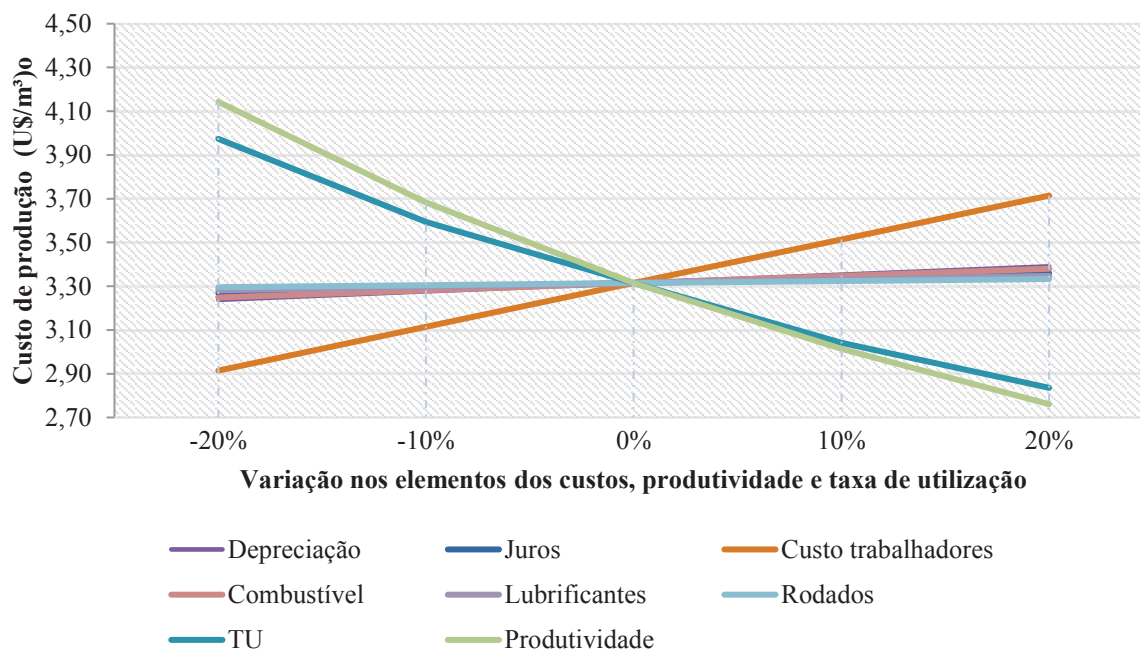
no modal com apenas 1 operador de cabo. Isso pode ser observado nas Figuras 24 e 25 com modal tradicional e modal alternativo respectivamente.

FIGURA 24: DIAGRAMA SPIDERPLOT EM RELAÇÃO AOS CUSTOS DE PRODUÇÃO NO MODAL TRADICIONAL PADRONIZADO A 100 METROS DE DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO, 30 METROS DE DISTÂNCIA ATÉ O ESTALEIRO E 40% DE DECLIVIDADE.



Fonte: O Autor (2018)

FIGURA 25: DIAGRAMA SPIDERPLOT EM RELAÇÃO AOS CUSTOS DE PRODUÇÃO NO MODAL COM MODAL ALTERNATIVO PADRONIZADO A 100 METROS DE DISTÂNCIA DE EXTRAÇÃO, 30 METROS DE DISTÂNCIA ATÉ O ESTALEIRO E 40% DE DECLIVIDADE.



Fonte: O Autor (2018)

Nas Figuras 23 e 24 observa-se que em um mesmo cenário os custos de produção do modal tradicional são aproximadamente US\$ 0,30 mais caros, o que torna a análise de sensibilidade do modal tradicional mais sensível as variações dos elementos analisados, destacando-se a produtividade e taxa de utilização, em seguida os custos com trabalhadores.

6. CONCLUSÕES

Os ajustes realizados conseguem explicar e estimar com satisfatória precisão, sem tendenciosidade a produtividade, tempo de ciclo e rendimento energético da atividade de extração com conjunto trator agrícola guincho.

As variáveis distância de extração e distância até o estaleiro influenciaram em ambos os tratamentos, tendo apresentado uma relação negativa com o tempo e produtividade da operação de extração.

A variável declividade influenciou apenas o modal com um operador de cabo, tendo essa influência efeito negativo no tempo e produtividade, enquanto para o modal alternativo a declividade não foi uma variável de influência significativa.

O modal de trabalho tem influência nos ciclos de trabalho, sendo com dois operadores de cabo o que apresentou melhor tempo de ciclo e rendimento energético aliados a maior produtividade.

O consumo específico observado foi o mesmo nos dois modais de trabalho, apesar disso a maior produtividade no modal com dois operadores de cabo tornou o rendimento energético nesse modal melhor.

O custo de operação do modal de trabalho com dois operadores de cabo foi maior, entretanto o aumento de produtividade conseguiu diluir o mesmo, tornando assim o modal de trabalho com dois operadores de cabo um modal com melhor custo de produção tornando a adição de um segundo operador de cabo economicamente viável até a distância de 120 metros.

A análise de sensibilidade demonstrou que o elemento do custo com trabalhadores é a que mais afeta o custo final da operação sendo essa variação mais sensível no modal alternativo.

7. RECOMENDAÇÕES

Este estudo não objetivou avaliar algumas questões, entre elas estão os impactos ambientais ocasionados pela extração de madeira com um conjunto trator agrícola guincho. É recomendável e pertinente que se realize estudos que possam qualificar e quantificar os danos ambientais durante a atividade de extração com esse tipo de maquinário.

A atividade de operador de trator e de operador de cabo é fisicamente desgastante e expõem o trabalhador a diversos riscos. Estudos que pudessem esclarecer os riscos que os trabalhadores são expostos além de verificar o esforço despendido no trabalho podem vir subsidiar formas de controle de acidentes e riscos no trabalho.

O uso de *skidding cone* pode ser uma alternativa barata e de fácil implementação na atividade de extração com cabo visando diminuir o atrito do feixe de toras com o solo e com tocos no caminho, evitando-se assim uma maior remoção da camada superficial do solo e rompimento de cabos.

Uma alternativa ao uso de correntes seria o uso de estropos, mais leves e mais baratos, os quais podem acelerar o processo de amarração e desamarração do feixe de toras. Além disso o uso de uma *tag-line* que facilitaria a atividade de passar o gancho pelas argolas das correntes e/ou estropos.

O conjunto trator agrícola guincho com relação de engrenagens com 33 toneladas de torque desenvolve uma velocidade baixa, fazendo do guinchamento o elemento com maior importância dentro do ciclo operacional, a diminuição do torque permitiria uma maior velocidade nesse elemento, tornando assim a atividade mais produtiva. Além disso a utilização de guinchos mais modernos, com tecnologias como cabo de retorno, desbobinador hidráulico de cabo, controle via rádio e embreagem própria podem tornar a etapa de extração mais produtiva e menos exigente do ponto de vista físico.

Foi observado durante o estudo um demasiado tempo gasto pelos funcionários ao se deslocar a pé da área de convivência até o local onde encontrava-se a frente de trabalho. O uso de um meio de transporte capaz de levar o pessoal de campo para frente de trabalho aumentaria a taxa de utilização da máquina, podendo isso tornar-se uma alternativa que diminua os custos de produção da empresa.

REFERÊNCIAS

AALMO, G. O.; MAGAGNOTTI, N.; SPINELLI, R. Forest Workers and Steep Terrain Winching: the Impact of Environmental and Anthropometric Parameters on Performance. **Croatian journal of forest engineering**, v. 37, n. 1, p. 97–105, 2016.

ACKERMAN, P.; BELBO, H.; ELIASSON, L.; et al. The cost model for calculation of forest operations costs. **International Journal of Forest Engineering**, v. 25, n. 1, p. 75–81, 2014. Taylor & Francis.

ACKERMAN, P.; PULKKI, R.; ODHIAMBO, B. Comparison of Cable Skidding Productivity and Cost : Pre-Choking Mainline Versus Tagline Systems. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 37, n. 2, p. 261–268, 2016.

ACOSTA, F. C.; CORONA, A. V.; LEITE, A. M. P.; MACHADO, C. C. Evaluación de tres métodos para el arrastre de madera en rodales naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea*. **Revista Árvore**, v. 28, n. 3, p. 373–380, 2004.

ACOSTA, F. C.; LEITE, A. M. P.; CANTÓN, J. L. M. Optimización del costo del sistema de aprovechamiento de madera en bosques naturales de *Pinus caribaea*. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 33–40, 2012.

AGARWAL, A. K. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 33, n. 3, p. 233–271, 2007.

AKAY, A. E. Determining Cost and Productivity of Using Animals in Forest Harvesting Operations. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 1, n. 2, p. 190–195, 2005.

AKAY, A. E.; ACAR, H. H.; SESSIONS, J. An Analysis of Utilizing Helicopter Logging in Turkish Forestry. **Journal of Applied Sciences**, v. 8, n. 21, p. 3910–3916, 2008.

AKAY, A. E.; BILICI, E. Helicopter Logging Method for Reduced Impact Timber Harvesting Operations. **European Journal of Forest Engineering**, v. 2, n. 1, p. 48–53, 2016.

AL-SUHAIBANI, S. A.; WAHBY, M. F. Farm tractors breakdown classification. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, n. 3, p. 294–298, 2017. King Saud University.

BALIMUNSI, H.; GRIGOLATO, S.; PICCHIO, R.; NYOMBI, K.; CAVALLI, R. Productivity and energy balance of forest plantation harvesting in Uganda. **Forestry Studies in China**, v. 14, n. 4, p. 276–282, 2012.

BANTEL, C. A. **Estudo de diferentes sistemas de colheita de eucalyptus spp em área montanhosa**, 2011. 120p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2011.

BARNES, R.M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. São Paulo: Blucher, 1977.

BEHJOU, F. K.; MAJNOUNIAN, B.; NAMIRANIAN, M.; DVOŘÁK, J. Time study and skidding capacity of the wheeled skidder Timberjack 450C in Caspian forests. **Journal of Forest Science**, v. 54, n. 4, p. 183–188, 2008.

BIRRO, M. H. B.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. DE; MINETTI, L. J. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com “Track-Skidder” em região montanhosa. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 525–532, 2002.

BONNEMANN, A; NAGY, J.L. **Manual do técnico florestal: volume: 3**. Irati: Colégio Florestal de Irati, 1986.

BORZ, S. A.; DINULICĂ, F.; BÎRDA, M.; et al. Time consumption and productivity of skidding Silver fir (*Abies alba* Mill.) round wood in reduced accessibility conditions: A case study in windthrow salvage logging form Romanian Carpathians. **Annals of Forest Research**, v. 56, n. 2, p. 363–375, 2013.

BROWN, R.O; DINIZ, C.C.C. **Colheita florestal e manutenção de equipamentos móveis**. In: Anais da I Semana de Aperfeiçoamento em Engenharia Florestal da UFPR. Anais...Curitiba(PR) UFPR, 2017. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/iseaflor/59470-COLHEITA-FLORESTAL-E-MANUTENCAO-DE-EQUIPAMENTOS-MOVEIS>>. Acesso em: 24/12/2017 14:19

CAMPOS, J. C. C., LEITE, H. G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas**. 4ª edição, Viçosa, Editora UFV, 2013.

CONWAY, S. Ground Skidding. in: **Logging Practices: Principles of Timber Harvesting Systems**. São Francisco: Miller Freeman, 1978.

DUNHAM, M. An Overview of Helicopter Logging in British Columbia. In: COUNCIL ON FOREST ENGINEERING (COFE) CONFERENCE PROCEEDINGS, 2006, Coeur d’Alene, Idaho, EUA. **Proceedings: “Working Globally – Sharing Forest Engineering Challenges and Technologies Around the World”**, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: 2006.

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; et al. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 83, p. 225–232, 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento**, Roma, v. 2, p. 171, 1978.

GALLIS, C.; SPYROGLOU, G. Productivity Linear Regression Models of Tree-Length Harvesting System in Natural Coastal Aleppo Pine (*Pinus halepensis* L.) Forests in the Chalkidiki Area of Greece. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 33, n. 1, p. 115–123, 2012.

GILANIPOOR, N.; NAJAFI, A.; HESHMAT ALVAEZIN, S. M. Productivity and cost of farm tractor skidding. **Journal of Forest Science**, v. 58, n. 1, p. 21–26, 2012.

HÄGGSTRÖM, C.; LINDROOS, O. Human, technology, organization and environment – a human factors perspective on performance in forest harvesting. **International Journal of Forest Engineering**, v. 27, n. 2, p. 67–78, 2016.

JACOVINE, L. A. G.; MACHADO, C. C.; PAULO DE SOUZA, A.; LEITE, H. G.; MINETTI, L. J. Avaliação da qualidade operacional em cinco subsistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 391–400, 2005.

KANTOLA, M. HASTELA, P. **Manual de tecnologia apropriada às operações florestais em países em desenvolvimento**. Parte II, Reprodução, Curitiba: Fupef, 1994.

KELLOGG, L. D.; BETTINGER, P. Thinning Productivity and Cost for a Mechanized Cut-to-Length System in the Northwest Pacific Coast Region of the USA. **Journal of Forest Engineering**, v. 5, n. 2, p. 43–54, 1994.

LEITE, E. DA S. **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas**. 2012. 109. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2012.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; et al. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo “forwarder”. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 879–887, 2014.

LIPS, M. Length of Operational Life and Its Impact on Life-Cycle Costs of a Tractor in Switzerland. **Agriculture**, v. 7, n. 8, p. 68, 2017.

LOPES, E. S.; DINIZ, C. C. C. Produtividade do trator florestal chocker skidder na extração de madeira em terrenos declivosos. **Floresta**, v. 45, n. 3, p. 624–634, 2015.

LOPES, E. S.; MISSEL, J. W. P.; DIAS, A. N.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica do trator florestal arrastador “skidder” com diferentes tipos de rodados na extração de madeira em povoamentos de pinus. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, p. 1053–1061, 2007.

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

LOPES, E. S.; TONHATO, L.; RODRIGUES, C. K.; SERPE, E. L. Declividade do Terreno e Distância de Extração na Produtividade do Forwarder com Guincho de Tração Auxiliar. **Nativa**, v. 4, n. 6, p. 347–352, 2016.

LOPES, E. S.; OLIVEIRA, D.; RODRIGUES, C. K.; DRINKO, C. H. Variables Influencing Working Time and Skidder Productivity in Wood Extraction. **Nativa**, v. 5, n. 4, p. 298–302, 2017.

LOPES, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; SILVEIRA, J. C. M. DA; RINALDI, P. C. N. Avaliação técnica e econômica de um “skidder” operando em diferentes produtividades e distâncias de extração. **Ciência Agrotécnica**, v. 33, n. 6, p. 1621–1626,

2009.

MACHADO, C.C.; SOUZA, A.P.; VOLPATO, CES. Efeito da distância de arraste e da declividade do terreno na produtividade da extração florestal com guincho arrastado. **Revista Árvore**. v. 1, n. 14, p. 61-67, 1990.

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

MAGAGNOTTI, N.; SPINELLI, R. Integrating animal and mechanical operations in protected areas. **Croatian journal of forest engineering**, v. 32, n. 2, p. 489–499, 2011.

MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A. **Evolução dos sistemas de colheita de *Pinus* na Região Sul do Brasil**. 1ª Ed. Curitiba: Fupef, 1998.

MALINOVSKI, R. A.; 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**, v. 36, n. 2, p. 169–182, 2006.

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

MARAN, J. C.; RAMOS, J. A. M.; ROBERT, R. C. G. Extração florestal. In ROBERT, R. C. G. **Guia prático de operações florestais na colheita de madeira**. 1ª edição. Curitiba: Editora Imprensa UFPR, 2012.37-45p.

MELEMEZ, K.; TUNAY, M.; EMIR, T. A Comparison of Productivity in Five Small-Scale Harvesting Systems. **Small-scale Forestry**, v. 13, p. 35–45, 2014.

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

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Rio de Janeiro – RJ, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009.

MOUSAVI, S. R.; NIKOOY, M. Evaluation of Tree Forwarding by Farm Tractor in Patch Cutting of Poplar Plantations in Northern Iran. **Small-scale Forestry**, v. 13, p. 527–540, 2014.

MOUSAVI, S. R.; NIKOOY, M.; NEZHAD, A. E.; ERSHADFAR, M. Evaluation of full tree skidding by HSM-904 skidder in patch cutting of aspen plantation in Northern Iran. **Journal of Forest Science**, v. 58, n. 2, p. 79–87, 2012.

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

NURMINEN, T.; KORPUNEN, H.; UUSITALO, J. Time Consumption Analysis of Harvesting System. **Silva Fennica**, v. 40, n. 2, p. 335–363, 2006.

OLIVEIRA, D. **Análise operacional e custos de sistemas de colheita de madeira em povoamentos de eucalipto**. 2013. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2013.

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

OLIVEIRA, R. J. DE; MACHADO, C. C.; PAULO DE SOUZA, A.; LEITE, H. G. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com “clambunk skidder”. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 267–275, 2006.

OZTURK, T. Productivity of MB Trac 900 tractor at beech stands on mountainous areas in Blacksea region. **African Journal of Agricultural Research**, v. 5, n. 1, p. 28–33, 2010.

OZTURK, T.; SEVGI, O.; AKAY, A. E. Impact assessment of log skidding on soil condition of skid roads during ground-based logging in a plantation forest in Istanbul, Turkey. **Bosque**, v. 38, n. 1, p. 41–46, 2017.

PACCOLA, J. E. **Manutenção e operação de equipamentos móveis**. 1ª Edição. São José dos Campos. SP, 2011.

PAULA, E. N. DA S. O. DE; LACERDA, L. C.; FIEDLER, N. C.; et al. ANÁLISE operacional da extração florestal com cabos aéreos em floresta de eucalipto. **Nativa**, v. 2, n. 4, p. 234–238, 2014.

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

PEREIRA, A. L. N. **Avaliação de um sistema de colheita de pinus taeda l. em diferentes produtividades do povoamento**. 2011. 77p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2011.

PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E. DA S.; DIAS, A. N. Análise técnica e de custo do feller buncher e skidder na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 981–989, 2015.

PEREIRA, D. P.; FIEDLER, N. C.; LIMA, J. S. D. S.; et al. Lateral stability limits of farm tractors for forest plantations in steep areas. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 433–439, 2011.

PICCHIO, R.; MAGAGNOTTI, N.; SIRNA, A.; SPINELLI, R. Improved winching technique to reduce logging damage. **Ecological Engineering**, v. 47, p. 83–86, 2012.

PICCHIO, R.; NERI, F.; MAESANO, M.; et al. Growth effects of thinning damage in a Corsican pine (*Pinus laricio* Poiret) stand in central Italy. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 2, p. 237–243, 2011.

ROBERT, R. C. G. Introdução. In _____. **Guia prático de operações florestais na colheita de madeira**. 1ª edição. Curitiba: Editora Imprensa UFPR, 2012. 9p.

ROBERT, R. C. G.; ANDREATA, H. K. Sistemas de colheita de madeira. In ROBERT, R. C. G. **Guia prático de operações florestais na colheita de madeira**. 1ª edição. Curitiba: Editora Imprensa UFPR, 2012. 46-59p.

ROBERT, R. C. G. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita mecanizada em plantios de Eucalyptus spp. em duas condições de relevo acidentado**. 2013. 112p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 2013.

ROBERT, R. C. G.; TESSARO, F.; PEREIRA, R. S.; SAMPIETRO, J. A.; MALINOVSKI, R. A. Technical analysis of extraction operation performed by a forwarder with traction aid winch in an Eucalyptus spp . plantation. **Nativa**, v. 5, p. 290–297, 2017.

ROCHA, E. B.; FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; et al. Productivity and Costs of a Full Tree Harvesting System. **Cerne**, v. 15, n. 3, p. 372–381, 2009.

RUDEK, A. **Planejamento da colheita de madeira em região montanhosa com o uso de modelagem espacial e programação linear inteira**, 2015. 89p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade do Centro-Oeste, 2015.

SAARILAHTI, M; ISOAHO, P. **Handbook for ox skidding researches**. Helsinki: The Finnish Forest Research Institute, 1992.

SALMERON, A. Exploração florestal. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Formação, manejo e exploração de florestas com rápido crescimento**. Brasília, 1981.

SANT'ANNA, C.M. Corte. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2014. 74-105p.

SANTOS, L. N. DOS; FERNANDES, H. C.; SILVA, M. L. DA; TEIXEIRA, M. M.; SOUZA, A. P. DE. Avaliação de custos da operação de extração da madeira com forwarder. **Cerne**, v. 22, n. 1, p. 27–34, 2016.

SANTOS, P. H. A. DOS; SOUZA, A. P. DE; MARZANO, F. L. DA C.; MINETTE, L. J. Produtividade e custos de extração de madeira de eucalipto com Clambunk Skidder. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 511–518, 2013.

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

SENTURK, N.; OZTURK, T.; DEMIR, M. Productivity and costs in the course of timber transportation with the Koller K300 cable system in Turkey. **Building and Environment**, v. 42, n. 5, p. 2107–2113, 2007.

SILVA, E. N. DA; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; et al. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de Pinus sp. com harvester. **Revista Árvore**, v. 34, n. 4, p.

745–753, 2010.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Avaliação Técnica E Econômica Do Forwarder Na Extração De Madeira Em Povoamento De Eucalipto De Primeiro Corte. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 711–720, 2010.

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

SIMÕES, D.; DA SILVA, M. R. Desempenho operacional e custos de um trator na irrigação pós-plantio de eucalipto em campo. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 164–170, 2012.

SIMÕES, D.; DA SILVA, M. R.; FENNER, P. T. Desempenho operacional e custos da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 5, p. 692–700, 2011.

SOUZA, P. DE; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica da operação de extração de eucalyptus spp. utilizando o trator autocarregável e o trator florestal transportador “forwarder” na região sul da Bahia. **Engenharia na Agricultura**2, v. 16, n. 3, p. 312–317, 2008.

SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N. The effects of introducing modern technology on the financial, labour and energy performance of forest operations in the Italian Alps. **Forest Policy and Economics**, v. 13, n. 7, p. 520–524, 2011.

SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N. Wood Extraction with Farm Tractor and Sulky: Estimating Productivity, Cost and Energy Consumption. **Small-scale Forestry**, v. 11, n. 1, p. 73–85, 2012.

SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N.; RELAÑO, R. L. An alternative skidding technology to the current use of crawler tractors in Alpine logging operations. **Journal of Cleaner Production**, v. 31, p. 73–79, 2012.

TAJFUM BRASIL, Disponível em: <<http://www.tajfun.com.br/produto/guincho-2658/>>. Acesso em: 09/03/2018

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

TMO, Disponível em: <http://www.tmo.com.br/site/Catalogo_TMO.pdf>. Acesso em: 06/10/2017

VALTRA, Disponível em: <<http://www.valtra.com.br/assets/especificacaoProduto/BM125i%20BAIXA%20FOP.pdf>>. Acesso em: 20/03/2017.

VOLPATO, C. E. S; MACHADO, C. C; SOUZA, A. P; NEVES, A. R. Otimização da produtividade e do custo de extração florestal com guincho-arrastador. **Revista Árvore**, v. 3, n. 15, p. 296-307,1991.

VUSIĆ, D.; ŠUŠNJAR, M.; MARCHI, E.; et al. Skidding operations in thinning and

shelterwood cut of mixed stands - Work productivity, energy inputs and emissions. **Ecological Engineering**, v. 61, p. 216–223, 2013.

WHOLE TREE METHOD. In: PULKKI, R. **Glossary Of Forest Harvesting Terminology. Canadá: Forest Harvesting. 2006. 17p.**

YOSHIDA, M.; SAKAI, H. Winch Harvesting on Flat and Steep Terrain Areas and Improvement of its Methodology. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 36, n. 1, p. 55–62, 2015.