

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor ,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir de
25/12/2020.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Botucatu



RICARDO HIDEAKI MIYAJIMA

**MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE E DOS CUSTOS DE MÁQUINAS NA
COLHEITA DE EUCALIPTO**

Botucatu
2019

RICARDO HIDEAKI MIYAJIMA

**MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE E DOS CUSTOS DE MÁQUINAS NA
COLHEITA DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Ciência Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Torres Fenner

Coorientador: Prof. Dr. Danilo Simões

Botucatu
2019

M685m Miyajima, Ricardo Hideaki
Modelagem da produtividade e dos custos de máquinas na colheita de eucalipto / Ricardo Hideaki Miyajima. -- Botucatu, 2019
132 p. : tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Paulo Torres Fenner
Coorientador: Danilo Simões

1. Colheita de madeira. 2. Tempos e métodos. 3. Monte Carlo. 4. Planejamento operacional. 5. Floresta plantada. I.

Título:

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: **“MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE E DOS CUSTOS DE MÁQUINAS NA COLHEITA DE EUCALIPTO”**

AUTOR: RICARDO HIDEAKI MIYAJIMA
ORIENTADOR: PAULO TORRES FENNER
COORIENTADOR: DANILO SIMOES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. PAULO TORRES FENNER
Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof.ª Dr.ª GISLAINE CRISTINA BATISTELA
Engenharia de Produção / Unesp - Itapeva


Prof. Dr. ALESSANDRO ANTONANGELO
Coordenadoria de Núcleo / UniFSP - Avaré


Prof. Dr. EDUARDO DA SILVA LOPES
Ciência Florestal / Universidade Estadual do Centro Oeste

Botucatu, 25 de junho de 2019.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por tudo.

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas por meio do programa de pós-graduação em: Ciência Florestal pela oportunidade concedida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo suporte financeiro.

Ao meu orientador e professor Dr. Paulo Torres Fenner pelos ensinamentos, apoio e amizade.

Ao meu coorientador e professor Dr. Danilo Simões pela amizade, paciência, ensinamentos, disposição e todo o suporte.

Ao professor Dr. Dirk Jaeger pela orientação, atenção e oportunidade durante o período de estágio sanduíche em Gottingen, Alemanha.

A Georg August Universitat Gottingen, pela oportunidade de realizar o doutorado sanduíche.

À empresa Eucatex, por meio dos operadores, supervisores em especial aos amigos Gilberto Pereira e Emílio José pela ajuda, disposição e suporte.

Aos amigos e companheiros do laboratório de técnicas e operações florestais (Rodrigo Tonin, Rafaele, Lara, Jorge e Diego) pela amizade, ajuda e convivência.

Aos meus pais, Masaru e Rosa, que sempre me apoiaram, acreditaram para a realização deste trabalho. Ao meu irmão Ronaldo pela amizade e apoio. Agradeço-os por tudo.

À minha amiga Marina pela ajuda, paciência, companheirismo, carinho, confiança, amizade e respeito.

Aos meus amigos, João Arthur Antonangelo, João Victor Ribeiro da Silva de Souza, Luis Eduardo Fagian Serrano e Vitor Massami Imaizumi, pela amizade, respeito, união e convivência durante esses anos. Em especial ao Humberto de Jesus Euftrade Junior pela amizade, união, ajuda e ensinamentos.

Aos colegas de trabalho em Gottingen, Pedro Brito, Stephan Hoffmann, Ulises Flores Hernandez e René Maxeiner, pela amizade e ensinamentos.

RESUMO

A colheita mecanizada é uma das etapas de extrema importância no processo produtivo do setor florestal, sendo avaliado sob a ótica técnica-econômica. Desta maneira, torna-se imprescindível a segurança na obtenção das informações relacionadas à produtividade e os custos, sendo essenciais para a tomada de decisão dos gestores florestais. Diante deste fato, o emprego da modelagem matemática pode proporcionar a obtenção destas informações com maior precisão e confiabilidade, além de correlacionar os fatores de interesse, tais como a classe de declividade, tipo de máquina, eito de operação e o número de árvores por ciclo. O objetivo do estudo foi propor a construção de modelos matemáticos na operação de corte da madeira realizada por dois modelos de *fellers-buncher* com características técnicas distintas e na operação de extração da madeira utilizando-se um *grapple skidder*. Para o *grapple processor*, a aplicação do método de Monte Carlo na construção de um modelo estocástico para a operação do processamento das toras. Para a análise técnica, foi empregado o estudo de tempos e métodos, pelo método do tempo contínuo. A análise do custo por hora programada das máquinas florestais foram pautadas na metodologia da *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Por meio da aplicação da modelagem matemática constatou-se que para a operação do *feller-buncher* os fatores tempo efetivo e volume de madeira foram significativos para a produtividade, além disso, foi averiguada uma diferença entre os *fellers-buncher* em termos de produtividade e custo de operação. Para o *skidder* os fatores feixe de madeira e o volume de madeira foram significativos para a produtividade da máquina autopropelida, ademais a operação de corte influenciou na atividade de extração da madeira. Já para o *grapple processor* foi constatado que o peso e o tamanho da área útil do implemento influenciaram na produtividade e nos custos de produção para a operação do processamento de toras. Conclui-se que a aplicação da modelagem matemática e da técnica de Monte Carlo pode ser uma ferramenta interessante para proporcionar segurança na obtenção das informações técnica-econômica para os gestores florestais.

Palavras-chave: Colheita de madeira. Tempos e métodos. Monte Carlo. Planejamento operacional. Floresta plantada.

ABSTRACT

Mechanized harvesting is one of the most important steps in the productive process of forest sector, being evaluated from the technical-economic viewpoint. In this way, information related to productivity and costs are essential for the decision making of forest managers. In view of this fact, the application of mathematical modeling can provide data with greater precision and reliability, as well as correlate the fact of interest, such as slope class, machine type, operating condition and number of trees per cycle. The objective of the study was to propose the construction of mathematical models in the wood cutting operation performed by a feller buncher and in the wood extraction operation using a skidder. For the grapple processor application of the Monte Carlo method in the construction of a stochastic model for the operation of the processing of logs. For the technical analysis, study of time and methods was employed by the continuous time method. The analysis of the programmed hourly cost of forest machines was based on the methodology of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Through the application of the mathematical modeling, it was verified that for the operation of feller buncher, the factors effective time and wood volume were significant for the productivity; in addition, a difference was verified between feller bunchers in terms of productivity and cost operation. For the grapple skidder, the wood bundles and wood volume factors were significant for the productivity of the self propelled machine, in addition the cutting operation influenced the wood extraction activity. Grapple processor, it was verified that the weight and the size of useful area of the implement influenced in the productivity and production costs for the operation of processing of logs. It is concluded that the application of mathematical modeling and Monte Carlo technique can be an interesting tool to provide security in obtaining the technical-economic information for forest managers.

KEYWORDS: Wood harvesting. Times and methods. Monte Carlo. Operational planning. Planted forest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	PHM observada <i>versus</i> PHM estimada.....	56
Figura 1.2	CPM observado <i>versus</i> CPM estimado.....	60
Figura 2.1	PHM observada <i>versus</i> PHM estimada.....	81
Figura 2.2	CPM observado <i>versus</i> CPM estimado.....	85
Figura 3.1	<i>Spearman's</i> rank das cinco variáveis dependentes que mais influenciaram a PHM.....	102
Figura 3.2	Contribuição dos elementos de custo (US\$ h ⁻¹) para a variância do CHP.....	104
Figura 3.3	Função Densidade de Probabilidade (FDP) dos custos de produção da operação de processamento de toras para o <i>grapple processor 1</i>	105
Figura 3.4	Função Densidade de Probabilidade (FDP) dos custos de produção da operação de processamento de toras para o <i>grapple processor 2</i>	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Tempo médio e desvio padrão dos elementos do ciclo operacional do corte das árvores realizada por uma máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco <i>feller-buncher</i>	50
Tabela 1.2	Produtividade média por hora efetiva da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco <i>feller-buncher</i> e desvio padrão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$).....	53
Tabela 1.3	Custo médio de produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco <i>feller-buncher</i> e desvio padrão ($\text{US\$ m}^{-3}$).....	58
Tabela 2.1	Tempo médio e desvio padrão dos elementos do ciclo operacional da extração das árvores realizada por uma máquina autopropelida <i>grapple skidder</i>	76
Tabela 2.2	Produtividade por hora efetiva da máquina e desvio padrão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) da extração das árvores realizada por uma máquina autopropelida <i>grapple skidder</i>	79
Tabela 2.3	Custo médio de produção e desvio padrão ($\text{US\$ m}^{-3}$) da extração das árvores realizada por uma máquina autopropelida <i>grapple skidder</i>	83
Tabela 3.1	Parâmetros das distribuições dos <i>inputs</i> do <i>grapple processor 1</i>	99
Tabela 3.2	Parâmetros das distribuições dos <i>inputs</i> do <i>grapple processor 2</i>	100

SUMÁRIO

	Página
INTRODUÇÃO GERAL.....	20
REVISÃO DE LITERATURA.....	22
Mecanização florestal.....	22
Colheita de madeira mecanizada.....	23
Sistemas de colheita de madeira.....	25
Sistema de toras curtas. (Cut-to-length).....	26
Sistema de toras longas. (Cut-to-length).....	26
Sistemas de árvores inteiras (Full tree).....	27
Sistema de árvores completas (Whole tree).....	27
Sistema de cavaqueamento (Chipping).....	28
Feller-buncher.....	28
Skidder.....	29
Grapple processor.....	30
Estudo de tempos e métodos.....	32
Custos de produção.....	33
Análise de risco operacional-econômico.....	34
Modelagem matemática.....	35
Método de Monte Carlo.....	37
CAPÍTULO 1.....	39
MODELAGEM MATEMÁTICA DA PRODUTIVIDADE E CUSTOS DA DERRUBADA DE EUCALIPTO DA MÁQUINA AUTOPROPELIDA COM CABEÇOTE DE CORTE DE DISCO <i>FELLER- BUNCHER</i>	
RESUMO.....	39
ABSTRACT.....	40
1.1 INTRODUÇÃO.....	41
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
1.2.1 Caracterização da área de estudo.....	42
1.2.2 Coleta de dados.....	43
1.2.3 Análise técnica.....	44

1.2.4	Análise econômica.....	45
1.2.5	Delineamento estatístico.....	47
1.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
1.3.1	Tempos dos elementos do ciclo operacional.....	48
1.3.2	Produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida.....	53
1.3.3	Previsão dos custos.....	56
1.4	CONCLUSÕES.....	60
	AGRADECIMENTOS.....	60
	REFERÊNCIAS.....	61
	CAPÍTULO 2	67
	MODELAGEM DAS VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA NO ARRASTE DE MADEIRA COM MÁQUINA AUTOPROPELIDA GRAPPLE SKIDDER.....	
	RESUMO.....	67
	ABSTRACT.....	68
2.1	INTRODUÇÃO.....	69
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	70
2.2.1	Área de estudo.....	70
2.2.2	Coleta de dados.....	71
2.2.3	Análise técnica.....	72
2.2.4	Análise econômica.....	72
2.2.5	Delineamento estatístico.....	74
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
2.3.1	Tempos dos elementos do ciclo operacional.....	75
2.3.2	Produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida.....	78
2.3.3	Previsão dos custos.....	81
2.4	CONCLUSÕES.....	85
	AGRADECIMENTOS	85
	REFERÊNCIAS.....	86
	CAPÍTULO 3	91
	ANÁLISE TÉCNICA-ECONÔMICA DE UM GRAPPLE PROCESSOR: UMA ABORDAGEM ESTOCÁSTICA.....	
	RESUMO.....	91

ABSTRACT.....	92
3.1 INTRODUÇÃO.....	93
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	94
3.2.1 Dados de campo.....	94
3.2.2 Produtividade da operação.....	95
3.2.3 Custos inerentes a operação.....	96
3.2.4 Simulando a incerteza.....	97
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	98
3.3.1 Análise dos tempos do ciclo operacional dos grapple processors.....	98
3.3.2 Análise estocástica da produtividade por hora efetiva.....	100
3.3.3 Análise estocástica dos custos da operação.....	102
3.4 CONCLUSÕES.....	106
AGRADECIMENTOS.....	107
REFERÊNCIAS.....	107
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	116
REFERÊNCIAS.....	117

INTRODUÇÃO GERAL

O setor de florestas plantadas é importante para a economia brasileira, pois contribui com a geração de empregos diretos e indiretos, arrecadação de impostos e a contribuição com o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Desta maneira, este setor passou por grandes evoluções e melhorias, não sendo diferente na etapa da colheita de madeira.

Na década de 90, a abertura para as importações de máquinas oriundas da Europa e da América do Norte, foi um marco importante para a colheita de madeira mecanizada. Desta forma, por meio da introdução da mecanização na colheita de madeira, com a utilização de máquinas modernas desenvolvidas para a realização de etapas de corte, extração e processamento, proporcionou um avanço significativo para esta fase do processo.

Com a introdução e utilização cada vez mais recorrente de máquinas e equipamentos florestais, estudos começaram a ser desenvolvidos, principalmente do ponto de vista técnico-econômico, com o intuito de aumentar a produtividade e a redução dos custos referentes ao processo produtivo. Pois segundo Machado et al. (2014) a etapa da colheita e transporte florestal são responsáveis por cerca de 50% ou mais dos custos inerentes ao processo de produção.

Para a colheita de madeira mecanizada diversos fatores, tais como declividade do terreno, tipo de solo, tipo de floresta, espécie, material genético, espaçamento, tratos silviculturais, tipo de máquina, experiência do operador, capital disponível entre outros, são importantes do ponto de vista da análise da produtividade e custos de produção, além de ser importante para um planejamento adequado e até mesmo para a escolha do tipo de sistema de colheita de madeira a ser empregado.

Na literatura podem ser constatadas diversas pesquisas e estudos em que as mais diversas máquinas florestais são avaliadas em termos de produtividade e custos por meio da avaliação tradicional, ou seja, de forma determinística. Neste aspecto, Machado (1989), ressalta que embora existam muitas técnicas para a estimativa de custos na colheita florestal, nenhuma delas é perfeita. Ademais, uma possível solução é a aplicação da modelagem matemática para descrever e identificar variáveis que influenciam na produtividade e nos custos das máquinas empregadas na colheita de madeira.

Desta maneira, o objetivo geral foi realizar uma análise técnica e de custos de um sistema de colheita de árvores inteiras, por meio da aplicação da modelagem matemática para a operação de corte e extração da madeira para correlacionar-se os fatores mais significativos e inerentes na operação das máquinas autopropelidas com implemento florestal *feller-buncher* e *grapple skidder*, para o processamento de toras aplicou-se o método de Monte Carlo com vistas à construção de modelos para a abordagem estocástica desta atividade. Os objetivos específicos foram:

- Construção de modelos matemáticos a partir de dados experimentais da derrubada de *Eucalyptus* com duas máquinas autopropelidas com implemento florestal *feller-buncher* com diferentes características técnicas.
- Aplicação da modelagem matemática para descrever e identificar variáveis que influenciam a produtividade operacional e os custos na atividade de extração da madeira com *grapple skidder* em função dos feixes de madeira, duas classes de declividade e do ramal de extração.
- Aplicação do método de Monte Carlo para a determinação de coeficientes técnico-econômico probabilísticos do processamento de toras de *Eucalyptus* com dois modelos de *grapple processor* que possuíam características técnicas distintas.

CAPÍTULO 1

MODELAGEM MATEMÁTICA DA PRODUTIVIDADE E CUSTOS DA DERRUBADA DE EUCALIPTO DA MÁQUINA AUTOPROPELIDA COM CABEÇOTE DE CORTE DE DISCO *FELLER-BUNCHER*

RESUMO

A produtividade operacional e os custos da derrubada de árvores podem ser influenciados por diversos fatores, dentre estes, destacam-se o modelo da máquina autopropelida com cabeçote de corte, classe de declividade, o eito de operação, o volume individual, o índice de mortalidade das árvores, etc. Diante disso, a aplicação da modelagem matemática ponderando estas variáveis pode proporcionar aos gestores florestais, tomadas de decisão que consentirão a otimização das operações florestais. Nesta perspectiva, objetivou-se a construção de um modelo matemático para a produtividade e para o custo de produção na operação de dois *fellers-buncher*, os quais foram analisados em função das características técnicas distintas das máquinas, duas classes de declividade (plana e suave ondulado) e dois eitos de operação (3 e 4 linhas) em uma floresta plantada de *Eucalyptus*. A produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida foi calculada por meio do estudo de tempos e métodos. O custo por hora programada da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* foi pautado na metodologia da *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Isto posto, foi possível calcular o custo de produção da operação. Por meio da modelagem matemática, os fatores que mais influenciaram na produtividade foram o tempo efetivo e o volume de madeira, além disso, apresentou um $R_a^2 = 91,34 \%$ e para o custo de produção foi constatado que o modelo da máquina, classe de declividade, tempo efetivo e volume de madeira foram os fatores que mais influenciaram no custo de produção e apresentou um $R_a^2 = 91,05 \%$. Concluiu-se que a produtividade e o custo de produção para a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1 foi menor em relação a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 2.

Palavras-chave: Colheita florestal. Custo por hora programada. Tempos e métodos. Planejamento florestal. Otimização.

MATHEMATICAL MODELING OF THE PRODUCTIVITY AND COSTS OF EUCALYPTUS CUT OF THE SELF PROPELLED MACHINE WITH FELLER-BUNCHER DISC CUTTING HEAD

ABSTRACT

The operational productivity and costs of tree cut operations can be influenced by several factors, among them, the forest machine model, terrain slope, workload, individual volume, mortality rate trees, etc. Therefore, the application of mathematical modeling weighting these variables can provide forest managers with decision-making that will allow the optimization of forest operations. In this perspective, the objective was to construct mathematical model for productivity and cost of production in the operation of two feller-buncher, which were analyzed according to the technical characteristics of the machines, two classes of slope (flat and smooth corrugated) and two operation sites (3 and 4 lines) in a planted Eucalyptus forest. The effective hourly productivity of the self propelled machine was calculated by studying time and methods. The programmed hourly cost of the self propelled machine with feller-buncher disc cutting head was based on the methodology of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. This fact, it was possible to calculate production cost of the operation. By means of mathematical modeling, the factors that most influenced in the productivity were the effective time and the wood volume, in addition, presented a $R_a^2 = 91,34 \%$ and for the production cost it was verified that the model of machine, slope class, effective time and the wood volume were the factors that most influenced the production cost and presented a $R_a^2 = 91,05 \%$. It was concluded that productivity and production cost for the self propelled machine with feller-buncher disc cutting head 1 was lower than the self propelled machine with feller-buncher disc cutting head 2.

Keywords: Forest harvesting. Scheduled hourly cost. Times and methods. Forest planning. Optimization.

1.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento científico das informações relacionadas aos fatores técnico-econômico é essencial para o processo de tomada de decisão na área da colheita de madeira mecanizada, uma vez que, a ciência destas informações permite aos gestores, escolhas mais plausíveis dos modais de colheita, sobretudo, com vistas à otimização operacional e, por conseguinte, a minimização dos custos de produção. Nesta perspectiva, Hiesl e Benjamin (2013) salientam a importância de conhecer a produtividade da máquina e o gerenciamento efetivo de qualquer operação florestal, que tem como premissa as estimativas precisas dos custos, embora o monitoramento dessas variáveis possa ser complexo (HOLZLEITNER; STAMPFER; VISSER, 2011).

Desta maneira, a avaliação da produtividade e dos custos envolvidos na etapa do corte é importante, pois propiciam melhorias no processo produtivo, qualidade do trabalho e maior competitividade entre as empresas. Devido à importância desta etapa na cadeia produtiva, uma das máquinas disponíveis no mercado é a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*. De acordo com Silva, Fenner e Cataneo (2007) e Magagnotti et al. (2012) o *feller-buncher* é uma máquina robusta, composta por rodados de pneus ou esteiras, cabeçote de corte e um braço hidráulico, que realiza o corte mais próximo ao solo, acumula certo número de árvores, em seguida, deposita-as sobre o terreno formando os feixes de madeira que estarão aptos para a extração

A derrubada pode ser afetada por alguns fatores tais como a declividade, solo, máquina, tipo de floresta, volume por árvore, espaçamento, tratamentos silviculturais, sistema de trabalho, operador, finalidade da madeira, tipo de trabalho, entre outros (LOPES et al., 2008; FERNANDES et al., 2009; OLIVEIRA; LOPES; FIEDLER, 2009). Desta maneira, conhecer as reais capacidades produtivas, as possíveis variáveis que interferem na produtividade da máquina e nos custos de produção são de suma importância na tomada de decisão.

Uma vez que os custos de produção na colheita de madeira mecanizada representam uma parcela considerável do custo final da madeira (MACHADO et al., 2014), sendo essencial o seu equilíbrio dentro da cadeia produtiva (CAMBERO; SOWLATI, 2014). No entanto, Machado (1989) ressalta que embora existam muitas técnicas para a estimativa de custos na colheita florestal, nenhuma delas é perfeita,

o que também contribui é o fato de serem divididos em custos de capital e custos operacionais (ACKERMAN et al., 2014). Portanto, uma possível solução é a aplicação da modelagem matemática para descrever e identificar as variáveis que influenciam nos custos das máquinas empregadas na colheita florestal.

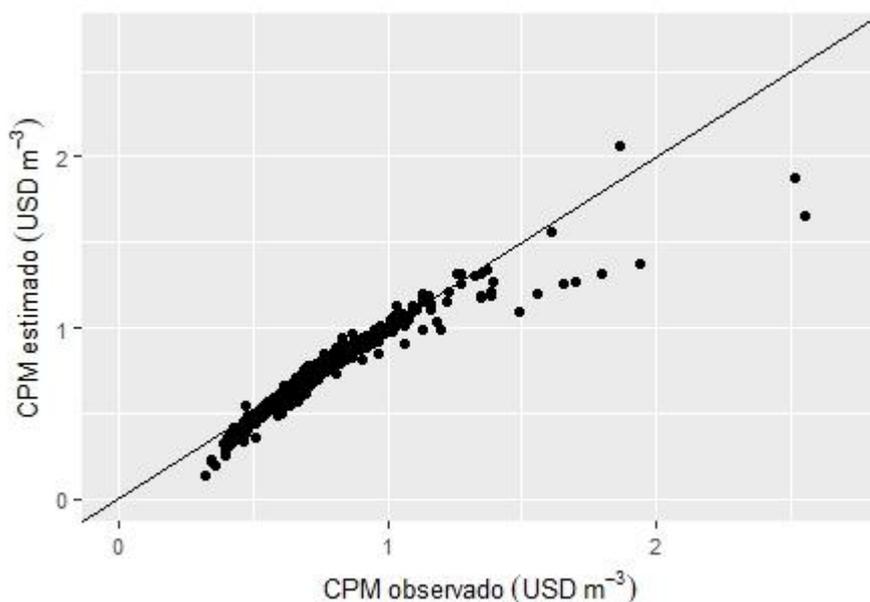
A aplicação de modelos matemáticos para a predição da produtividade das máquinas florestais e os respectivos custos, de acordo com Ohman e Eriksson (2010) e Smaltschinski, Seeling e Becker (2012) para as operações de colheita de madeira está relacionada com o planejamento das atividades e otimização do processo de produção. Leite et al. (2014) e Strandgard, Walsh e Mitchell (2015) complementam que a construção destes modelos, deve ser a partir do conhecimento das variáveis mais significativas, que permite a relação das variáveis mais relevantes com a produtividade operacional e custos dos modais de colheita.

Nesta perspectiva, o processo de decisão florestal a partir de modelos matemáticos que representem um sistema real pode consentir aos gestores florestais a interpretação de hipóteses intrínsecas à derrubada de árvores e propiciar um melhor entendimento quantitativo das variáveis envolvidas. Diante disso, objetivou-se a construção de um modelo matemático para a produtividade e para o custo de produção a partir de dados experimentais da derrubada de eucalipto com duas máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, os quais foram avaliados em função das características técnicas distintas das máquinas, duas classes de declividade (plana e suave ondulado) e dois eitos de operação (3 e 4 linhas) para a predição técnica-econômica de condições operacionais distintas.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado próximo ao município de Botucatu, Estado de São Paulo (22°84' N, 48°34' L). Segundo a classificação de Köppen-Geiger, as características climáticas da região são descritas como Cwa clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22° C.

Figura 1.2 - CPM observado versus CPM estimado

1.4 CONCLUSÕES

Dentre os fatores analisados o tempo efetivo possui uma relação inversa e o volume da madeira uma relação direta com a produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*.

A produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1 foi em média 16,77 % inferior a produtividade da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 2.

O custo médio da produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1 foi em média 18,03 % inferior ao custo médio da produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 2.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, P.; BELBO, H.; ELIASSON, L.; JONG, A.; LAZDINS, A.; LYONS, J. The COST model for calculation of forest operations costs. **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 25, n. 1, p. 75-81, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14942119.2014.903711>. Acesso em: 5 de fev 2018.
- ACUNA, M.; SKINNELL, J.; EVANSON, T.; MITCHELL, R. Bunching with self leveling feller-buncher on steep terrain for efficient yarder extraction. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 32, p. 521-531, 2011. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/72655>. Acesso em: 27 de mar 2019.
- ALAM, M.; ACUNA, M.; BROWN, M. Self-levelling feller-buncher productivity based on lidar derived slope. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 34, n. 2, p. 273-281, 2013. Disponível em: <http://www.crojfe.com/archive/volume-34-no-2/>. Acesso em: 12 de mar 2019.
- ANDERSSON, B.; EVANS, C. M. *Harvesting Overmature Aspen Stands in Central Alberta*; Special Report SR-112; **Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC)**: Pointe Claire, PQ, Canada, 1996; p. 42
- ASSAF NETO, A.; LIMA, F. G.; ARAÚJO, A. M. P. Uma proposta metodológica para o cálculo do custo de capital no Brasil. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 72-83, 2008. Disponível em: http://bdpi.usp.br/single.php?_id=001680989&locale=en_US. Acesso em: 20 de fev 2018.
- BAKER, H. K.; ENGLISH, P. **Capital Budgeting valuation**. New Jersey: Wiley, 2011, 509 p.
- BANCO CENTRAL do BRASIL. **Conversão de moedas**. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp>> Acesso em: 05 de jun 2018.
- CAMBERO, C.; SOWLATI, T. Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives – A review of literature. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 36, p. 62-73, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114002688>. Acesso em: 20 de abr 2019.
- COPELAND, T. E.; ANTIKAROV, V. **Opções reais**: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos. Rio de Janeiro: Campus, 2001. 368 p.
- DAMODARAN, A. **Investment valuation: tools and techniques for determining the value of any asset**. New Jersey: Wiley, 2002. 1356 p.
- DINIZ, C. C. C.; NAKAJIMA, N. Y.; ROBERT, R. C. G.; DOLÁCIO, C. J. F.; SILVA, F. A. Desempenho de um feller buncher em extrema variação da declividade do

terreno. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 5, n. 3, p. 381-384, 2018.

Disponível em:

<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/download/5522/pdf>.

Acesso em: 15 de abr 2018.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York: Wiley-Interscience, 1998. 736 p.

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; RINALDI, P. C. N.;

FERNANDES, P. S. Avaliação técnica e econômica de um feller buncher operando em diferentes produtividades. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 19, n. 3, p. 210-218, 2011. Disponível em:

<https://periodicos.ufv.br/ojs/reveng/issue/view/46/showToc>. Acesso em: 30 de jun 2018.

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; MINETTE, L. J.; RINALDI, P. C. N.; BERNARDES, A. M. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 225-232, 2009. Disponível em:

<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr83/cap01.pdf>. Acesso em: 19 de maio 2018.

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

<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/13153/8900>. Acesso em: 3 de jun 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Cost control in forest harvesting and road construction**. Rome, Forestry Paper 99, 1992. 121 p. Disponível em:

www.fao.org/forestry/harvesting/86024/en. Acesso em: 16 de jan 2017.

GHAFFARIYAN, M. R.; ACUNA, M.; KELLOG, L. Productivity of roadside processing system in Western Australia. *Silva Balcanica*, v. 13, n. 1, p. 49-60, 2012. Disponível em:

https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42917250/Disease_caused_by_Beauveria_bassiana_Ba20160221-10211-1bx27qw.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1552400953&Signature=jObPPR7QGCsAQsOY9aAX13vtrWQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DDisease_caused_by_Beauveria_bassiana_Ba20160221-10211-1bx27qw.pdf#page=49. Acesso em: 12 de mar 2018.

HARRILL, H.; HAN, H. S. Productivity and cost of integrated harvesting of wood chips and sawlogs in stand conversion operations. *International Journal of Forestry Research*. Londres, v. 2012, p. 1-11, 2012. Disponível em:

<https://www.hindawi.com/journals/ijfr/2012/893079/>. Acesso em 14 de mar 2019.

HIESL, P.; BENJAMIN, J. G. A multi-stem feller-buncher cycle time model in partial harvests in small diameter wood stands. **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 24, p. 101-108, 2013. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/1999-4907/4/4/898>. Acesso em: 22 de set 2018.

HOLZLEITNER, F.; STAMPFER, K.; VISSER, R. Utilization rates and cost factors in timber harvesting based on long-term machine data. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 32, p. 501–508, 2011. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/2398/e884f890cab99dcc46723bad67bf0563dd93.pdf>. Acesso em 11 de mar 2018.

HOLTZSCHER, M. A.; LANFORD, B. L. Tree diameter effects on cost and productivity of cut to length systems. **Forest Products Journal**, Madison, v.43, n. 3, p. 25-30, 1997. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/1428>. Acesso em: 12 de mar 2019.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem técnica e de custos do harvester no corte da madeira de eucalipto no sistema de toras curtas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 205-215, 2013. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr98/cap06.pdf>. Acesso em: 16 de dez 2018.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo forwarder. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 5, p. 879-887, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622014000500012&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 4 de jun 2018.

LOPES, S. E.; FERNANDES, H. C.; SANTOS, N. T.; RINALDI, P. C. N. Avaliação técnica e econômica de uma garra traçadora operando em diferentes produtividades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 79, p. 215-222, 2008. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr79/cap05.pdf>. Acesso em: 12 de nov 2018.

MACHADO, C. C. **Sistema brasileiro de classificação de estradas florestais (SIBRACEF):** desenvolvimento e relação com o meio de transporte florestal rodoviário. 188 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25340/T%20-%20MACHADO%2C%20CARLOS%20CARDOSO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 de mar 2018.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S.; CASTRO, G. P. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora. UFV, 2014, cap. 1, p. 15-45.

MAGAGNOTTI, N.; SPINELLI, R.; GULDNER, O.; ERLER, J. Site impact after motor manual and mechanised thinning in Mediterranean pine plantations. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 113, p. 140-147, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511012001183>. Acesso em: 11 de mar 2018.

MIYAJIMA, R. H.; TONIN, R. P.; PASSOS, J. R.; FENNER, P. T. A influência da declividade do terreno e do tempo de experiência dos operadores no rendimento do *feller buncher*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 443-451, 2016.

MOOD, A. M.; GRAYBILL, F. A.; BOES, D. C. **Introduction to the theory of statistics**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1974. 564p.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 9. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2017. 640 p.

NASCIMENTO, A. C.; LEITE, A. M. P.; SOARES, T. S.; FREITAS, L. C. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com feller-buncher. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 9-15, 2011. Disponível em: <http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/7>. Acesso em 12 de mar 2019.

OHMAN, K.; ERIKSSON, L. O. Aggregating harvest activities in long term forest planning by minimizing harvest area perimeters. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 44, n. 1, p. 77-89, 2010. Disponível em: <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf441077.pdf>. Acesso em: 3 de maio 2018.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do forwarder em extração de toras de pinus. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 525-533, 2009. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr84/cap20.pdf>. Acesso em: 28 de ago 2018.

OLIVEIRA JUNIOR, E. D.; SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Produtividade de Feller-Buncher em povoamento de eucalipto em relevo acidentado. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 905-912, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/16327/10799>. Acesso em: 14 de abr 2018.

PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E. 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**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 981-989, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982015000400981&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 7 de set 2018.

RAO, C. R. **Linear statistical inference and its applications**. 2 ed, New York, John Wiley & Sons, Inc, 2001, 625 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, 2018. URL <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 02 de mar 2019.

ROCHA, E. B.; FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; LOPES, E. S. GUIMARÃES, P. P.; PERONI, L. Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores inteiras. **Cerne**. Lavras, v. 15, n. 3, p. 372-381, 2009. Disponível em: <http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/195>. Acesso em: 8 de abr 2018.

SANTOS, P.H.A.; SOUZA, A.P.; MARZANO, F.L.C.; MINETTE, L.J. Produtividade e custos de extração de madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p.

511-518, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v37n3/a14v37n3.pdf>. Acesso em: 15 de mar 2018.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Editora EMBRAPA, 2018, 353 p.

SCHETTINO, S.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. Correlação entre volumetria de florestas de eucalipto e produtividade e custos de máquinas de colheita de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 39, n. 5, p. 935-942, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622015000500935&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 12 de mar 2019.

SCHWEIER, J.; SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N.; BECKER, G. Mechanized coppice harvesting with small scale feller bunchers: Results from harvesting trials with newly manufactured felling heads in Italy. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 72, p. 85-94, 2015. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153089303>. Acesso em: 1 de dez 2018.

SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Comparação técnica e econômica entre harvester de pneus e com máquina base de esteiras. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 185-191, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982014000100185&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 12 de mar 2019.

SIMÕES, D.; IAMONTI, I. C.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do corte de eucalipto com feller buncher em diferentes condições operacionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 649-656, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/2423>. Acesso em: 19 de mar 2018.

SIMÕES, D.; FENNER P. T. Influência do relevo na produtividade e custos do harvester. **Scientia Forestalis**, Piracicaba v. 38, n. 85, p. 107-114, 2010. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr85/cap10.pdf>. Acesso em: 30 de ago 2018.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com *harvester*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 611-618, 2010. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr88/cap07.pdf>. Acesso em: 13 de jul 2018.

SIMÕES, D. FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Produtividade e custos do feller buncher e Processador Florestal em povoamentos de eucalipto de primeiro corte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 621-630, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982014000300621&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 2 de abr 2018.

SIMÕES, D.; MIYAJIMA, R. H.; TONIN, R. P.; FENNER, P. T.; BATISTELA, G. C. Incorporation of uncertainty in technical and economic analysis of a feller-buncher.

Floresta, Curitiba, v. 48, n. 3, p. 403-412, 2018. Disponível em:
<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/56404>. Acesso em: 1 de dez 2018.

SILVA, J. R.; FENNER, P. T.; CATANEO, A. Avaliação do desempenho operacional de trator florestal Feller-Buncher. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 6, n. 1, p. 29-34, 2007. Disponível em:
<http://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5356>. Acesso em: 11 de abr 2018.

SPINELLI, R.; HARTSOUGH, B.; MAGAGNOTTI, N. Productivity Standards for Harvesters and Processors in Italy. **Forest Products Journal**, Madison, v. 60, n.3, p. 226–235, 2010. Disponível em: <https://forestprodjournals.org/doi/abs/10.13073/0015-7473-60.3.226>. Acesso em: 12 de mar 2019.

SMALTSCHINSKI, T.; SEELING, U.; BECKER, G. Clustering forest harvest stands on spatial networks for optimized harvest scheduling. **Annals of Forest Science**, Le Ulis, v. 69, p. 651-657, 2012. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00930833/document>. Acesso em: 7 de ago 2018.

STEVENSON, W. J. **Administração das operações de produção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001, 701 p.

STRANDGARD, M.; WALSH, D.; MITCHELL, R. Productivity and cost of whole-tree harvesting without debarking in *Eucalyptus nitens* plantation in Tasmania, Australia. **Southern Forests**, África do Sul, v. 77, n. 3, p. 173–178, 2015. Disponível em:
<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201600100809>. Acesso em: 12 de mar 2019.

TOLOSANA, E.; SPINELLI, R.; AMINTI, G.; LAINA, R.; VICENS, I. L. Productivity, Efficiency and Environmental effects of whole-tree harvesting in Spanish coppice stands using a drive to tree disc saw feller-buncher. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 39, n. 2, p. 163-172, 2018. Disponível em:
<http://www.crojfe.com/site/assets/files/4218/tolosana.pdf>. Acesso em: 12 de mar 2019.

WILLIAMS, C.; ACKERMAN, P. Cost-productivity analysis of South African pine sawtimber mechanised cut-to-length harvesting. **Southern Forests**, África do Sul, v. 78, n. 4, p. 267–274, 2016. Disponível em:
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2989/20702620.2016.1183096>. Acesso em: 12 de mar 2019.

CAPÍTULO 2

MODELAGEM DAS VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA NO ARRASTE DE MADEIRA COM MÁQUINA AUTOPROPELIDA *GRAPPLE SKIDDER*

RESUMO

A máquina autopropelida *grapple skidder* foi projetada para a realização da extração dos feixes de madeira após a operação da derrubada das árvores. Diversos fatores influenciam o desempenho técnico e os seus custos, tais como a declividade do terreno, tempo de experiência do operador, distância de extração, tipo de máquina, e o tamanho dos feixes de madeira para cada ciclo operacional entre outros. Por se tratar de informações essenciais na tomada de decisão, torna-se imprescindível a segurança na obtenção dos valores relacionados a estas informações. Desta maneira, a aplicação da modelagem matemática pode proporcionar a obtenção destes dados com maior precisão, além de ponderar os fatores que possuem influência em termos da produtividade e dos custos da máquina autopropelida *grapple skidder*. O objetivo do estudo foi propor a construção de um modelo matemático para a produtividade e para o custo de produção da máquina autopropelida em função de dois tamanhos de feixes de madeira, duas classes de declividade (plana e suave ondulado) e dois ramais de extração em uma floresta plantada de *Eucalyptus*. Para análise da produtividade operacional foi empregada o estudo de tempos e métodos e o custo por hora programada foi embasada na metodologia da *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Desta maneira, foi possível constatar que dentre os fatores analisados, o feixe de madeira influenciou na produtividade e no custo de produção da máquina autopropelida *grapple skidder*. Concluiu-se que por meio da modelagem matemática proporcionou relacionar as variáveis de interesse com as variáveis respostas, desta maneira as variáveis que mais influenciaram na produtividade e no custo de produção foram o feixe de madeira, tempo efetivo e o volume de madeira.

Palavras-chaves: Silvicultura. Produtividade operacional. Extração de madeira. Custo de produção. Otimização.

MODELING THE INFLUENCE VARIABLES ON THE WOOD EXTRACTION WITH SELF PROPELLED MACHINE GRAPPLE SKIDDER

ABSTRACT

The self propelled grapple skidder machine was designed to carry out the extraction of the wood bundles after the tree felling operation. Several factors influence the technical performance and costs, such as the terrain slope, operator experience time, extraction distance, type of machine and the size of the wood bundles for each operational cycle, among others. Because it is essential information in decision making, it is imperative that security be obtained in order to obtain the values related to this information. In this way, the application of mathematical modeling can provide the data acquisition with greater precision, besides weighing the factors that have influence in terms of productivity and costs of the self propelled machine grapple skidder. The objective of the study was to propose the construction of mathematical model for the productivity and cost of production of the self propelled machine as a function of two sizes of wood bundles, two classes of terrain slope (flat and smooth corrugated) and two branches of extraction in a planted Eucalyptus forest. For the analysis of the operational productivity was used the study of times and methods and the cost per hour programmed was based on the methodology of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. In this way, it was possible to verify that among the analyzed factors, the wood bundles influenced the productivity and the production cost of the self propelled machine grapple skidder. It was concluded that, through mathematical modeling, it was possible to relate the variables of interest to the response variables, so that the variables that most influenced productivity and production cost were the wood bundles, effective time and wood volume.

Keywords: Silviculture. Operational productivity. Timber extraction. Production cost. Optimization.

2.1 INTRODUÇÃO

A mecanização na colheita florestal foi um passo importante para a busca de melhores condições de trabalho para os operadores, aumento da produtividade operacional e redução dos custos. Como consequência, as melhorias relacionadas à colheita florestal mecanizada, proporcionou o conhecimento das informações referentes à produtividade e os custos de uma determinada máquina e ou um sistema, ou seja, a confiabilidade destas duas informações é fundamental para um melhor funcionamento e compreensão do sistema produtivo.

Desta maneira, pode-se observar que a mecanização da atividade de colheita florestal passa por grandes inovações e avanços tecnológicos (SIMÕES; FENNER; ESPERANCINI, 2014), mas para que esta ocorra é importante entender os processos, as etapas e os trabalhos envolvidos neste segmento (LINDROOS; LA HERA; HAGGSTROM, 2017). Embora frequentemente sejam observadas mudanças que culminam na evolução das operações florestais, podem ocorrer diferenças de custos de produção, isto é, decorrentes dos modelos de máquinas ou dos modais de colheita de madeira empregados.

Uma das máquinas florestais utilizadas atualmente é a máquina autopropelida *grapple skidder*, que realiza a retirada dos feixes ou toras de madeira do local em que foi realizado a derrubada, para um pátio florestal ou para as margens dos talhões, onde pode ser realizado o processamento ou somente a alocação da madeira. No entendimento de Behjou et al. (2008) e Lima e Leite (2014) a máquina autopropelida *grapple skidder* realiza o arraste das árvores de uma área de corte até a margem da estrada ou para um pátio intermediário, sua cabine possui um sistema condicionador de ar, sendo uma máquina versátil, pois permite grande mobilidade dentro da área de corte.

De acordo com Oliveira, Lopes e Fiedler (2009), Santos et al. (2013), Seixas e Castro (2014), a extração da madeira é uma das etapas influenciada por fatores como o tipo de máquina, declividade, distância de extração, experiência do operador, finalidade da madeira, tipo de floresta, espaçamento, relevo, clima, tipo de solo, recursos disponíveis entre outros.

Devido às possíveis diferenças de produtividade operacional e dos custos decorrente de fatores técnicos das máquinas florestais e silviculturais, pode ser explicada por meio da aplicação de modelos matemáticos, uma vez que, pondera as

variáveis mais relevantes, com vistas a minimizar divergências que são obtidas para o cálculo do custo de produção da extração de madeira. Ademais, a construção destes modelos, proporciona um melhor entendimento quantitativo das variáveis envolvidas.

Diante disto, o objetivo foi propor à construção de um modelo matemático para a produtividade e para o custo de produção na atividade de extração da madeira com uma máquina autopropelida *grapple skidder* em função de dois tamanhos de feixes de madeira, duas classes de declividade (plana e suave ondulado) e dois ramais de extração em uma floresta plantada de *Eucalyptus*.

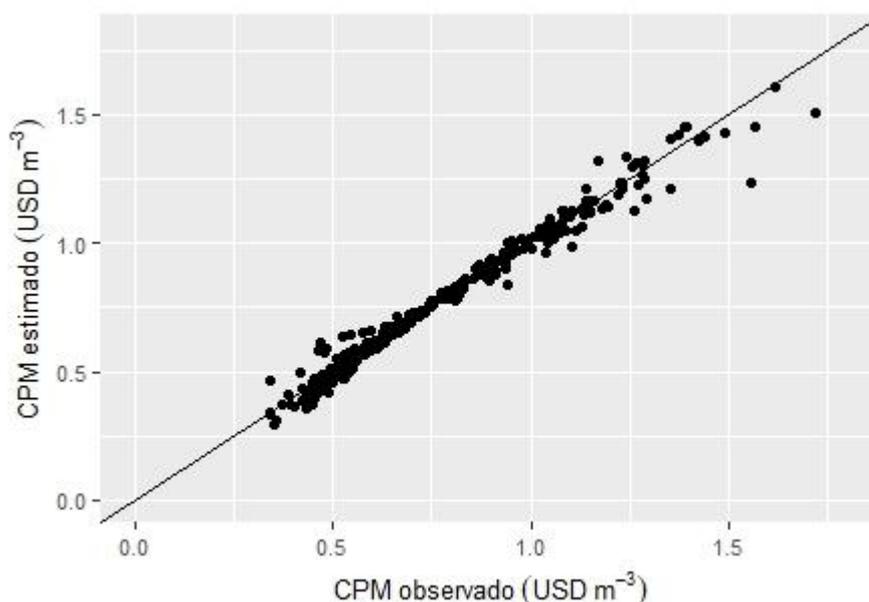
2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em uma floresta plantada de *Eucalyptus*, localizada nas coordenadas geográficas 22°84' de Latitude Sul e 48°34' de Longitude Oeste, no Estado de São Paulo, Brasil. A floresta possuía um espaçamento de plantio de 3 m x 2 m, com seis anos de idade, destinadas a produção de chapas de fibra de madeira, tendo um diâmetro a altura do peito (DAP) médio de 14,95 cm \pm 3,62 cm, altura média 20,87 m \pm 3,28 m e volume médio por árvore de 0,20 m³ por meio do inventário pré corte.

As características climáticas da região são classificadas como Cwa clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22° C (ALVARES et al., 2014). O solo da região é classificado como RQo2 Neossolo Quartzarenico Órtico Argissólico, A moderado ou fraco, distrófico (SANTOS et al., 2018).

As classes de declividades ponderadas no estudo foram separadas conforme a classificação brasileira de solos, desta maneira, foram caracterizadas em Classe 1: declividade de 0 a 3 % (plana); Classe 2: declividades de 3,1 a 8 % (suave ondulada), ademais, nestas classes os solos apresentavam acidez (pH 4,7) (SANTOS et al., 2018).

Figura 2.2 - CPM observado versus CPM estimado

2.4 CONCLUSÕES

Dentre os fatores analisados, a classe de declividade e o tempo efetivo possuem uma relação inversa, já o feixe de madeira e o volume de madeira uma relação direta com a produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida *grapple skidder*.

A produtividade da máquina autopropelida *grapple skidder* na condição de operação para os feixes de madeira 1 foi 18,84 % maior em relação a condição de operação para o feixe de madeira 2.

O custo de produção da máquina autopropelida *grapple skidder* na condição de operação para os feixes de madeira 1 foi de 25,22 % menor em relação a condição de operação para o feixe de madeira 2.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen`s climate classification map for Brazil. **Meteorologisches Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. Disponível em: http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf. Acesso em: 5 de mar 2018.
- BANCO CENTRAL do BRASIL. **Conversão de moedas**. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp>> Acesso em: 05 de jun 2018.
- BEHJOU, F. K.; MAJNOUNIAN, B.; NAMIRANIAN, M.; DVORAK, J. Time studying and skidding capacity of wheeled skidder timberjack 450c in Caspian forests. **Journal of Forest Science**, Praga, v. 54, n. 4, p. 183-188, 2008. Disponível em: <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/01282.pdf>. Acesso em: 13 de abr 2018.
- BORZ, S. A.; IGNEA, G.; POPA, B. Modelling and comparing timber winching performance in windthrow and uniform selective cuttings for two Romanian skidders. **Journal of Forest Research**, Londres, v. 19, p. 473-482, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1007/s10310-014-0439-0>. Acesso em: 15 de mar 2019.
- COPELAND, T. E.; MURRIN, J.; KOLLER, T. **Avaliação de empresas - valuation: calculando e gerenciando o valor das empresas**. 3 ed. São Paulo: Pearson, 2002. 516 p.
- DINIZ, C. C. C.; NAKAJIMA, N. Y.; ROBERT, R. C. G.; DOLÁCIO, C. J. F.; SILVA, F. A.; BALENSIEFER, D. F. Performance of grapple skidder in different ground inclinations. **Floresta**, Curitiba, v. 49, n. 1, p. 41-48, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/55744>. Acesso em: 13 de mar 2019.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York: Wiley-Interscience, 1998. 736 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Cost control in forest harvesting and road construction**. Rome, Forestry Paper 99, 1992. 121 p. Disponível em: www.fao.org/forestry/harvesting/86024/en. Acesso em: 16 de jan 2018.
- GHAFFARIYAN, M. R.; ACUNA, M.; KELLOG, L. Productivity of roadside processing system in Western Australia. **Silva Balcanica**, v. 13, n. 1, p. 49-60, 2012. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42917250/Disease_caused_by_Beauveria_bassiana_Ba20160221-10211-1bx27qw.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1552400953&Signature=jObPPR7QGCsAQsOY9aAX13vtrWQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DDisease_caused_by_Beauveria_bassiana_Bal.pdf#page=49. Acesso em: 12 de mar 2018.

GILANIPOOR, N.; NAJAFI, A.; HESHMAT ALVAEZIN, S. M. Productivity and cost of farm tractor skidding. **Journal of Forest Science**, Praga, v. 58, n. 1, p. 21-26, 2012a. Disponível em: <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/56461.pdf>. Acesso em: 13 de mar 2019.

GILANIPOOR, N.; NAJAFI, A.; HESHMAT ALVAEZIN, S. M. Optimum combination of animal and farm tractor skidding systems in wood harvesting. **Journal of Forest and Wood Products**, Tehran, v. 65, n. 1, p. 71–82, 2012b (In Persian), Disponível em: <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=292025>. Acesso em: 17 de mar 2019.

HAN, H.; CHUNG, W.; SHE, J.; ANDERSON, N.; WELLS, L. Productivity and costs of two beetle-kill salvage harvesting methods in Northern Colorado. **Forests**, Basel, v. 9, p. 1-17, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/9/9/572>. Acesso em: 17 de mar 2019.

HEJAZIAN, M.; LOTFALIAN, M.; HOSSEINI, S. A.; FALLAH, A. Analysis and evaluation of ground skidder costs of two stands with respect to production per hour and log quality. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, v. 2, n. 11, p. 24-29, 2013. Disponível em: http://www.bepls.com/oct_2013/13.pdf; Acesso em: 17 de mar 2019.

HIESL, P.; WARING, T. M.; BENJAMIN, J. G. The effect of hardwood component on grapple skidder and stroke delimeter idle time and productivity – An agent based model. **Computer and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 118, p. 270-280, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169915002859>. Acesso em: 13 de mar 2019.

HIESL, P.; BENJAMIN, J. G. Can technology help improve grapple skidder and stroke delimeter interactions? A simulation approach. **International Journal of Forest Engineering**, v. 26, n. 3, p. 171-184, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/14942119.2015.1108038?needAccess=true>. Acesso em: 17 de mar 2019.

KULAK, D.; STANCZYKIEWICZ, A.; SZEWCZYK, G. Productivity and time consumption of timber extraction with a grapple skidder in selected pine stands. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 38, n. 1, p. 55-63, 2017. Disponível em: <http://www.crojfe.com/archive/volume-38-no.1/productivity-and-time-consumption-of-timber-extraction-with-a-grapple-skidder-in-selected-pine-stands/>. Acesso em: 14 de mar 2019.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo forwarder. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 5, p. 879-887, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622014000500012&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 4 de jun 2018.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 2, p. 46-73.

LINDROOS, O.; LA HERA, P.; HAGGSTROM, C. Drivers of Advances in Mechanized timber harvesting a selective review of technological innovation. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 38, n. 2, p. 243-258, 2017. Disponível em: <http://www.crojfe.com/archive/volume-38-no.2/drivers-of-advances-in-mechanized-timber-harvesting-a-selective-review-of-technological-innovation/>. Acesso em 15 de mar 2018.

LOPES, E. S.; OLIVEIRA, D.; SAMPIETRO, J. A. Influence of wheeled types of a skidder on productivity and cost of the forest harvesting. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 53-62, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/31356>. Acesso em: 12 de mar 2019.

LOPES, E. S.; DINIZ, C. C. C. Produtividade do trator florestal chocker skidder na extração de madeira em terrenos declivosos. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 625-634, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/36409>. Acesso em 12 de mar 2019.

MOOD, A. M.; GRAYBILL, F. A.; BOES, D. C. **Introduction to the theory of statistics**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1974. 564p.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 9. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2017. 640 p.

MOUSAVI, R. Time consumption, productivity, and cost analysis of skidding in the Hyrcanian forest in Iran. **Journal of Forestry Research**, Harbin, v. 23, n. 4, p. 691-697, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-012-0265-1>. Acesso em: 27 de out 2018.

NIKKOY, M.; ESMAILNEZHAD, A.; NAGHDI, R. Productivity and cost analysis of skidding with timberjack 450C in forest plantations in Shafaroud watershed, Iran. **Journal of Forest Science**, Praga, v. 59, n. 7, p. 261-266, 2013. Disponível em: https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/19_2013-JFS.pdf. Acesso em: 14 de mar 2019.

OLIVEIRA, R. J.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com clambunk skidder, **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 267-275, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n2/a14v30n2>. Acesso em: 2 de dez 2018.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E.S.; FIEDLER, N.C. Avaliação técnica e econômica do forwarder na extração de tora de pinus. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 525-533, 2009. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr84/cap20.pdf>. Acesso em: 7 de abr 2018.

PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E. 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**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 981-989, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982015000400981&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 14 de mar 2018.

PROTO, A. R.; MACRI, G.; VISSER, R. RUSSO, D.; ZIMBALATTI, G. Comparison of timber extraction productivity between winch and grapple skidding: A case study in Southern Italian forests. **Forests**, Basel, v. 9, n. 61, p. 1-12, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/9/2/61>. Acesso em: 21 de mar 2019.

RAO, C. R. **Linear statistical inference and its applications**. 2 ed, New York, John Wiley & Sons, Inc, 2001, 625 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, 2018. URL <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 02 de mar 2019.

ROCHA, E. B.; FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; LOPES, E. S. GUIMARÃES, P. P.; PERONI, L. Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores inteiras. **Cerne**. Lavras, v. 15, n. 3, p. 372-381, 2009. Disponível em: <http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/195>. Acesso em: 8 de abr 2018.

SANTOS, P.H.A.; SOUZA, A.P.; MARZANO, F.L.C.; MINETTE, L.J. Produtividade e custos de extração de madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 511-518, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v37n3/a14v37n3.pdf>. Acesso em: 15 de mar 2018.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Editora EMBRAPA, 2018, 353 p.

SEIXAS, F.; CASTRO, G. P. Extração. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 4, p. 106-161.

SIMÕES, D. FENNER, P.T.; ESPERANCINI, M.S.T. Produtividade e custos do feller buncher e Processador Florestal em povoamentos de eucalipto de primeiro corte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 621-630, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982014000300621&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 3 de out 2018.

SPINELLI, R. MAGAGNOTTI, N. Wood extraction with farm tractor and sully: estimating productivity, cost and energy consumption. *Small scale forestry*, v. 11, n. 1, p. 73-85, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11842-011-9169-8>. Acesso em: 21 de mar 2019.

STEVENSON, W. J. **Administração das operações de produção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001, 701 p.

STRANDGARD, M.; WALSH, D.; MITCHELL, R. Productivity and cost of whole-tree harvesting without debarking in *Eucalyptus nitens* plantation in Tasmania, Australia. **Southern Forests**, África do Sul, v. 77, n. 3, p. 173–178, 2015. Disponível em:

<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201600100809>. Acesso em: 12 de mar 2019.

VUSIC, D.; SUSNJAR, M.; MARCHI, E.; SPINA, R.; ZECIC, Z.; PICCHIO, R. Skidding operations in thinning and shelterwood cut of mixed stands-work productivity, energy inputs and emissions. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 61, p. 216-223, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857413003984>. Acesso em: 12 de mar 2019.

WANG, J.; LONG, C.; MCNEEL, J. Production and cost analysis of a feller-buncher and grapple skidder in central Appalachian hardwood forests. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, p. 159-167, 2004. Disponível em: <http://eds.a.ebscohost.com/abstract?site=eds&scope=site&jrnl=00157473&AN=15518812&h=FahdTDrDbV7mEenV0TImLboQ6NIA5VDnXIU8h2i%2bS43QHZ9uziUt%2bnt6CCjwS%2fqJtTeiSanGPdxI2LvqKuGCg%3d%3d&crl=f&resultLocal=ErrCriNoResuIts&resultNs=Ehost&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d00157473%26AN%3d15518812>. Acesso em: 20 de fev 2018.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE TÉCNICA-ECONÔMICA DO *GRAPPLE PROCESSOR*: UMA ABORDAGEM ESTOCÁSTICA

RESUMO

O processamento de toras de *Eucalyptus* é uma atividade intrínseca ao sistema *full tree* de colheita florestal mecanizada, realizado comumente por *grapple processors*, portanto, é uma atividade que possui incertezas associadas, sobretudo aos fatores técnicos e silviculturais. Destarte, objetivou-se a aplicação do método de Monte Carlo para a determinação de coeficientes técnico-econômico probabilísticos do processamento de toras com dois modelos distintos de *grapple processor*. Os dados de campo foram obtidos em uma área que havia uma floresta plantada com *Eucalyptus*, localizada no Estado de São Paulo, Brasil. Para a análise técnica aplicou-se o protocolo do estudo dos tempos, pelo método de leitura contínua dos elementos do ciclo operacional que resultaram em produção. Quanto aos cálculos das estimativas do custo por hora programada da máquina autopropelida fundamentou-se na metodologia preconizada pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. A incorporação das incertezas foi por meio da aplicação do método de simulação de Monte Carlo com a geração de 100.000 valores pseudo aleatórios. Os resultados demonstraram que o movimento vazio da grua é o elemento operacional que mais impacta no tempo total do processamento das toras; as variáveis que mais influenciam na produtividade por hora da máquina autopropelida são específicas para cada modelo de *grapple processor*. Conclui-se que o custo de produção para a *grapple processor* com área útil de 0,58 m² foi 6,67 % inferior a *grapple processor* com área útil de 0,85 m².

Palavras-chave: Colheita florestal. Eucalipto. Custos de produção. Monte Carlo. Produtividade por hora máquina.

TECHNICAL-ECONOMIC ANALYSIS OF THE GRAPPLE PROCESSOR: A STOCHASTIC APPROACH

ABSTRACT

The processing of Eucalyptus logs is an intrinsic activity to the full tree system of mechanized forest harvesting, commonly performed by grapple processors, therefore, it is an activity that has associated uncertainties, especially the technical and silvicultural factors. The purpose of this study was the application of the Monte Carlo method for determination of probabilistic technical-economical coefficients of the log processing with two different grapple processor models. The field data were obtained in an area that had a forest planted with Eucalyptus, located in the São Paulo State, Brazil. For the technical analysis, the time study protocol was applied by the method of continuous reading of the elements of the operational cycle that resulted in production. Regarding the calculations of the estimated scheduled hourly cost of the self propelled machine, it was based on the methodology recommended by the Food and Agriculture Organization of the United Nations. The incorporation of the uncertainties was through application of the Monte Carlo simulation method with the generation of 100,000 random values. The results showed that the empty crane movement is the operational element that most impacts the total time of processing of the logs; the variables that most influence the hourly productivity of the self propelled machine are specific to each grapple processor model. It concludes that the production cost for the grapple processor with a useful area of 0.58 m² was 6.67 lower than the grapple processor with a useful area of 0.85 m².

Keywords: Forest harvesting. Eucalyptus. Production costs. Monte Carlo. Productivity per hour machine.

3.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o plantio comercial de espécies florestais, principalmente do gênero *Eucalyptus* sp. é importante do ponto de vista econômico, devido a geração de empregos diretos e indiretos (3,7 milhões), contribuindo com aproximadamente 1 % do produto interno bruto (PIB) do país, e ainda, ocupam uma área de 5,7 milhões de hectares (IBÁ, 2017). Nesta perspectiva, a otimização da operação de colheita florestal mecanizada, a qual é comumente empregada no Brasil, torna-se de suma importância devido à aplicação de capital demandado para a aquisição das máquinas autopropelidas demandadas por cada atividade florestal.

Neste sentido, no entendimento de Enache et al. (2015), Lindroos, La Hera e Haggstrom (2017) e Norihiro et al. (2018), como premissa, é importante a compreensão dos fatores técnico-econômicos, com vistas ao adequado dimensionamento das máquinas autopropelidas e implementos florestais, com vistas a sustentabilidade financeira de toda a cadeia florestal produtiva. No Brasil, dentre os sistemas de colheita florestal mais utilizado, destaca-se o sistema *full tree* (MALINOVSKI et al., 2014).

Neste sistema, o processamento das árvores inteiras é realizado após a etapa da extração, portanto, visa o seccionamento das toras em comprimentos que variam principalmente em consonância ao modal de transporte e aos processos industriais. De acordo com Spinelli, Ebone e Gianella (2014) esta operação pode ser realizada por um *grapple processor*. O qual é definido como uma máquina autopropelida com um implemento florestal acoplado que realiza o destopamento das árvores, delimita o comprimento e processa os feixes de árvores e, ainda, tipicamente são equipados com sensores que aferem comprimento e diâmetro (KELLOG; BETTINGER, 1994).

A atividade de processamento de toras é parte essencial do modal de colheita de madeira mecanizada, logo, deve ser avaliada sob o aspecto técnico-econômico, sobretudo, ponderando as incertezas associadas com vistas à mensuração das probabilidades de ocorrências das variáveis de interesse. Assim, uma das possibilidades é a adoção de modelos probabilísticos, que de acordo com Jastad et al. (2018) são os mais adequados à realidade, porque levam em consideração o fator incerteza, bem como as relações entre as variáveis que o compõem.

Para Raadgever et al. (2011) as incertezas podem ser definidas como uma situação em que não ocorre a compreensão de forma única e completa de um

determinado sistema a ser gerenciado, sendo essencial a identificação dos riscos, suas fontes e o seu impacto no projeto em análise (MERKOVA; DRÁBEK, 2015). Uma das técnicas que associam essas incertezas é a aplicação da simulação pelo método de Monte Carlo, que segundo Vajargah e Salimpour (2017) é um método aplicado para calcular o valor esperado de uma variável aleatória, proporcionando uma abordagem de cenários mais complexos com maior grau de confiabilidade (CHIACCHIO et al., 2016). Ressalta-se ainda, que este método pode ser aplicado em diversas áreas, como por exemplo, para uma série de dados, a fim de obter projeções de produtividade de um determinado sistema de colheita florestal mecanizado (ROBINSON; McLARIN; MOSS, 2016).

Diante deste contexto, pode-se assumir que a atividade do processamento de toras possui incertezas associadas, e a não consideração destas incertezas podem conduzir os gestores florestais à decisões equivocadas, o que justifica a construção de modelos com a abordagem estocástica desta atividade. Por conseguinte, objetivou-se a aplicação do método de Monte Carlo para a determinação de coeficientes técnico-econômico probabilísticos do processamento de toras de *Eucalyptus* com dois modelos de *grapple processor* que possuíam características técnicas distintas.

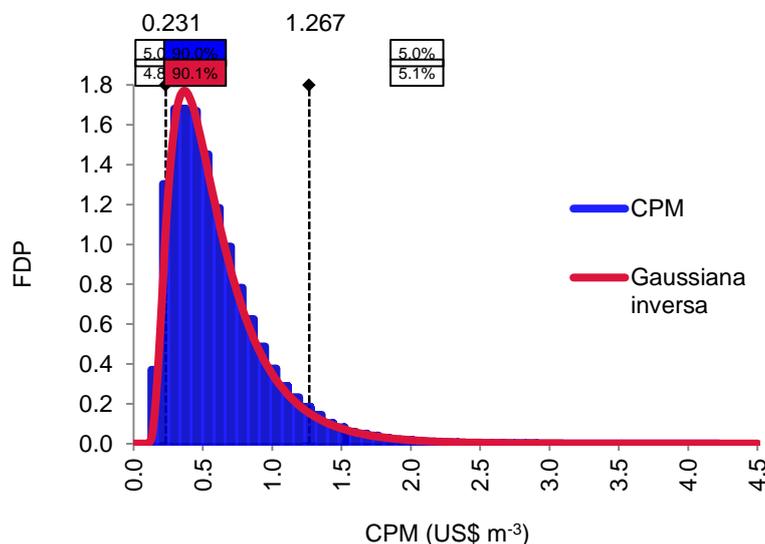
3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Dados de campo

A área do estudo estava localizada nas coordenadas geográficas: 22°84' de Latitude Sul e 48°34' de Longitude Oeste, no Estado de São Paulo, Brasil. Nesta região, a temperatura média anual é de 19,7° C, com chuvas no verão e seca no inverno (ALVARES et al., 2014), e a precipitação anual é de aproximadamente 1428,4 mm distribuída ao longo do ano (CUNHA; MARTINS, 2009). Ademais, o solo é classificado como RQo2 Neossolo Quartzarenico Órtico Argissólico, A moderado ou fraco, distrófico (SANTOS et al., 2018), e com solos que apresentavam acidez forte (pH 4,7).

Logo, havia uma floresta plantada com *Eucalyptus* em uma primeira rotação, em espaçamento de plantio de 3 m x 2 m, com seis anos de idade. Pautados em dados do inventário pré-corte, a altura média das árvores era altura média 20,87 m ±

Figura 3.4 - Função Densidade de Probabilidade (FDP) dos custos de produção da operação de processamento de toras para o *grapple processor 2*



3.4 CONCLUSÕES

O movimento vazio da grua representa em média 48,86 % do tempo total do ciclo operacional, sendo o elemento operacional que mais impacta no tempo total do processamento das toras.

A diferença de massa entre os implementos florestais contribuiu no tempo de movimento vazio da grua durante o processamento de toras de *Eucalyptus* com *grapple processor*.

A variável mais relevante para a determinação da produtividade por hora da máquina autopropelida com *grapple processor* com área útil de 0,58 m² é o volume de madeira processado e, para a máquina autopropelida com *grapple processor* com área útil de 0,85 m² é o movimento vazio da grua.

O custo de produção da máquina autopropelida com *grapple processor* com área útil de 0,58 m² foi 6,67 % inferior ao custo de produção da máquina autopropelida com *grapple processor* com área útil de 0,85 m².

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen`s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. Disponível em: http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf. Acesso em: 5 de mar 2018.
- BALAKRISHNAN, N.; DAVIES, K. F. Pitman closeness results for type-I censored data from exponential distribution. **Statistics & Probability Letters**, Amsterdam, v. 83, n. 112, p. 2693-2698, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167715213002964>. Acesso em: 02 de abr 2019.
- BASELICE, F.; FERRAIOLI, G.; PASCAZIO, V.; SORRISO, A. Denoising of MR images using Kolmogorov-Smirnov distance in a non local framework. **Magnetic Resonance Imaging**. Amsterdam, v. 57, p. 176-193, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0730725X18302698>. Acesso em: 24 de mar 2019.
- BOBOTAS, P. Improved estimation of the smallest scale parameter of gamma distributions. **Journal of the Korean Statistical Society**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 97-105, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226319218300668>. Acesso em: 05 de mar 2019.
- BOECK, B.; THAS, O.; RAYNER, J. C. W.; BEST, D. Smooth tests for the gamma distribution. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, New York, v. 81, n. 7, p. 843-855, 2011. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00949650903520936?needAccess=true>. Acesso em: 02 de abr 2019.
- BOLDING, M. C.; KELLOGG, L. D.; DAVIS, C. T. Productivity and costs of an integrated mechanical forest fuel reduction operation in southwest Oregon. **Forest Products Journal**, Madison, v.59, p. 35–46, 2009. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093193522>. Acesso em: 17 de jan 2018.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.; HUYVAERT, K. P. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and

comparisons. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, New York, v. 65, n. 1, p. 23-35, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00265-010-1029-6>. Acesso em: 24 de mar 2019.

CAMPOS, C. P.; SCANAGATTA, M.; CORANI, G.; ZAFFALON, M. Entropy based pruning for learning Bayesian networks using BIC. **Artificial Intelligence**, Amsterdam, v. 260, p. 42-50, 2018. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1707.06194>. Acesso em: 24 de mar 2019.

CHIACCHIO, F.; URSO, D. D.; MANNO, G.; COMPAGNO, L. Stochastic hybrid automaton model of a multi-state system with aging: Reliability assessment and design consequences. **Reliability Engineering & System Safety**, Barking, v. 149, p. 1-13, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832015003592>. Acesso em: 12 de jan 2018.

CHU, X. Evolution of an airy beam in turbulence. **Optics Letters**, New York, v. 36, n. 14, p. 2701-2703, 2011. Disponível em: <https://www.osapublishing.org/ol/abstract.cfm?uri=ol-36-14-2701>. Acesso em: 5 de mar 2019.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000074&pid=S0103-8478201200010000900007&lng=pt. Acesso em: 18 de mar 2019.

DEVORE, J. L. **Probability and statistics for engineering and the sciences**. 8. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2011. 776 p.

DANIEL, W. W. **Applied nonparametric statistics**. Boston: Houghton-Mifflin, 1978, 503 p

DU, D.; JIAN, X.; HU, L.; TAN, Y.; ZENG, X.; TAN, X. Angular beta distribution for 3D vehicle to vehicle channel modeling. **Future Generation Computer Systems**, Amsterdam, v. 91, p. 238-242, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X18316832>. Acesso em: 05 de mar 2019.

ENACHE, A.; KÜHMAIER, M.; VISSER, R.; STAMPFER, K. Forestry operations in the european mountains: A study of current practices and efficiency gaps. **Scandinavian journal of forest research**, Stockholm, v. 31, n. 4, p. 412–427, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02827581.2015.1130849?src=recsys>. Acesso em: 19 de mar 2019.

FANG, F.; CHEN, Y. A new approach for credit scoring by directly maximizing the Kolmogorov-Smirnov statistic. **Computational Statistics and Data Analysis**, Amsterdam, v. 133, p. 180-194, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947318302494>. Acesso em: 24 de mar 2019.

FAZLOLLAHTABAR, H. Triple state reliability measurement for a complex autonomous robot system based on extended triangular distribution. **Measurement**, Amsterdam, v. 139, p. 122-126, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224119301344>. Acesso em: 24 de mar 2019.

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; MINETTE, L. J.; RINALDI, P. C. N.; BERNARDES, A. M. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.37, n. 83, p. 225-232, 2009. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr83/cap01.pdf>. Acesso em: 5 de mar 2018.

FIEDLER, N. C.; ROCHA, E. B.; LOPES, E. S. Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no norte do Estado de Goiás. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 577-586, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/13153/8900>. Acesso em 10 de abr 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Cost control in forest harvesting and road construction**. Rome, Forestry Paper 99, 1992. 121 p. Disponível em: www.fao.org/forestry/harvesting/86024/en. Acesso em: 16 de jan 2018.

GHAFFARIYAN, M. R.; ACUNA, M.; KELLOG, L. Productivity of roadside processing system in Western Australia. **Silva Balcanica**, v. 13, n. 1, p. 49-60, 2012. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42917250/Disease_caused_by_Beauveria_bassiana_Ba20160221-10211-1bx27qw.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1552400953&Signature=jObPPR7QGCsAQsOY9aAX13vtrWQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DDisease_caused_by_Beauveria_bassiana_Bal.pdf#page=49. Acesso em: 12 de mar 2018.

GLICKMAN, T. S.; XU, F. The distribution of the product of two triangular random variables. **Statistics & Probability Letters**, Amsterdam, 78, n. 16, p. 2821-2826, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167715208002071>. Acesso em: 02 de abr 2019.

GOMES, O.; COMBES, C.; DUSSAUCHOY, A. Parameter estimation of the generalized gamma distribution. **Mathematics and Computers in Simulation**, Amsterdam, v. 79, n. 4, p. 955-963, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378475408001043>. Acesso em: 02 de abr 2019.

GUAN, J.; YUAN, P.; HU, X.; QING, L.; YAO, X. Statistical analysis of concrete fracture using normal distribution pertinent to maximum aggregate size. **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**, Amsterdam, v. 101, p. 236-253, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167844219300011>. Acesso em: 30 de mar 2019.

HOU, S.; WENTZELL, P. D. Fast and simple methods for the optimization of kurtosis used as a projection pursuit index. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 704, p. 1-15, 2011. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267011010804>. Acesso em: 5 de mar 2019.

HOWARD, A. F. A sequential approach to sampling design for time studies of cable yarding operations. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 19, n. 8, p. 973-980, 1989. Disponível em:

<https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/x89-149>. Acesso em: 19 de mar 2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório Anual 2017. 80p. Disponível em: https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf Acesso em: 14 de mar 2019.

JASTAD, E. O.; MUSTAPHA, W. F.; BOLKESJO, T. F.; TROMBORG, E.; SOLBERG, B. Modelling of uncertainty in the economic development of the Norwegian forest sector. **Journal of Forest Economics**, Amsterdam, v. 32, p. 106-115, 2018.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1104689917300909>. Acesso em 28 de nov 2018.

JUNG, K.; SHIN, J. Y.; PARK, D. A new approach for river network classification based on the beta distribution of tributary junction angles. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 572, p. 66-74, 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169419301982>. Acesso em: 30 de mar 2019.

KELLOGG, L.D.; BETTINGER, P. Thinning productivity and cost for mechanized cut-to-length system in the Northwest Pacific coast region of the USA. **Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 5, n. 2, p. 43-52, 1994. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08435243.1994.10702659>. Acesso em: 24 de fev 2017.

KLEPAC, J.; MITCHELL, D. Comparison of four harvesting systems in a loblolly pine plantation. **Professional Agricultural Workers Journal**, Tuskegee, v. 4, n. 1, p. 1-14. 2016. Disponível em:

https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2016/ja_2016_mitchell_005.pdf. Acesso em: 19 de mar 2019.

KUMAR, A.; ABIRAMI, S. Aspect based opinion ranking framework for product reviews using a Spearman's rank correlation coefficient method. **Information Sciences**, New York, v. 460, p. 23-41, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002002551830358X>. Acesso em: 24 de mar 2019.

LEMONTE, A. J. A new exponential-type distribution with constant, decreasing, increasing, upside-down bathtub and bathtub-shaped failure rate function.

Computational Statistics and Data Analysis, Amsterdam, v. 62, p. 149–170, 2013.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947313000261>. Acesso em: 01 de abr 2019.

LIN, S. H.; WU, I. M.; On the common mean of several inverse Gaussian distributions based on a higher order likelihood method. **Applied Mathematics and Computation**, Amsterdam, v. 217, p. 5480-5490, 2011. Disponível em: <https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/9296/1/000286969000032.pdf>. Acesso em 02 de abr 2019.

LINDROOS, O.; LA HERA, P.; HAGGSTROM, C. Drivers of Advances in Mechanized timber harvesting a selective review of technological innovation. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 38, n. 2, p. 243-258, 2017. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/190922>. Acesso em: 7 de mar 2018.

LIU, S.; HOU, S.; HE, K.; YANG, W. L-Kurtosis and its application for fault detection of rolling element bearings. **Measurement**, Amsterdam, v. 116, p. 523-532, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224117307595>. Acesso em: 5 de mar 2019.

LOPES, S. E.; FERNANDES, H. C.; SANTOS, N. T.; RINALDI, P. C. N. Avaliação técnica e econômica de uma garra traçadora operando em diferentes produtividades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 79, p. 215-222, 2008. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr79/cap05.pdf>. Acesso em: 12 de maio 2018.

LU, D. Certain approximations to achieve sharp lower and upper bounds for the Mills ratio of the inverse Gaussian distribution. **Journal of Mathematical Analysis and Applications**, New York, v. 444, n. 1, p. 737-744, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022247X16302967>. Acesso em: 05 de mar 2019.

MAGAGNOTTI, N.; PICCHI, G.; SPINELLI, R. A versatile machine system for salvaging small-scale forest windthrow. **Biosystem Engineering**, Londres, v. 115, p. 381-388, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511013000779>. Acesso em: 2 de fev 2018.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; CASTRO, G. P. Sistemas In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 6, p. 179-205.

MEHRJOU, A.; HOSSEINI, R.; ARAABI, B. N. Improved Bayesian information criterion for mixture model selection. **Pattern Recognition Letters**, Amsterdam, v. 69, p. 22-27, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016786551500344X>. Acesso em: 24 de mar 2019.

MERKOVA M.; DRÁBEK J. Use of risk analysis in investment measurement and management. **Procedia Economics and Finance**, Amsterdam, v. 34, p.656-662,

2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567115016822>. Acesso em: 26 de mar 2018.

MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ONO, H. A.; LEAL, U. A. S. Modelagem na predição do volume individual em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 584-598, 2014. Disponível em: <<http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ>>. Acesso em: 5 mar. 2019.

MILANESI, G. S. Asimetría y curtosis en el modelo binomial para valorar opciones reales: caso de aplicación para empresas de base tecnológica. **Estudios Gerenciales**, Amsterdam, v. 29, n. 128, p. 368-378, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S012359231400014X>. Acesso em: 07 de abr 2019.

MINETTE, L. J.; SILVA, E. N.; FREITAS, K. E.; SOUZA, A. P.; SILVA, E. P. Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada em Niquelândia, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 659-665, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662008000600014&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 10 de abr 2018.

MIYATA, E. S. **Determining fixed and operating costs of logging equipment**. 1. ed. Minnesota: Editora USDA Forest Service General Technical Report NC-55. St Paul, Minnesota: US Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 1980. 16 p.

MING, G. Z.; YI, J.; SHIHUA, B. Detection probability for moving ground target of normal distribution using infrared satellite. **International Journal for Light and Electron Optics**, Munique, v. 181, p. 63-70, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030402618319430>. Acesso em: 30 de mar 2019.

NGUYEN, H. D.; McLACHLAN, G. J. Maximum likelihood estimation of triangular and polygonal distributions. **Computational Statistics and Data Analysis**. Amsterdam, v. 102, n. 23-36, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947316300561>. Acesso em: 01 de abr 2019.

NORIIHIRO, J.; ACKERMAN, P.; SPONG, B. D.; LANGIN, D. Productivity model for cut to length harvester operation in South African eucalyptus pulpwood plantations. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 39, n. 1, p. 1-13, 2018. Disponível em: <http://www.crojfe.com/site/assets/files/4117/noriihiro.pdf>. Acesso em: 12 de mar 2019.

Palisade Corporation. *@Risk*. V. 7.5.2 Newfield: Palisade Corporation, 2018.

RAADGEVER, G.T.; DIEPERINK, C.; DRIESSEN, P. P. J.; SMIT, A. A. H.; RIJSWICK, H. F. M. W. Uncertainty management strategies: Lessons from the regional implementation of the water framework directive in the Netherlands. **Environmental Science & Policy**, Carouge, v. 14, p. 64-75, 2011. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901110001437>. Acesso em: 11 de jun 2018.

RISTIC, M. M.; KUNDU, D. Marshall-Olkin generalized exponential distribution.

Metron, Roma, v. 73, p. 317-333, 2015. Disponível em:

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs40300-014-0056-x.pdf>. Acesso em: 02 de abr 2019.

ROBINSON, A. P.; McLARIN, M.; MOSS, I. A simple way to incorporate uncertainty and risk into forest harvest scheduling. *Forest Ecology and Management*, v. 359, p. 11-18, 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112715005228>. Acesso em: 26 de mar 2019.

ROCHA, E. B.; FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; LOPES, E. S. GUIMARÃES, P. P.; PERONI, L. Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores inteiras.

Cerne. Lavras, v. 15, n. 3, p. 372-381, 2009. Disponível em:

<http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/195>. Acesso em: 8 de abr 2018.

SAITOU, N. **Gamma distribution**. Brenner s Encyclopedia of Genetics, 2 ed, 2013, 157p.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A.

Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília: Editora EMBRAPA, 2018, 353 p.

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

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982014000300621&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 2 de abr 2018.

SIMÕES, D.; MIYAJIMA, R. H.; TONIN, R. P.; FENNER, P. T.; BATISTELA, G. C. Incorporation of uncertainty in technical and economic analysis of a feller-buncher.

Floresta, Curitiba, v. 48, n. 3, p. 403-412, 2018. Disponível em:

<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/56404>. Acesso em: 1 de dez 2018.

SPINELLI, R.; EBONE, A.; GIANELLA, M Biomass production from traditional coppice management in northern Italy. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 62, p. 68–73, 2014. Disponível em:

<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143139298>. Acesso em: 20 de abr 2019.

STEIN, W.; KEBLIS, M. A new method to simulate triangular distribution.

Mathematical and Computer Modelling, Oxford, v. 49, p. 1143-1147. 2009.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717708002665>. Acesso em: 24 de mar 2019.

STEVENSON, W. J. **Administração das operações de produção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001, 701 p.

STRANDGARD, M.; ALAM, M.; MITCHELL, R. Impact of slope on productivity of a self leveling processor. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 35, n. 2, p. 193-200, 2014. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/127002>. Acesso em: 10 de abr 2019.

STRANDGARD, M.; MITCHELL, R.; WIEDEMANN, J. Comparison of productivity, cost and chip quality of four balanced harvest systems operating in a eucalyptus globulus plantation in Western Australia. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 40, n. 1, p. 39-48, 2019. Disponível em: <http://www.crojfe.com/site/assets/files/4267/strandgard.pdf>. Acesso em: 19 de mar 2019.

TARBUSH, B. Hotelling competition and the gamma distribution. **Games and Economic Behavior**, Amsterdam, v. 111, p. 222-240, 2018, Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0899825618301143>. Acesso em: 16 de mar 2019.

TIMPSON, A.; GILLIS, R. E.; MANNING, K.; THOMAS, M. G. Modelling caprine age at death profiles using the gamma distribution. **Journal of Archaeological Science**, New York, v. 99, p. 19-26, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440318304904>. Acesso em: 05 de mar 2018.

VAJARGAH, B. F, SALIMIPOUR A. Evaluating wave random path using multilevel Monte Carlo. **International Journal of e-Navigation and Maritime Economy**, Mokpo, v. 7, p.1-10, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405535217300165>. Acesso em: 18 de maio 2018.

VANGANSBEKE, P.; OSSELAERE, J.; VAN DAEL, M.; DE FRENNE, P.; GRUWEZ, R.; PELKMANS, L.; GORISSEN, L.; VERHEYEN, K. Logging operations in pine stands in Belgium with additional harvest of woody biomass: yield, economics, and energy balance. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 45, n. 8, p. 987-997, 2015. Disponível em: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/cjfr-2014-0521#.XJDtB9VKjIU>. Acesso em: 19 de mar 2019.

WANG, B.; WANG, R.; WANG, Y. Compatible matrices of Spearman's rank correlation. **Statistics & Probability Letters**, Amsterdam, v. 151, p. 67-72, 2019.

WU, L.; LI, H. Variable selection for joint mean and dispersion models of the inverse Gaussian distribution, **Metrika**, New York, v. 75, n. 6, p. 795-808, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00184-011-0352-x>. Acesso em: 02 de abr 2019.

XIAO, Y. A fast algorithm for two dimensional Kolmogorov-Smirnov two sample tests. **Computational Statistics & Data Analysis**, Amsterdam, v. 105, p. 53-58, 2017.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947316301785>. Acesso em: 24 de mar 2019.

YE, Z. S.; CHEN, N. The inverse Gaussian process as a degradation model.

Technometrics, Washington, v. 56, n. 3, p. 302-311, 2014. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00401706.2013.830074>. Acesso em: 05 de mar 2018.

ZHANG, W. Y.; WEI, Z. W.; WANG, B. H.; HAN, X. P. Measuring mixing patterns in complex networks by Spearman rank correlation coefficient. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 451, p. 440-450, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437116001023>. Acesso em: 24 de mar 2019.

ZHOU, A. Modeling the volatility of the Heath–Jarrow–Morton model: a multifactor GARCH analysis. **Journal of Empirical Finance**, Amsterdam, v. 9, n. 1, p. 35–56, 2002. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927539801000445>. Acesso em: 5 de mar 2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da técnica de modelagem matemática foi positiva, pois proporcionou para o estudo relacionar as mais diversas variáveis que podem ou não influenciar a produtividade e os custos de produção das máquinas florestais, bem como o sistema de colheita florestal.

A aplicação do método de Monte Carlo pode ser considerada uma ferramenta interessante, principalmente no aspecto dos custos operacionais e de produção, pois permite simular diversos cenários, sendo extremamente importantes estas informações para o gestor florestal, pois auxiliam nas tomadas de decisão.

É importante ressaltar que a determinação de forma quantitativa da produtividade e dos custos das máquinas utilizadas na colheita florestal mecanizada, pode ser complementada com a aplicação da modelagem matemática, proporcionando uma segurança nos dados obtidos para as decisões dos tomadores de decisão.

Uma das principais dificuldades constatadas pode ser atribuída as metodologias de cálculo dos custos, bem como os valores e coeficientes adotados em relação aos elementos que compõem o custo operacional das máquinas autopropelidas.

REFERÊNCIAS

- ABELI, W. S. Optimal road spacing for manual skidding skidways. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 6, p. 8-15, 1992. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/43581710>, Acesso em: 15 de mar 2018.
- ACKERMAN, P.; BELBO, H.; ELIASSON, L.; JONG, A.; LAZDINS, A.; LYONS, J. The COST model for calculation of forest operations costs. **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 25, n. 1, p. 75-81, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14942119.2014.903711>. Acesso em: 5 de fev 2018.
- ADEBAYO, A. B.; HAN, H. S.; JOHNSON, L. Productivity and cost of cut to length and whole tree harvesting in a mixed conifer stand. **Forest Products Journal**, Madison, v. 57, n. 6, p. 59-69, 2007. Disponível em: <https://www.thefreelibrary.com/Productivity+and+cost+of+cut-to-length+and+whole-tree+harvesting+in+a...-a0166092802>. Acesso em: 25 de abr 2018.
- AKAY, A. E.; ERDAS, O.; SESSIONS, J. Determining productivity of mechanized harvesting machines. **Journal of Applied Sciences**, Dubai, v. 4, n. 1, p. 100-105, 2004. Disponível em: <https://scialert.net/archivedetails.php?issn=1812-5654&issueno=32>. Acesso em: 6 de maio 2018.
- ANDERSSON, B.; EVANS, C. M. **Harvesting over mature aspen stands in Central Alberta**; Special Report SR-112; Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC): Vancouver, 1996; 42 p. Disponível em: http://www.cfs.nrcan.gc.ca/bookstore_pdfs/19364.pdf. Acesso em: 16 de ago 2018.
- ANERUD, E.; VON HOFSTEN, H.; ELIASSON, L. An alternative supply system for stump biomass – coarse grinding combined with sieving of the produced hog fuel. **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 27, n. 3, p. 109–114, 2016. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14942119.2016.1166917>. Acesso em: 9 dez 2018.
- ARCE, J. E.; MACDONAGH, P.; FRIEDL, R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 383-391, 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622004000200007&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 21 de mar 2018.
- AUGUSTYNCZIK, A. L. D. **Planejamento florestal otimizado considerando áreas mínimas e máximas operacionais de colheita**. 2014. 170 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/38703>. Acesso em 14 de mar 2018.
- BARBOSA, J. C. Modelagem e modelos matemáticos na educação científica. **Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, Florianópolis**, v. 2, n. 2, p. 69-85, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/37949/28977>. Acesso em: 15 de jan 2018.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos**: projeto e medida de trabalho. 6. ed. São Paulo: Edgard Blüchen, 1977, 635 p.

BASSANEZI, R. C. Modelagem como estratégia metodológica no ensino da matemática. Boletim de Educação da SBMAC. São Paulo: IMECC/Unicamp, 1994.

BEHJOU, F. K.; MAJNOUNIAN, B.; NAMIRANIAN, M.; DVORAK, J. Time studying and skidding capacity of wheeled skidder timberjack 450c in Caspian forests. **Journal of Forest Science**. Praga, v. 54, n. 4, p. 183-188, 2008. Disponível em www.agriculturejournals.cz/web/jfs.htm?type=volume&volume=54#No.%204. Acesso em: 2 de jul 2018.

BENTES-GAMA, M. M.; SILVA, M. L.; VILCAHUAMAN, L. J. M.; LOCATELLI, M. Análise econômica de sistemas agroflorestais na Amazônia ocidental, Machadinho D` Oeste-RO. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 401-411, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n3/a07v29n3>. Acesso em: 14 de nov 2018.

BIEMBENGUT, M. S.; HEIN, N. **Modelagem Matemática no ensino**. 1 ed. São Paulo: Contexto, 2000, 128 p.

BJORHEDEN, R.; GULLBERG, T.; JOHANSSON, J. Systems analyses for harvesting small trees for forest fuel in urban forestry. **Biomass Bioenergy**, Oxford, v. 24, p. 389-400, 2003. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20033068975>. Acesso em: 21 de mar 2018.

BOLDING, M. C.; KELLOGG, L. D.; DAVIS, C. T. Productivity and costs of an integrated mechanical forest fuel reduction operation in southwest Oregon. **Forest Products Journal**, Madison, v.59, p. 35-46, 2009. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093193522>. Acesso em: 17 de jan 2018.

BORGONOVO, E.; CAPPELLI, V.; MACCHERONI, F.; MARINACCI, M. Risk analysis and decision theory: a bridge. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 264, p. 280-293, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221717306008>. Acesso em: 22 de maio 2018.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R. **Gestão de custos e formação de preços**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2013. 575 p.

CANTO, L. L.; MACHADO, C. C.; GONTIJO, F. M.; JACOVINE, L. A. G. Colheita e transporte florestal em propriedades rurais fomentadas no Espírito Santo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 981-988, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n6/a14v30n6>. Acesso em 18 de mar 2018.

CACOT, E. Chantier de St. Vitte sur Briançe- Abattage mecanisé des peuplements feuillus par une tête a guillotine. **AFOCEL Flash Chantier CO68**, Paris, 2004.

CASTRO, R. R.; SILVA, M. L.; LEITE, H. C.; OLIVEIRA, M. L. R. Rentabilidade econômica e risco na produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 353-359, 2007. Disponível em:

www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/download/637/537. Acesso em: 27 de ago 2018.

CHIACCHIO, F.; URSO, D. D.; MANNO, G.; COMPAGNO, L. Stochastic hybrid automaton model of a multi-state system with aging: Reliability assessment and design consequences. **Reliability Engineering & System Safety**, Barking, v. 149, p. 1-13, 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832015003592>. Acesso em: 12 de jan 2018.

CHICHORRO, J. F.; BAUER, M. O.; PEREIRA, D. P. Viabilidade econômica e mercados para as florestas de produção em pequenas propriedades. In: SILVA, E. N. et al. (Ed) **Florestas de Produção**. Viçosa, MG: Suprema, 2014. p. 183-210.

COELHO JÚNIOR, L. M.; REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D.; COIMBRA, L. A. B.; SOUZA, A. N. Análise de investimento de um sistema agroflorestal sob situação de risco. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 368-378, 2008. Disponível em:

www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/download/649/548. Acesso em : 27 out de 2018.

CONSTANTINO, M.; MARTINS, I. Branch and cut for the forest harvest scheduling subject to clearcut and core area constraints. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 265, p. 723-734, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/journal/european-journal-of-operational-research/vol/265/issue/2>. Acesso em: 12 de jan 2018.

CONWAY, S. **Logging practices. principles of timber harvesting systems**. São Francisco. Miller Freeman Publication, 1976. 416 p.

CORDEIRO, S. A.; SILVA, M. L. Rentabilidade e risco de investimento na produção de palmito de pupunha (*Bactris gasipaes Kunth*). **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 53-59, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-77602010000100006&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 2 de dez 2018.

COSTA, H. R.; GHEDIN, E. Epistemologia do Ensino de Matemática. Em: Universidade Luterana do Brasil (Org.), **Anais**, 4º Congresso Internacional de Ensino de Matemática (pp.01-08), Rio Grande do Sul: Universidade Luterana do Brasil de Canoas (RS), 2007.

COSTA, H. R. A modelagem matemática através de conceitos científicos. **Ciências & Cognição**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 13, p. 114-133, 2009. Disponível em: http://www.cienciasecognicao.org/pdf/v14_3/m197.pdf. Acesso em 17 de abr 2018.

COSTA JUNIOR, E. L. **Gestão em processos produtivos**. 1. ed. Curitiba: InterSaber, 2012. 160 p.

DANIEL, C. J.; TER-MIKAELIAN, M. T.; WOTTON, B. M.; RAYFIELD, B.; FORTIN, M. J. Incorporating uncertainty into forest management planning: Timber harvest, wildfire and climate change in the boreal forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 400, p. 542-554, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112717306412>. Acesso em: 24 de ago 2018.

DIAS, P. R. V. **Engenharia de custos de obras e serviços de engenharia**. 1. ed. Rio de Janeiro: IBEC, 2004. 77 p.

EVANS J. R.; OLSSON D. L. **Introduction to simulation and risk analysis**. 2 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2002. 279 p.

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; RINALDI, P. C. N.; FERNANDES, P. S. Avaliação técnica e econômica de um feller buncher operando em diferentes produtividades. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 19, n. 3, p. 210-218, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/ojs/reveng/issue/view/46/showToc>. Acesso em: 30 de jun 2018.

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; MINETTE, L. J.; RINALDI, P. C. N.; BERNARDES, A. M. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.37, n. 83, p. 225-232, 2009. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr83/cap01.pdf>. Acesso em: 5 de mar 2018.

FIEDLER, N. C.; ROCHA, E. B.; LOPES, E. S. Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no norte do estado de Goiás. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 577-586, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/13153/8900>. Acesso em: 19 de maio 2018.

FLATBERG, T.; NORSTEBØ, V. S.; BJØRKELO, K.; ÅSTRUP, R.; SOVDE, N. E. A mathematical model for infrastructure investments in the forest sector of coastal Norway. **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 92, p. 202-209, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138993411730401X>. Acesso em 4 de fev 2018.

FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYGN, E. Especificidades e importância de modelos matemáticos de qualidade da água. **Revista Eixo**, Brasília, DF, v. 2, n. 1, p. 106-119, 2013. Disponível em: <http://revistaeixo.ifb.edu.br/index.php/RevistaEixo/article/view/102>. Acesso em: 22 de abr 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Cost control in forest harvesting and road construction**. Rome, Forestry Paper 99, 1992. 121 p. Disponível em: www.fao.org/forestry/harvesting/86024/en. Acesso em: 30 de mar 2018.

FONTANA, G.; SEIXAS, F. Avaliação ergonômica do posto de trabalho de modelos de "forwarder" e "skidder". **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 71-81, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v31n1/09.pdf>. Acesso em: 16 de jan 2018.

FREITAS, L. C.; MARQUES, G. M.; SILVA, M. L.; MACHADO, R. R.; MACHADO, C. C. Estudo comparativo envolvendo três métodos de cálculo de custo operacional do caminhão bitrem. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 855-863, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n6/23986.pdf>. Acesso em: 16 de jan 2017.

GABRIELLE, B.; BAMIERE, L.; CALDES, N.; DECARA, S.; DECOCQ, G.; FERCHAUD, F. Paving the way for sustainable bioenergy in Europe: technological options and research avenues for large-scale biomass feedstock supply. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 33, p. 11-25, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114000616>. Acesso em: 2 de out 2017.

GILANIPOOR, N.; NAJAFI, A.; HESHMAT ALVAEZIN, S. M. Productivity and cost of farm tractor skidding. **Journal of Forest Science**, Praga, v. 58, n. 1, p. 21-26, 2012. Disponível em: <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/56461.pdf>. Acesso em: 8 de jul 2017.

GOERLANDT, F.; KHAKZAD, N.; RENIERS, G. Validity and validation of safety related quantitative risk analysis: a review. **Safety Science**, Amsterdam, v. 99, p. 127-139, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753516301795>. Acesso em: 23 de jan 2018.

GONÇALVES, A. C.; DIAS, A. B.; AFONSO, A.; PEREIRA, D. G.; PINHEIRO, A.; PEÇA, J. O. Mechanical versus manual harvest of *Pinus pinea* cones. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 143, p. 50-60, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511016000039>. Acesso em: 6 de out 2017.

GONÇALVES, J. C.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, S. P. C.; GOMIDE, L. R. Análise Econômica da rotação Florestal de povoamentos de eucalipto utilizando a simulação de Monte Carlo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27 n. 4, p. 1339-1347, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/30215>. Acesso em: 20 de nov 2018.

GOYCHUK, D. KILGORE, M. A.; BLINN, C. R.; COGGINS, J. KOLKA, R. K. The effect of timber harvesting guidelines on felling and skidding productivity in Northern Minnesota. **Forest Science**, Oxford, v. 57, n. 5, p. 393-407, 2011. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/47068>. Acesso em 16 de jan 2018.

GRAÇA, L. R.; RODIGHIERI, H. R.; CONTO, A. J. **Custos florestais de produção: conceituação e aplicação**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 32 p.

HANSSON, S. O.; AVEN, T. Is risk analysis scientific? **Pub Med**, Maryland, v.34, p. 1173–1183, 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24919396>. Acesso em: 19 de nov 2018.

HIESL, P.; BENJAMIN, J. G. Applicability of international harvesting equipment productivity studies in Maine, USA: a literature review. **Forests**, Basel, v. 4, p. 898-921, 2013a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/4/4/898>. Acesso em: 3 de abr 2018.

HIESL, P.; BENJAMIN, J. G. A multi-stem feller-buncher cycle time model in partial harvests in small diameter wood stands. **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 24, p. 101–108, 2013b. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14942119.2013.841626>. Acesso em: 11 de jun 2018.

HOLZLEITNER, F.; STAMPFER, K.; VISSER, R. Utilization rates and cost factors in timber harvesting based on long-term machine data. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 32, p. 501–508, 2011. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/2398/e884f890cab99dcc46723bad67bf0563dd93.pdf>. Acesso em: 14 de mar 2018.

JACOBS, F. R.; CHASE, R. B. **Administração de operações e da cadeia de suprimentos**. 13. ed. Porto Alegre: McGrawHill, 2012, 750 p.

JACOVINE, L. A. G.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; MINETTI, L. J. Avaliação da qualidade operacional em cinco subsistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 391-400, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n3/a06v29n3>. Acesso em: 2 de jul 2018.

JASTAD, E. O.; MUSTAPHA, W. F.; BOLKESJO, T. F.; TROMBORG, E.; SOLBERG, B. Modelling of uncertainty in the economic development of the Norwegian forest sector. **Journal of Forest Economics**, Amsterdam, v. 32, p. 106-115, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1104689917300909>. Acesso em 28 de nov 2018.

JOUR GHOLAMI, M.; MAJNOUNIAN B. Productivity and cost of wheeled skidder in Hyrcanian Forest. **International Journal of Natural and Engineering Sciences**, Ankara, v. 2, p. 99–103, 2008. Disponível em: <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/618438>. Acesso em: 1 de set 2018.

KALLIO, A. M. I. Accounting for uncertainty in a forest sector model using Monte Carlo simulation. **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 12, n. 1, p. 9-16, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934109001439>. Acesso em: 14 de abr 2017.

KELLIHER, C. F.; MAHONEY, L. S. Using Monte Carlo Simulation to improve long-term investment decisions. **The Appraisal Journal**, Chicago, v. 68, n. 1, p. 41-56, 2000. Disponível em:

https://www.myappraisalinstitute.org/taj/current_toc.aspx?yr=2000&qtr=Winter. Acesso em: 22 de maio 2017.

KELLOGG, L.D.; BETTINGER, P. Thinning productivity and cost for mechanized cut-to-length system in the Northwest Pacific coast region of the USA. **Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 5, n. 2, p. 43-52, 1994. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08435243.1994.10702659>. Acesso em: 24 de fev 2017.

KHORASANI, M. M.; SAEB, M. R.; MOHAMMADI, Y.; AHMADI, M. The evolutionary development of chain microstructure during tandem polymerization of ethylene: A Monte Carlo simulation study. **Chemical Engineering Science**, Oxford, v. 111, p. 211-219, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250914000761>. Acesso em: 20 de fev 2018.

LEONE, G. S. G. **Custos: planejamento, implantação e controle**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 520 p.

LEVERS, C.; VERKERK, P. J.; MULLER, D.; VERBURG, P. H.; BUTSIC, V.; LEITÃO, P.J.; LINDNER, M.; KUEMMERLE, T. Drivers of forest harvesting intensive patterns in Europe. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 315, p. 160-172, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112713008335>. Acesso em 17 de nov 2018.

LI, Y.; WANG, J.; MILLER, G.; MCNEEL, J. Production economics of harvesting small diameter hardwood stands in central Appalachia. **Forest Products Journal**, Madison, v. 56, p. 81–86, 2006. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/14735>. Acesso em: 11 de dez 2018.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 2, p. 46-73.

LINDROOS, O.; LA HERA, P.; HAGGSTROM, C. Drivers of Advances in Mechanized timber harvesting a selective review of technological innovation. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb. v. 38, n. 2, p. 243-258, 2017. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/190922>. Acesso em: 7 de mar 2018.

LOPES, S. E. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal**. 2007, 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/796/texto%20completo.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11 de nov 2018.

LOPES, S. E.; FERNANDES, H. C.; SANTOS, N. T.; RINALDI, P. C. N. Avaliação técnica e econômica de uma garra traçadora operando em diferentes produtividades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 79, p. 215-222, 2008. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr79/cap05.pdf>. Acesso em: 23 de abr 2018.

MACDONAGH, P.M. **Avaliação técnico-econômica da extração de Pinus spp. Utilizando tratores com garra no sul do Brasil**. 1994. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/29017>. Acesso em: 2 de set 2018.

MACHADO, C. C. **Exploração Florestal**, 6ed. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1989. 34 p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Planejamento. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 2002. 468 p.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S. CASTRO, G. P. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In. MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora. UFV, 2014, cap. 1, p. 15-45.

MAGAGNOTTI, N.; SPINELLI, R.; GULDNER, O.; ERLER, J. Site impact after motor manual and mechanised thinning in Mediterranean pine plantations. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 113, p. 140-147, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511012001183>. Acesso em: 11 de fev 2018.

MAGAGNOTTI, N.; PICCHI, G.; SPINELLI, R. A versatile machine system for salvaging small-scale forest windthrow. **Biosystem Engineering**, Londres, v. 115, p. 381-388, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511013000779>. Acesso em 22 de nov 2018.

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

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In. MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 2002, p. 145-167.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. cap. 6, p.161-184.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; CASTRO, G. P. Sistemas In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 6, p. 179-205.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 376 p.

MARTINS, V. W. B.; SANTOS, N. C. B.; SILVA, N. C. L.; SOARES, D. C.; LIMA JUNIOR, P. S.; Análise da capacidade produtiva de uma indústria de blocos pré-moldados utilizando o estudo de tempos cronometrados. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, v. 6, n. 11, p. 311-327, 2014. Disponível em:

<http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/2493>. Acesso em: 7 de jan 2018.

MARTINS, V. W. B.; LIMA, I. D. A.; SILVA, J. C. K.; PIOL, K. D. B.; DINIZ, M. F. S.; Utilização do estudo de tempos cronometrados para determinação da capacidade produtiva de um salão de beleza. **Produção em Foco**, Joinville, v. 5, n.1, p. 123-144, 2015. Disponível em: <http://producaoemfoco.org/producaoemfoco/article/view/176>. Acesso em: 6 de jan 2018.

MELO, M.; NICKEL, S.; SALDANHA da GAMA, F. Facility location and supply chain management – a review. **European Journal. Operational. Research**, Amsterdam v. 196, p. 401–412, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221708004104>. Acesso em: 29 de mar 2018.

MENDES, M. H.; SOUZA, R. C. **Análise quantitativa de risco: um guia para modelagem pela simulação de Monte Carlo**. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 2007. 35 p.

MERKOVA, M.; DRÁBEK, J. Use of risk analysis in investment measurement and management. **Procedia Economics and Finance**, v. 34, p. 656-662, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567115016822>. Acesso em: 1 de jun 2018.

MILAN, M. **Gestão sistêmica e planejamento estratégico**. 2005. 100p. Tese (Livre Docência)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MIYATA, E. S. **Determining fixed and operating costs of logging equipment**. 1. ed. Minnesota: Editora USDA Forest Service General Technical Report NC-55. St Paul, Minnesota: US Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 1980. 16 p.

MITCHELL J. 2000. Productivities and costs of harvesting small openings in the Cariboo Forest Region. **FERIC**, Vancouver, BC: Advantage, v. 1, n. 22, p. 8, 2000.

MOLIN, J.P.; MILAN, M. **Adequação do trator ao implemento e ao tipo de solo (compact disc)**. In. SEMINÁRIO SOBRE MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE PREPARO DE SOLO PARA O PLANTIO DE FLORESTAS. Piracicaba. Resumos. Piracicaba. IPEF, 2000. p. 9-16.

MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; MINETTI, L. J.; SILVA, K. R. Avaliação operacional e econômica do Feller-Buncher em dois subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 199-205, 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-67622004000200006&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 13 de fev 2018.

MOUSAVI, R. Time consumption, productivity, and cost analysis of skidding in the Hyrcanian forest in Iran. **Journal of Forestry Research**, Harbin, v. 23, n. 4, p. 691-697, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-012-0265-1>. Acesso em: 27 de out 2018.

NASCIMENTO, A. C.; LEITE, A. M. P.; SOARES, T. S.; FREITAS, L. C. Avaliação Técnica e Econômica da colheita florestal com feller buncher. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 9-15, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-77602011000100002&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 8 de dez 2017.

NUUTINEN, Y.; PETTY, A.; BERGSTRÖM, D.; RYTKÖNEN, M.; DI FULVIO, F.; TIIHONEN, I.; LAUREN, A.; DAHLIN, B. Quality and productivity in comminution of small-diameter tree bundles. **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 27, n. 3, p. 179–187, 2016. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14942119.2016.1223926?journalCode=tife20>. Acesso em: 13 de fev 2017.

NURMINEN T.; KORPUNEN H.; UUSITALO J.; Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 40, p. 335–363, 2006. Disponível em: <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf40/sf402335.pdf>. Acesso em: 19 de jul 2018.

OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C.; SALLES, T. T.; CARNEIRO, A. C. O.; LANA, A. Q. Análise de risco econômico de dois sistemas produtivos de carvão vegetal. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, p. 2-11, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/floram/v24/2179-8087-floram-24-e20160265.pdf>. Acesso em: 4 de abr 2018.

OLIVEIRA, R. J.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com clambunk skidder, **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 267-275, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n2/a14v30n2>. Acesso em: 17 de maio 2018.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do Forwarder em extração de toras de pinus. **Scientia forestalis**. Piracicaba, v.37, n.84, p.525-533, 2009. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr84/cap20.pdf>. Acesso em: 12 de fev 2018.

OLIVEIRA JUNIOR, E. D.; SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Produtividade de Feller-Buncher em povoamento de eucalipto em relevo acidentado. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 905-912, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/16327/10799>. Acesso em: 2 de abr 2018.

PARISE, D. J. **Influência dos requisitos pessoais especiais no desempenho de operadores de máquinas de colheita florestal de alta performance**. 2005. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/2223>. Acesso em: 30 de mar 2018.

PALTRINIERI, N.; RENIERS, G. Dynamic risk analysis for Seveso sites. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, Amsterdam, v. 49, p. 111-119, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423017303108>. Acesso em: 3 de jan 2018.

PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E. 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**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 1-11, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982015000400981&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 14 de abr 2018.

POMPERMAYER, C. B.; LIMA, J. E. P. **Gestão de Custos**. In: Finanças empresariais/FAE Business School. Curitiba: Associação Franciscana de Ensino Senhor Bom Jesus, v. 4, p. 49-68, 2002.

PULKKI, R.E. **Glossary of forest harvesting terminology**. Disponível em: flash.lakeheadu.ca/~repulkki/REP_terminology.pdf Acesso em 30 de abril de 2016.

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**. 1 ed. Curitiba: Editora Imprensa UFPR, 2012. 112 p.

ROBINSON, A. P.; MCLARIN, M.; MOSS, I. A simple way to incorporate uncertainty and risk into forest harvest scheduling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 359, p. 11-18, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112715005228>. Acesso em: 17 de nov 2018.

ROVAI, R. L.; CATTINI JUNIOR, O.; PLONSKI, G. A. Gestão de riscos em projetos de inovação através da abordagem contingencial: análise conceitual e proposição de modelo estruturado para redução de incertezas em projetos complexos, **Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 269-295, 2013. Disponível em: <http://bdpi.usp.br/bitstream/handle/BDPI/43347/GEST%C3%83O%20DE%20RISCO%20EM%20PROJETOS%20DE%20INOVA%C3%87%C3%83O%20ATR%C3%81VES%20DA%20ABORDAGEM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 de fev 2018.

SABBAG, O. M.; COSTA, S. M. A. L. Análise de custos da produção de leite: aplicação do método de Monte Carlo. **Revista Extensão Rural**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 125-145, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/extensaorural/article/view/14153>. Acesso em: 4 de mar 2018.

SALMERON, A. Pesquisa sobre mecanização florestal para abastecimento industrial de resíduo visando a produção de energia. **IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. B.1 – B. 12, 1980. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr02/cap02.pdf>. Acesso em: 11 de set 2018.

- SAMPIETRO, J. A.; LOPES, E. S. Compactação de um cambissolo e neossolo submetidos a diferentes intensidades de tráfego de Feller buncher e Skidder. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 265-272, 2011. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr90/cap14.pdf>. Acesso em: 19 de maio 2018.
- SAMSUDIN, M. D. M.; DON, M. M. Assessment of bioethanol yield by *S. cerevisiae* grown on oil palm residues: Monte Carlo simulation and sensitivity analysis. **Bioresource Technology**, Essex, v. 175, p. 417-423, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241401548X>. Acesso em: 5 de jul 2018.
- SANT'ANNA, C. M. Corte. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 3, p. 74-105.
- SCHWEIER, J.; SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N.; BECKER, G. Mechanized coppice harvesting with small scale feller bunchers: Results from harvesting trials with newly manufactured felling heads in Italy. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 72, p. 85-94, 2015. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153089303>. Acesso em: 6 de dez 2018.
- SEIXAS, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. Compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 60, p. 73–87, 2001. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr60/cap06.pdf>. Acesso em: 13 de ago 2018.
- SEIXAS, F. Extração florestal. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. cap. 4, p. 97-145.
- SEIXAS, F.; CASTRO, G. P. Extração. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 4, p.106-161.
- SILVA, A. L. P. **Custo de produção, colheita e transporte de madeira de eucalipto proveniente do programa produtor florestal no sul do Espírito Santo**. 2012. 47 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFES_b99b5fa13c7353421a2ec9998ff7b00f. Acesso em: 2 de mar 2018.
- SILVA, C. S. J.; OLIVEIRA, A. D.; COELHO JUNIOR, L. M.; SCOLFORO, J. R. S.; SOUZA, A. N. Viabilidade econômica e rotação florestal de plantios de candeia (*Eremanthus erythropapus*), em condições de risco. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 113-122, 2014b. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-77602014000100015&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 24 de jul 2018.
- SILVA, E. N.; MACHADO, C. C.; FIEDLER, N. C.; FERNANDES, H. C.; PAULA, M. O.; CARMO, F. C.; MOREIRA, G. R.; COELHO, F. E. Avaliação de custos de dois modelos de harvester no corte de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 741-748, 2014a. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/3972>. Acesso em: 1 de jun 2018.

SILVA, J. R.; FENNER, P. T.; CATANEO, A. Avaliação do desempenho operacional de trator florestal Feller-Buncher. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 6, n. 1, p. 29-34, 2007. Disponível em: <http://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5356>. Acesso em: 11 de abr 2018.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 178 p.

SIMIONI, F.J.; BUSCHINELLI, C.C.A.; MOREIRA, J.M.M.A.P.; PASSOS, B.M.; GIROTTO, S.B.F.T. Forest biomass chain of production: Challenges of small scale forest production in Southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 174, p. 889-898, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617326379>. Acesso em: 4 de ago 2018.

SIMÕES, D. FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Produtividade e custos do feller buncher e Processador Florestal em povoamentos de eucalipto de primeiro corte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 621-630, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982014000300621&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 15 de jan 2018.

SIMÕES, D.; MOSQUERA, G. A. D.; BATISTELA, G. C.; PASSOS, J. R. S.; FENNER, P. T. Quantitative analysis of uncertainty in financial risk assessment of road transportation of wood in Uruguay. **Forests**, Basel, v. 7, p. 1-11, 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/7/7/130>. Acesso em: 21 de nov 2018.

SIMÕES, D.; DINARDI, A. J.; SILVA, M. R. Investment uncertainty analysis in eucalyptus bole biomass production in Brazil. **Forests**, Basel, v. 9, p. 1-11, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/9/7/384>. Acesso em: 11 de fev 2018.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009. 728 p.

SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; MINETTI, L. J.; JACOVINE, L. A. G. Perspectivas na Área de Colheita e Transporte Florestal. **Revista Madeira**, Curitiba, n. 51, p. 52-62, 2000.

SOUZA, M. A.; PIRES, C. B. Colheita florestal: mensuração e análise dos custos incorridos na atividade mecanizada de extração. **Custos e agronegócio**, Recife, v. 5, n. 2, p. 104-132, 2009. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero2v5/colheita%20florestal.pdf>. Acesso em: 12 de abr 2018.

SOUZA, M. A.; DIEHL, C. A. **Gestão de custos**: uma abordagem integrada entre Contabilidade, Engenharia e Administração. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 312 p.

SOUZA, M. A.; PIRES, C. B.; SILVEIRA, F. C. Análises de custos de prestação de serviços de colheita florestal mecanizada. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 270-289, 2011. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/3749/analise-de-custos-de-prestacao-de-servicos-de-colheita-florestal-mecanizada>. Acesso em: 16 de jul 2018.

SPINELLI R.; OWENDE P.M.; WARD S.M. Productivity and cost of CTL harvesting of *Eucalyptus globulus* stands using excavator based harvesters. **Forest Products Journal**, Madison, v. 52, p. 67–77, 2002. Disponível em: <https://search.proquest.com/docview/214650412?pq-origsite=gscholar>. Acesso em: 12 de nov 2018.

SPINELLI, R.; CUCHET, E.; ROUX, P. A new feller-buncher for harvesting energy wood: Results from a European test programme. **Biomass Bioenergy**, Oxford, v. 31, p. 205–210, 2007. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20073078433>. Acesso em: 3 de abr 2018.

SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N.; DI FULVIO, F.; BERGSTROM, D.; DANELON, M.; ALBERTI, G. Comparison of cost efficiency of mechanized fuel wood thinning systems for hardwood plantations on farmland. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 35, p. 111-123, 2014. Disponível em: <http://www.crojfe.com/archive/volume-35-no-2/comparison-of-cost-efficiency-of-mechanized-fuel-wood-thinning-systems-for-hardwood-plantations-on-farmland/>. Acesso em: 5 de ago 2018.

TARNOWSKI, B. C.; SCHNEIDER, P. R.; MACHADO, C. C. Produtividade e custos do processador trabalhando em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 103-115, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v9n2/1980-5098-cflo-9-02-00103.pdf>. Acesso em: 18 de jun 2018.

TAVANKAR, F.; BONYAD, A. E.; MAJNOUNIAN, B. Affective factors on residual tree damage during selection cutting and cable-skidder logging in the Caspian forests, Northern Iran. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 83, p. 505-512, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857415301245>. Acesso em: 9 de maio 2018.

TIERNAN D.; ZELEKE G.; OWENDE P. M. O.; KANALI C. L.; LYONS J.; WARD S. M. Effect of working conditions on forwarder productivity in cut-to-length timber harvesting on sensitive forest sites in Ireland. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 87, p.167–177, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511003002174>. Acesso em: 21 de mar 2018.

TISAKA, M. **Orçamento na construção civil**: consultoria, projeto e execução. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 2006. 366 p.

VAJARGAH, B. F.; SALIMIPOUR, A. Evaluating wave random path using multilevel Monte Carlo. **International Journal of e-Navigation and Maritime Economy**,

Mokpo, v. 7, p. 1-10, 2017. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405535217300165>. Acesso em: 7 de fev 2018.

VALVERDE, S. R.; MACHADO, C. C.; REZENDE, J. L. P.; SOUZA, A. P.; ANTIQUERA, A. C. Análise técnica e econômica do arraste com “Skidder” no sistema de colheita de árvores inteiras de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 20, n. 1, p. 101-109, 1996. Disponível em:
<https://books.google.com.br/books?id=RXWaAAAAIAAJ>. Acesso em: 6 de fev 2018.

VANCE, E. D.; PRISLEY, S. P.; SCHILLING, E. B.; TATUM, V. L.; WIGLEY, T. B.; LUCIER, A. A.; DEUSEN, P. C. V. Environmental implications of harvesting lower value biomass in forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 407, p. 47-56, 2018. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112717308228>. Acesso em: 15 de set 2018.

VICECONTI, P.; NEVES, S. **Contabilidade de custos**: um enfoque direto e objetivo. 11. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. 280 p.

VIECILI, C. R. C. **Modelagem matemática: uma proposta para o ensino da matemática**. 2006. 118 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <http://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/3029>. Acesso em: 13 de jan 2018.

WANG, J.; LONG, C.; MCNEEL, J. Production and cost analysis of a feller-buncher and grapple skidder in central Appalachian hardwood forests. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, p. 159-167, 2004. Disponível em:
<http://eds.a.ebscohost.com/abstract?site=eds&scope=site&jrnl=00157473&AN=15518812&h=FahdTDrDbV7mEenV0TImLboQ6NIAt5VDnXIU8h2i%2bS43QHZ9uziUt%2bnt6CCjwS%2fqJtTeiSanGPdxl2LvqKuGCg%3d%3d&crl=f&resultLocal=ErrCrlnoResults&resultNs=Ehost&crllhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d00157473%26AN%3d15518812>. Acesso em: 20 de fev 2018.

WEISE, A. D.; BOLSSON, D.; MEDEIROS, F. S. B.; BOLIGON, J. A. R. Um estudo sobre o tempo-padrão no processo produtivo de recapagem de pneus em uma concessionária de veículos. **Gestão e Desenvolvimento**, Rio Grande do Sul, v. 10, n. 1, p.113-124, 2013. Disponível em:
<https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistagestaoedesenvolvimento/article/view/1033>. Acesso em: 8 de abr 2018.

WESTER, F.; ELIASSON, L. Productivity in final felling and thinning for a combined harvester forwarder (Harwarder). **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 14, p. 45-50, 2003. Disponível em:
<https://journals.lib.unb.ca/index.php/ijfe/article/view/9870/10025>. Acesso em: 15 de mar 2018.

WU, S.; WANG, Y.; BOLABOLA, J. Z.; QIN, H.; DING, W.; WEN, W.; NIU, J. Incorporating motion analysis technology into modular arrangement of predetermined time standard (MODAPTS). **International Journal of Industrial Ergonomics**, Amsterdam, v. 53, n. 1, p. 291-298, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814116300142>. Acesso em: 16 de abr 2018.

ZHAO, L.; HUCHZERMEIER, A. Operations finance interface models: a literature review and framework. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 244, p. 905-917, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715001125>. Acesso em: 2 de ago 2018.