

ANÁLISE QUANTITATIVA DO RISCO TÉCNICO-ECONÔMICO DE UM TRATOR FLORESTAL SKIDDER

QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE TECHNICAL-ECONOMIC
RISK OF A SKIDDER

Recebido em 05/11/2017

Aceito em 10/11/2017

Publicado em 22/11/2017

DOI: dx.doi.org/10.5380/biofix.v2i0.56339

Ricardo Hideaki Miyajima¹

Rodrigo Petrongari Tonin²

Paulo Torres Fenner³

Danilo Simões⁴

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, São Paulo, Brasil
richidetoshi Miyajima@hotmail.com¹, rp.tonin@hotmail.com², fenner@fca.unesp.br³ & simoes@itapeva.unesp.br⁴

RESUMO

Os custos da colheita florestal, de forma abrangente, podem ser definidos como a quantificação econômica dos fatores produtivos, determinados em sua maioria pelo modal utilizado. Todavia, um elemento presente no conhecimento dos custos desses modais é a incerteza nas estimativas, devido ao conjunto de fatores envolvidos ou da insuficiência de informações. À vista disso, objetivou-se neste estudo construir um modelo estocástico, a partir da produtividade operacional de um trator florestal *skidder* empregado na extração de *Eucalyptus* sp., para quantificar os riscos técnico-econômicos por meio da simulação de Monte Carlo. A análise técnico-econômica teve como premissa o estudo de tempos e métodos, seguida da estimativa do custo horário do trator florestal *skidder* e do custo da extração de madeira. Os resultados permitiram quantificar os riscos do custo da extração de madeira, além de determinar que o dispêndio com combustível é o que mais onera essa operação florestal.

PALAVRAS-CHAVE: Colheita florestal, Custos de extração, Monte Carlo, Silvicultura, Tempos e métodos.

ABSTRACT

The costs of forest harvesting, in a comprehensive way, can be defined as the economic quantification of the productive factors, determined in the majority by the modal used. However, an element presents in the knowledge of the costs harvesting modes is the uncertainty in the estimates, which is due to the set of factors involved or the lack of information. In view of this, the aim of this study was to construct a stochastic model based on the operational productivity of a skidder used in the extraction of *Eucalyptus* sp., in order to quantify technical and economic risks through Monte Carlo simulation. The technical-economic analysis was based on the study of times and methods, followed by an estimate of the hourly cost of the skidder and the cost of logging. The results allowed to quantify the risks of the cost of the logging, in addition to determining that the expenditure with fuel is the biggest cost in this forest operation.

KEYWORDS: Forest harvesting, Extraction costs, Monte Carlo, Silviculture, Times and methods.

INTRODUÇÃO

Até o final da década de 1960, o setor florestal apresentava pouca expressividade para a economia brasileira. No entanto, com o surgimento dos incentivos fiscais, associados aos investimentos privados, proporcionou-se rápido e significativo crescimento desse setor, principalmente com o plantio do eucalipto (MACHADO et al., 2014).

Além disso, o setor florestal está em constantes mudanças e melhorias para atender as exigências do mercado, sendo uma delas a modernização da colheita de madeira, que tem como intuito a busca por maior produtividade, planejamento, redução de custos e competitividade no mercado (SANTOS et al., 2013a).

Dentre as atividades da colheita mecanizada de madeira, destaca-se a operação de extração, que consiste na remoção da madeira, na forma de toras, fustes ou árvores inteiras, do interior do povoamento para a margem do talhão, estrada ou pátio intermediário (LOPES; DINIZ, 2015).

Uma das máquinas utilizadas para a realização da atividade de extração é o *skidder*, disponibilizados ao setor florestal por diferentes fabricantes, modelos, tamanhos e tipos. De acordo com Oliveira et al. (2008) e Lima e Leite (2014), o *skidder* é um trator florestal arrastador, articulado, com tração 4x4 e com pneus nas mesmas dimensões, que foi desenvolvido exclusivamente para o arraste de madeira até a margem do talhão após o corte.

Nesse sentido, a análise técnico-econômica da extração de madeira com o trator florestal *skidder* torna-se essencialmente gerencial, para que a tomada de decisão seja fundamentada em dados que permitam apurar os custos com acurácia. Stöhr (1977) complementa que, tanto para a planificação e controle do emprego de máquinas, como para a comparação de diversas alternativas de investimento em maquinário, é altamente necessário ter conhecimento dos custos de utilização das máquinas.

Para que esses objetivos possam ser alcançados, uma das premissas é o estudo de tempos e métodos. Essa metodologia pode ser utilizada com o intuito da busca por melhorias, planejamento, controle e racionalização das operações (FERNANDES et al., 2009; SIMÕES et al., 2014).

No entanto, a incerteza está presente tanto na análise técnica quanto econômica, em que há variáveis que podem ser estimadas por métodos probabilísticos. Diante desse contexto, o objetivo deste estudo foi construir um modelo estocástico a partir dos coeficientes da produtividade operacional de um trator florestal *skidder* empregado na extração de *Eucalyptus* sp. em primeiro corte, para

quantificar os riscos técnico-econômicos por meio da simulação de Monte Carlo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

O estudo foi desenvolvido em um plantio de *Eucalyptus* sp. em primeiro corte, com espaçamento de 3 m x 2 m, em relevo predominante plano, entre 0 e 3%, e localizado nas coordenadas geográficas 23°06' de Latitude Sul e 48°36' de Longitude Oeste, no estado de São Paulo, Brasil.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o solo da região é do tipo LVA - Latossolo Vermelho Amarelo, Distrófico Psamítico (SANTOS et al., 2013b). Conforme a classificação de Wilhelm Köppen, essa área pertence ao clima Cwa, correspondente ao tipo climático tropical de altitude chuvoso com inverno seco.

Trator florestal *skidder*

Para a operação de extração das árvores, foi empregado um trator florestal *skidder* da marca John Deere, modelo 848H, equipado com motor diesel de 149 Kw de potência efetiva e massa operacional de 17.826 kg, com uma garra de 1,5 m² para área útil de carga. Ao iniciar o estudo, o trator florestal apresentava 17.163 horas de uso acumulada.

Extração da madeira

O corte de derrubada das árvores foi realizado por um *feller buncher*, o qual alocava os feixes de árvores ao solo em ângulo de 90° em relação ao alinhamento de plantio e com a base dos feixes das árvores direcionados para à margem da estrada florestal. O eito de derrubada foi composto por três linhas de plantio e, assim, representou um eito de derrubada. Desse modo, o ramal de extração do trator florestal *skidder* foi composto por dois eitos de derrubada do *feller buncher*.

Análise técnica

O estudo de tempos e métodos foi realizado sem a detenção do cronômetro, portanto, pelo método de leitura contínua. O ciclo operacional do trator florestal *skidder* foi composto por atividades efetivas e gerais.

As atividades efetivas englobaram todos os movimentos planejados que ocorreram durante o decurso do trabalho e que resultaram em produção. Ademais, foi

ponderada as atividades gerais, que, por conseguinte, não resultaram em produção (SIMÕES et al., 2010).

O número mínimo de ciclos operacionais (Equação 1) foi calculado em consonância ao proposto por Stevenson (2001), a partir do estudo piloto com margem de erro admissível (TRIOLA, 2014) fixado em 5%.

$$n = \left(\frac{z s}{a \bar{x}} \right)^2 \quad (1)$$

Em que:

n = tamanho da amostra;

z = constante obtida a partir do nível de confiança desejado, considerando a distribuição normal padronizada;

s = desvio padrão da amostra;

a = precisão final desejada; e

\bar{x} = média da amostra.

A produtividade operacional do trator florestal *skidder* (Equação 2) foi estimada em metros cúbicos de madeira extraída do interior dos talhões por hora efetiva de trabalho ($\text{m}^3 \text{He}^{-1}$), conforme Simões e Fenner (2010).

$$P_r = \frac{v}{H_e} \quad (2)$$

Em que:

P_r = produtividade operacional ($\text{m}^3 \text{He}^{-1}$);

v = volume de madeira extraída (m^3); e

H_e = horas efetivas de operação.

O volume de madeira foi obtido a partir da quantidade de árvores extraída e do volume médio das árvores, resultado do inventário realizado antes do corte de derrubada.

Análise econômica

Os valores monetários foram expressos em dólar comercial americano, oficial do Banco Central do Brasil, a preço de venda (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2017) por hora de trabalho ($\text{US\$ h}^{-1}$). Logo, foi considerado como taxa de câmbio o preço da moeda estrangeira medida em unidades e frações da moeda nacional de R\$3,1538 (22/08/2017).

O custo horário do trator florestal *skidder* foi obtido por meio da metodologia proposta pela *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASABE, 2006; ASABE 2011), classificado em custos fixos de abrigo, depreciação, remuneração do capital, seguro e taxas sobre propriedade

da maquinaria. Os custos variáveis foram os dispêndios com combustível, mão de obra do operador, óleos lubrificantes e graxas, reparos e manutenções. Além disso, foi considerada uma taxa de desconto de 10% a.a., vida econômica de cinco anos e valor residual de 34%.

O custo de produção ($\text{US\$ m}^{-3}$), portanto, o custo da extração de madeira com o trator florestal *skidder*, foi calculado conforme Lopes et al. (2009), apresentado na Equação 3.

$$C_e = \frac{C_h}{P_r} \quad (3)$$

Em que:

C_e = custo da extração de madeira ($\text{US\$ m}^{-3}$); e

C_h = custo horário do trator florestal *skidder* ($\text{US\$ h}^{-1}$).

O rendimento energético, o qual indica a massa de combustível necessária para produzir uma unidade de potência na unidade de tempo (SIMÕES et al., 2010), foi obtido conforme Lopes (2007), descrito na Equação 4.

$$R_e = \frac{CSE}{P_r} \quad (4)$$

Em que:

R_e = rendimento energético ($\text{g kW}^{-1} \text{m}^{-3}$); e

CSE = consumo específico efetivo ($\text{g kW}^{-1} \text{He}^{-1}$).

Incorporação do risco econômico

A incorporação de risco na análise técnica e econômica ocorreu a partir da geração de 100.000 números pseudoaleatórios pelo método de simulação de Monte Carlo, realizada por meio do software @Risk 7.5 Copyright© 2016 (PALISADE CORPORATION, 2016). Segundo Simões et al. (2016), para essa condição, a simulação estocástica, além de permitir a obtenção da distribuição de probabilidade de ocorrência, também consente a correlação de *Spearman* (ρ_s) entre as variáveis estocásticas, a qual varia de -1 a 1 (SPEARMAN, 1904).

Dessa forma, as variáveis de entrada (*inputs*) do modelo de simulação estocástica foram todos os componentes do custo horário, produtividade operacional do trator florestal *skidder*, consumo específico efetivo e, consecutivamente, rendimento energético. Diante disso, delimitou-se uma variante de $\pm 15\%$ dos valores determinísticos. O gerador de números randômicos utilizado no processo de simulação foi o Mersenne Twister, conforme Matsumoto e Nishimura (1998), assegurado o mesmo dado inicial.

Em relação aos *outputs* do modelo de simulação estocástica, portanto, as variáveis respostas de interesse foram a produtividade operacional, o custo horário do trator florestal *skidder* e o custo da extração da madeira.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudo de tempos e métodos

O estudo de tempos e métodos pode ser considerado uma ferramenta indispensável para dimensionar com precisão os fatores de produção envolvidos. Outrossim, permite aos decisores identificar os elementos da operação florestal, com vistas à melhoria dos processos e fixação de metas exequíveis.

Sob esse prisma, foi estabelecido o número mínimo de 64 ciclos operacionais para um erro de amostragem admissível em 5%. Diante disso, foram observados 203 ciclos operacionais, portanto, a amostragem permitiu, com nível de confiabilidade superior ao mínimo exigido, a decomposição da operação em elementos que explicaram a operação da extração da madeira com o trator florestal *skidder*. Ainda, o tempo total da operação foi de 11,74 horas, o que permitiu a extração de 21.464 m³ de madeira.

Produtividade operacional

A colheita florestal mecanizada é considerada uma das etapas mais onerosas. Logo, possui forte influência sobre o preço do produto final. Destarte, os riscos sistêmicos dessa operação podem ser minimizados a partir da obtenção de valores probabilísticos da produtividade operacional da máquina empregada para a atividade fim.

Dessa maneira, o valor modal da produtividade operacional do trator florestal *skidder* para uma distância média de 125 m foi de 102,84 m³ He⁻¹. Portanto, foi superior ao obtido por Rocha et al. (2009), os quais estimaram produtividade operacional de 43,2 m³ He⁻¹ para as condições semelhantes de floresta e de declividades aos deste estudo. Enquanto Fiedler et al. (2008) constataram valor de 42,3 m³ He⁻¹ para uma distância média de 230 m.

As diferenças de produtividade operacional em operações de colheita florestal decorrem fundamentalmente de fatores edafoclimáticos, produtividade da floresta, tempo de experiência e capacitação dos operadores, nível de utilização e manutenções preventivas e preditivas dos equipamentos, entre outros, os quais são imprescindíveis para a maximização operacional.

Modelagem econômica

O valor modal do custo horário do trator florestal *skidder* foi de 74.82 US\$ h⁻¹, tendo como valor mínimo de 66.82 US\$ h⁻¹ e valor máximo de 82.67 US\$ h⁻¹. No entanto, foi superior ao obtido por Lopes et al. (2009) e Rocha et al. (2009), respectivamente de 46.15 US\$ h⁻¹ e 57.48 US\$ h⁻¹, ao analisarem um trator florestal *skidder* com pneumático, para as condições de floresta e declividade semelhantes às consideradas no presente estudo.

No entanto, a metodologia utilizada por esses autores para estimar o custo horário possui componentes de custos distintos, quando comparadas à metodologia da *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. Sendo assim, a decisão da escolha da metodologia a ser empregada torna-se complexa, pois a apropriação dos componentes de custo comumente pondera conceitos e técnicas em consonância à gestão da empresa florestal.

A propósito, o conhecimento da associação entre duas variáveis, como exemplo do custo horário da maquinaria e dos respectivos componentes de custo, é de suma importância para que se possa observar com antecedência os possíveis impactos e, estimar as prováveis consequências do valor da outra.

Assim, dentre os componentes que possuem relação positiva com o custo horário do trator florestal *skidder*, o custo com combustível foi o mais representativo do modelo estocástico, por apresentar o maior coeficiente de correlação posto-ordem de *Spearman* positivo ($\rho_s = 0,66$) estatisticamente significativo (p -valor < 0,001), seguido de reparos e manutenções ($\rho_s = 0,51$). Contudo, essas foram consideradas correlações positivas moderadas (DEVORE, 2011). Além disso, elas foram acompanhadas por mão de obra do operador ($\rho_s = 0,37$) e depreciação ($\rho_s = 0,30$), que, no entendimento de Rowntree (1981), são correlações positivas fracas.

Nessa perspectiva, ao incorporar a análise de risco como informação econômica na tomada de decisões florestais, torna-se possível identificar os parâmetros mais significativos do modelo estocástico, os quais deverão ser determinados com maior nível de precisão. Na Figura 1 são apresentados os componentes do custo horário do trator florestal *skidder* e os seus respectivos impactos em decorrência da mudança de percentis a partir dos valores modais.

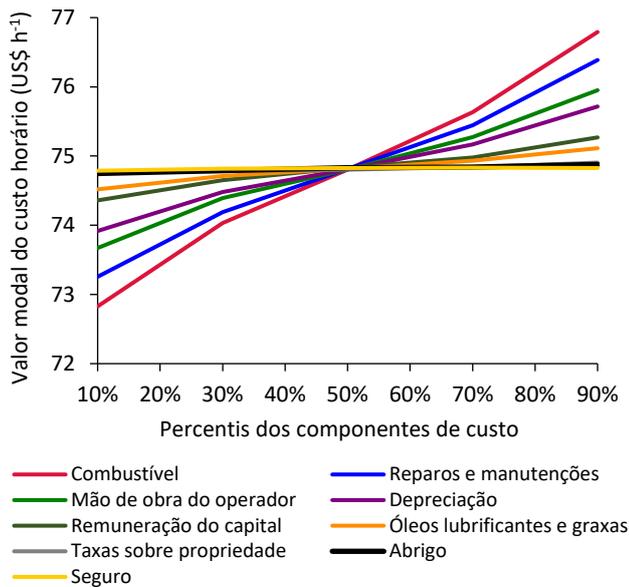


Figura 1. Valor modal do custo horário em função da mudança percentual dos respectivos componentes de custo.

Apesar da afirmação de que a associação entre duas variáveis de um modelo estocástico é forte ou fraca ser de caráter dúbio, observa-se a magnitude do coeficiente de correlação da produtividade operacional na Figura 2. De acordo com Franzblau (1958), pode ser interpretada como forte correlação negativa ($\rho_s = -0,91$) com o custo da extração da madeira com o trator florestal *skidder*, corroborando a influência e a magnitude do risco dessa variável no modelo estocástico sobre a variável resposta. As demais variáveis de entrada demonstradas apresentam correlação positiva fraca ($\rho_s < 0,40$).

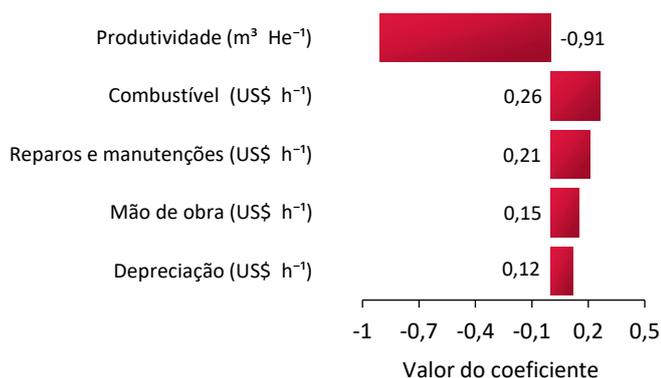


Figura 2. Coeficiente de correlação posto-ordem de Spearman das cinco variáveis de entrada mais críticas do modelo estocástico, em relação ao custo da extração de madeira com o trator florestal *skidder*.

Com o propósito de expor uma estimativa com maiores

acurácia e grau de fidelidade, construiu-se um intervalo de confiança de 90% (0,49 US\$ m⁻³; 0,61 US\$ m⁻³) para a média do custo da extração de madeira com o trator florestal *skidder* (0,54 US\$ m⁻³), o qual denotou uma extensão que pode ser considerada pequena (0,04 US\$ m⁻³), o que demonstra a robustez da estimativa. Além disso, na Figura 3 é apresentada a distribuição de frequência cumulativa do custo da extração de madeira, o que, de acordo com Silva et al. (2014), fornece o nível de risco para as estimativas.

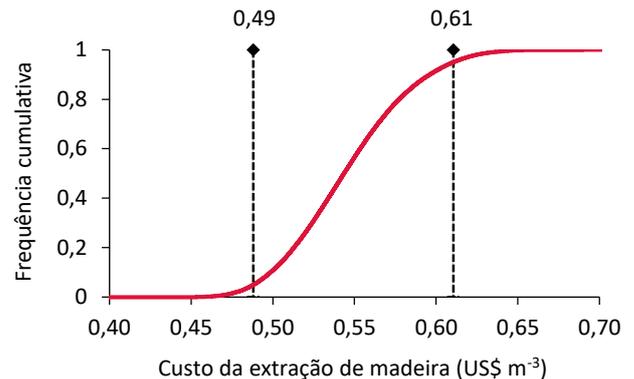


Figura 3. Frequência cumulativa do custo da extração de madeira com o trator florestal *skidder*.

Em relação ao consumo específico efetivo de combustível do trator florestal *skidder*, o valor modal foi de 123,51 g kW⁻¹ He⁻¹. Assim, o valor modal do rendimento energético foi de 0,88 g kW⁻¹ m⁻³, sendo que o menor rendimento energético possível a ser obtido consistiu em 0,67 g kW⁻¹ m⁻³ e o maior de 1,19 g kW⁻¹ m⁻³. Em análise de um trator florestal *skidder*, que resultou em uma produtividade operacional média de 82,74 m³ He⁻¹, Fernandes et al. (2009) rendimento energético médio de 2,51 g kW⁻¹ m⁻³. Essa diferença pode ser justificada pelo grau de inter-relacionamento do rendimento energético ser inversamente proporcional à produtividade operacional e à rotação do motor.

CONCLUSÕES

A atribuição de uma distribuição triangular simétrica aos componentes do custo horário do trator florestal *skidder* permite quantificar os riscos do custo da extração de madeira.

A produtividade operacional do trator florestal *skidder* possui correlação negativa significativa com o custo da extração de madeira.

O dispêndio com combustível é o componente de custo que mais onera o custo da extração de madeira com o trator florestal *skidder* em operação de colheita em uma

floresta de *Eucalyptus* sp. em primeiro corte.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

ASABE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **EP496.3 FEB2006: agricultural machinery management**. ASABE, 2006. 6 p.

ASABE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **D497.7 MAR2011: agricultural machinery management data**. ASABE, 2011. 8 p.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Conversão de moedas**. 2017. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp>> Acesso em: 23/08/2017.

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

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**, v. 37, n. 83, p. 225-232, 2009.

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**, v. 38, n. 4, p. 577-586, 2008.

FRANZBLAU, A. **A primer of statistics for non-statisticians**. New York: Harcourt, Brace & World, 1958. 150 p.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C. (Ed). **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 46-73.

LOPES, E. S.; DINIZ, C. C. C. Produtividade do trator florestal *chocker skidder* na extração de madeira em terrenos declivosos. **Floresta**, v. 45, n. 3, p. 625-634, 2015.

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.

LOPES, S. E.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; SILVEIRA, J. C. M.; RINALDI, P. C. N. Avaliação técnica e econômica de um *skidder* operando em diferentes produtividades e distâncias de extração. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 6, p. 1621-1626, 2009.

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

MATSUMOTO, M.; NISHIMURA, T. Mersenne Twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator. **ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation**, v. 8, n. 1, p. 3-30, 1998.

OLIVEIRA, R. J.; MACHADO, C. C.; FERNANDES, H. C.; CANTO, J. L. *Clambunk skidder*: avaliação econômica no arraste de madeira.

Semina, v. 29, n. 3, p. 547-556, 2008.

PALISADE CORPORATION. **@Risk versão 7.5**. Palisade Corporation, 2016.

ROCHA, E. B.; FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; LOPES, E. S.; GUIMARES, P. P.; PERONI, L. Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores inteiras. **Cerne**, v. 15, n. 3, p. 372-381, 2009.

ROWNTREE, D. **Statistics without tears: a primer for non-mathematicians**. Harmondsworth: Penguin, 1981. 208 p.

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

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**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2013b. 353 p.

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 erythropappus*), em condições de risco. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 113-122, 2014.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Influência do relevo na produtividade e custos do *harvester*. **Scientia Forestalis**, v. 85, n. 38, p. 107-114, 2010.

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

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**, v. 24, n. 3, p. 621-630, 2014.

SIMÕES, D.; DANILUK, G. A. M.; BATISTELA, G. C.; PASSOS, J. R.; FENNER, P. T. Quantitative analysis of uncertainty in financial risk assessment of road transportation of wood in Uruguay. **Forests**, n. 7, p. 130-141, 2016.

SPEARMAN, C. "General intelligence," objectively determined and measured. **The American Journal of Psychology**, v. 15, p. 201-292, 1904.

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

STÖHR, G. W. D. Cálculo de custos de máquinas florestais. **Floresta**, v. 8, n. 2, p. 23-30, 1977.

TRIOLA, M. F. **Elementary statistics**. 12. ed. New York: Pearson, 2014. 836 p.