

Avaliação econômica não determinística pelo método de Monte Carlo de plantios de *Eucalyptus* spp. para a produção de celulose no sudoeste paulista

A non-deterministic economic evaluation using the Monte Carlo method for *Eucalyptus* spp. plantation aiming at pulp production in Southwestern São Paulo State, Brazil

Luciana Ruggiero González¹, Eric Bastos Gorgens² e Luiz Carlos Estraviz Rodriguez³

Resumo

Este trabalho avaliou economicamente plantios de clones do híbrido entre *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* manejados para a produção de celulose em espaçamento 3 x 2 m na região sudoeste paulista. Foram coletados dados sobre as operações de implantação e manutenção da cultura do eucalipto praticadas na região de Itapetininga, estado de São Paulo, a partir da base de dados de uma empresa prestadora de serviços. Determinaram-se as distribuições de probabilidade e os respectivos parâmetros dos rendimentos operacionais. O método Monte Carlo foi usado para simular valores de rendimentos, a partir da respectiva distribuição de probabilidade, e avaliar o risco com base nos indicadores financeiros: valor presente líquido (8% a.a.) e taxa interna de retorno. A monocultura de eucalipto para a produção de celulose mostrou-se viável na região sudoeste paulista e apresenta baixo risco, tanto para um cenário de alta mecanização quanto para um cenário de baixa mecanização. Os valores presentes líquidos resultaram positivos, correspondendo a R\$ 2.398,78/ha e R\$ 2.437,45/ha, para a produção mecanizada e mão-de-obra intensiva, respectivamente. A taxa interna de retorno média foi superior à taxa de desconto considerada no estudo, atingindo 15,58 % a.a. e 15,97 % a.a., respectivamente. A análise de sensibilidade para o preço do metro cúbico da madeira mostrou as reduções que criaram situações de risco em que 5% das simulações resultaram em VPL negativos ou taxas internas de retorno médias inferiores à 8 % a.a.

Palavras-chave: *Eucalyptus*; rentabilidade; Monte Carlo; análise de sensibilidade; risco; avaliação econômica.

Abstract

This study presents a non-deterministic evaluation of clonal *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* plantations spaced on a 3 x 2 m grid and managed for pulp production in the Southwest of the State of São Paulo. A local company that operates as a forest services provider in the Municipality of Itapetininga, SP, provided data of local planting and annual maintenance costs. Probability distributions were adjusted from the data to express the variability of a group of important operational performance parameters. A Monte Carlo approach was used to simulate operational performance base on the adjusted distribution functions. Risk could be expressed as a variation observed in the values of the discounted cash flow formulas calculated to evaluate the net present value (NPV) and the internal rate of return (IRR). The simulation confirmed the economic viability of single cultivation of eucalyptus for pulp production in the area, showing low risk in both highly mechanized and labor intensive scenarios. Mean net present values were positive for an 8% annual interest rate, R\$ 2,398.78 per hectare and R\$ 2,437.45 per hectare, respectively. The mean internal rate of return reached 15.58% and 15.97% per year, respectively. The sensitivity analysis for the price of a cubic meter of wood resulted in a scenario to create situations of risk where 5% of the observations returned negative NPV and average internal rates of return lower than the 8% pa.

Keywords: *Eucalyptus*; return; Monte Carlo; sensitivity analysis; risk analysis, cost-benefit analysis.

INTRODUÇÃO

A região sudoeste paulista possui uma extensa área com plantios de eucalipto geridos por diferentes segmentos do setor florestal brasileiro como o de celulose e papel, painéis reconstituídos, madeira tratada, bem como de energia (direcionado para atender cerâmicas e olarias).

¹Doutora em Engenharia Florestal. USP – Universidade de São Paulo / ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Av. Pádua Dias, 11 – 13.418-900 – Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: luciana.ruggiero@yahoo.com.br

²Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal. UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Campus JK - Rodovia MGT 367 - Km 583, 5000 - 39100000 - Diamantina, MG, Brasil. E-mail: e.gorgens@gmail.com

³Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais. USP – Universidade de São Paulo / ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Av. Pádua Dias, 11 – 13.418-900 – Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: lcer@usp.br

O plantio de eucalipto pode ser uma alternativa de renda para produtores rurais, especialmente onde há demanda próxima (OLIVEIRA et al., 2008). Segundo HIGA et al. (2000), o produtor deve fazer um bom levantamento da situação de mercado atual e futuro na região como, por exemplo, identificar a existência de indústrias que consomem madeira ou outros produtos gerados nas plantações de eucaliptos.

A decisão de investimento pelo produtor deve ser realizada também, baseando-se em avaliações econômicas que ajudam na escolha da melhor alternativa através da aplicação de métodos e critérios de decisão que poderão indicar a opção de maior retorno (HESS et al., 1985; LIMA JÚNIOR, 1995; 1999; SOARES et al., 2007).

Os indicadores mais utilizados para avaliar e selecionar as melhores alternativas de investimento são aqueles que consideram a variação do valor do capital ao longo do tempo, tais como o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), a razão benefício/custo (B/C) e o valor esperado da terra (VET) (FARO, 1979; REZENDE; OLIVEIRA, 2001).

Tradicionalmente utiliza-se uma análise de viabilidade econômica determinística, levando a uma simplificação e/ou inadequada estimativa do indicador usado para avaliar o desempenho econômico do projeto, além de limitar uma apropriada análise de risco. Assim, uma análise não determinística, em que se utilizam as distribuições de probabilidade associadas às variáveis do projeto é uma alternativa para uma melhor tomada de decisão (BACHA; RODRIGUEZ, 2006; 2007). Contudo, Azevedo Filho (1998) indica que o método Monte Carlo possibilita a simulação de diferentes cenários para certas variáveis selecionadas do projeto, levando-se em consideração as distribuições de probabilidade para os valores dessas variáveis ao longo da vida útil do projeto.

Este trabalho teve como objetivo realizar a avaliação econômica não determinística de plantios de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* manejados para a produção de celulose na região de Itapetininga, SP.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta de dados silviculturais

Foram coletados dados sobre as operações de implantação e manutenção da cultura do eucalipto praticadas na região de Itapetininga da base em dados de uma empresa prestadora de serviços florestais da região, sendo analisados 8.225 dados. Tais dados correspondem a atividades realizadas em plantios florestais nos municípios de Itapetininga, Capão Bonito, São Miguel Arcanjo, Sarapuí, Alambari, Pilar do Sul, Salto de Pirapora, e Itararé.

As operações foram organizadas em dois cenários: mecanizado e mão-de-obra intensiva. O cenário 1, denominado "Produção mecanizada", foi formado pelas operações de implantação: controle de formigas, limpeza química total mecanizada, calagem, alinhamento e balizamento, subsolagem com adubação, plantio manual, aplicação de herbicida pré-emergente mecanizado e replantio.

As operações de manutenção desse cenário consistiram em: adubação de cobertura mecanizada, aplicação de herbicida mecanizado na entrelinha, aplicação de herbicida manual na linha e aplicação de herbicida manual na linha e entrelinha.

O cenário 2, denominado "Produção mão-de-obra intensiva", foi composto pelas operações de implantação: controle de formigas, limpeza química total manual, calagem, alinhamento e balizamento, coveamento, adubação de base manual, aplicação de herbicida pré-emergente manual, plantio manual e replantio. As operações de manutenção consistiram em: adubação de cobertura manual e aplicação de herbicida manual na linha e entrelinha.

Cada uma das operações selecionadas para compor os cenários mecanizado e mão-de-obra intensiva tiveram as distribuições de probabilidade de seus rendimentos determinados dentre as distribuições teóricas: distribuição triangular, normal, Poisson, beta, Weibull e uniforme. A distribuição adotada para cada uma das operações foi a que apresentou o melhor ajuste avaliado pelo teste de chi-quadrado (BOLLEN; LONG, 1993).

Determinação dos rendimentos operacionais para a composição dos custos

Determinou-se o rendimento em hectares por hora-homem (ha/hora.homem) ou hectares por hora-máquina (ha/hora.máquina) de cada operação a partir das informações sobre a quantidade de hectares trabalhados, do número de funcionários envolvidos e da quantidade de horas gastas para

a realização da operação. Posteriormente, foi determinado o número de horas gastas para realizar a operação para a área de um hectare por funcionário. O valor da mão-de-obra considerado foi de R\$ 35,00 para um diarista, de acordo com o IEA (2013).

Nas atividades mecanizadas, seguindo as especificações dos equipamentos utilizados pela empresa prestadora de serviços para o qual os dados foram coletados, considerou-se a utilização de um trator de 75 cavalos de potência para adubação de cobertura; aplicação de herbicida na entrelinha; aplicação de herbicida pré-emergente; limpeza química total e calagem. Já na subsolagem, foi utilizado um trator com 150 cavalos de potência.

O consumo de combustível foi determinado mediante base de dados para as operações mencionadas. O consumo de combustível para as operações que utilizam tratores com 75 cavalos de potência foi de 4 l/h e o de 150 cavalos de potência, 15 l/h. O valor do litro do combustível foi considerado R\$ 2,09.

Segundo a metodologia de Edwards (2009), o custo fixo está relacionado às despesas por se possuir um determinado maquinário, independentemente da intensidade de uso e inclui a depreciação, custo de oportunidade, impostos, seguros e infraestrutura necessária para armazenamento e manutenção. Já os custos variáveis, também chamados de custos operacionais incluem reparos e manutenções, combustível, lubrificação e mão de obra para operação. A soma dos custos fixos e variáveis para o trator de 75 CV resultou em R\$ 36,50/h (fixo: R\$ 23,55 e variável: R\$ 12,95), enquanto que para o trator de 150 CV, a soma foi de R\$ 86,74/h (fixo: R\$ 44,43 e variável: R\$ 43,31).

As operações adubação de cobertura e capina química na linha/entrelinha do cenário 1 foram realizadas manualmente. Já o cenário 2 teve como única operação mecanizada a calagem, realizada durante a implantação.

Os insumos mais frequentes utilizados na região foram identificados a partir da base de dados analisada. A quantidade de cada insumo foi determinada por hectare dividindo-se a quantidade total de insumos utilizados pela área total em cada atividade. Os preços dos insumos foram obtidos em distribuidores do município de Itapetininga. Para a implantação da cultura do eucalipto foi realizada inicialmente a análise de solo ao custo de R\$ 35,00 para cada amostra de solo colhida. O controle preventivo de formigas foi realizado utilizando-se 2 kg/ha de iscas formicidas granuladas sendo a manutenção realizada nos anos posteriores com 1 kg/ha. Considerou-se que a área seria cultivada pela primeira vez, sendo, portanto necessário realizar antes da implantação a limpeza química total (dessecação) com 2 kg de glifosato por hectare. Essa mesma quantidade foi utilizada nas manutenções. Em áreas mecanizáveis realizou-se a calagem com 1.120 kg/ha de calcário dolomítico. O espaçamento de plantio escolhido foi o 3 x 2 m (1.667 plantas/ha) com mudas clonais de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). A adubação de base consistiu em 235 kg/ha de 06-30-10 + 0,5% B e o de cobertura, 157 kg/ha de 14:00:15 + 0,5% B + 16,8% S. Após a implantação aplicou-se 90 g/ha de herbicida pré-emergente.

Contexto econômico

A região deste estudo possui altitude média de 670 m. O clima é do tipo tropical de altitude sujeito a ventos sul e sudoeste com geadas fracas e nítidas estações de chuva (outubro a março) e de seca (abril a setembro). A temperatura média anual é de 20,9°C, com mínima de 16°C e máxima de 25,7°C. A precipitação pluvial média anual é de 1.368 mm. O relevo é suavemente ondulado com predominância de Latossolo Vermelho Escuro Orto (LE).

O valor do arrendamento anual da terra foi calculado multiplicando-se o valor da terra nua para pastagem, indicado por Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2013), pela taxa de juros. Estimou-se em R\$ 14.167,65 o valor médio do hectare da terra nua para pastagem na região de Itapetininga, em 4,7% a.a. a inflação futura e em 8% a.a. a taxa de retorno mínimo para o produtor.

A produção de madeira no sistema produtivo foi baseada em dados de inventário florestal colhidos numa área experimental instalada seguindo as premissas de insumos e tratamentos culturais mencionadas neste trabalho (GONZÁLEZ, 2014). A produção média de madeira aos 7 anos foi modelada por uma distribuição uniforme apresentando média 276,04 m³/ha e desvio padrão de 27,60361 m³/ha.

O preço do metro cúbico de madeira para celulose com venda em pé foi considerado R\$ 48,30 de acordo com o IEA (2013) para a região do estudo. Com os dados dos custos e receitas foi elaborado um fluxo de caixa dos cenários analisados.

Análise econômica, análise de risco e análise de sensibilidade

A análise econômica, embasada nos métodos de avaliação de projetos descritos por SILVA et al. (2002), enfocou o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR). A taxa de juros utilizada foi de 8% ao ano o horizonte de planejamento de 7 anos.

A análise de risco foi realizada utilizando-se o software @risk distribuído por PALISADE CORPORATION. O método de Monte Carlo foi usado para simular valores para algumas variáveis do projeto com base nas distribuições de probabilidades determinadas. Assumiu-se a distribuição normal dos dados para a produção de madeira em ambos os cenários cujos valores de média (μ) e desvio padrão (σ) (COELHO JUNIOR et al, 2008; BOLOGNA et al 2008). A partir do fluxo de caixa, o programa executou 10.000 simulações calculando para cada uma delas o VPL e TIR.

Uma análise de sensibilidade foi realizada utilizando-se o software @risk com 10.000 iterações. Nessa análise variou-se o preço do metro cúbico da madeira com aumento e decréscimo entre 10 a 30% no valor de referência (R\$ 48,30/m³) e o custo do arrendamento da terra foi submetido a variações que aumentaram em até 125 % o valor praticado na região R\$ 446,54/ha/ano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível identificar 95 operações, das quais, 17 foram utilizadas para construir os cenários analisados. Estas 17 operações possuíam o número de funcionários envolvidos nas atividades, a área total trabalhada e o tempo gasto na sua execução. As principais distribuições utilizadas para modelar os rendimentos das operações florestais foram a Weibull, triangular, ocorrendo ainda casos de uniforme e normal (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuições dos rendimentos operacionais em hectares por hora-máquina ou hectares por hora-homem das 17 operações consideradas na análise estocástica.

Table 1. Operational income distribution from 17 activities considering stochastic analysis, in hectares per machine-hour or hectares per man-hour.

Operação	Etapa	Distribuição	A	B	C
Limpeza química área total manual	Implantação	Weibull	2,5555	0,0615	
Limpeza química área total mecanizada	Implantação	Normal	1,7167	0,4612	
Controle de formigas	Implantação	Weibull	1,4241	0,4020	
Calagem	Implantação	Triangular	0,4163	1,1111	3,3704
Alinhamento e Balizamento	Implantação	Triangular	0,0677	0,1170	0,1500
Subsolagem	Implantação	Normal	0,5052	0,1753	
Coveamento manual	Implantação	Uniforme	0,0157	0,0335	
Adução de base manual	Implantação	Weibull	2,8776	0,0829	
Plantio	Implantação	Triangular	0,0218	0,1158	0,1595
Herbicida pré-emergente mecanizado	Implantação	Triangular	0,0597	1,9672	3,0346
Herbicida pré-emergente manual	Implantação	Uniforme	0,1479	0,2111	
Replantio	Implantação	Triangular	0,1029	0,3114	0,7120
Adução de cobertura manual	Manutenção	Weibull	2,3995	0,1681	
Adução de cobertura mecanizada	Manutenção	Normal	1,8543	0,5251	
Herbicida mecanizado entre-linha	Manutenção	Uniforme	0,4019	1,0536	
Herbicida manual linha	Manutenção	Weibull	1,8931	0,0844	
Herbicida manual linha/entrelinha	Manutenção	Weibull	2,8802	0,1344	

Para distribuição Normal, A indica média e B indica desvio padrão. Para distribuição Weibull, A indica forma e B indica escala. Para distribuição triangular, A indica limite inferior, B indica valor mais provável e C indica limite superior. Para distribuição uniforme, A indica limite inferior e B indica limite superior.

O cultivo de eucalipto em monocultura com a finalidade de produção de celulose apresentou-se viável na região sudoeste paulista se considerada a taxa de retorno estipulada na análise, tanto no cenário mecanizado quanto no cenário mão-de-obra intensiva. O VPL médio atingiu o valor de R\$ 2.398,78 por hectare no cenário mecanizado e R\$ 2.437,45 por hectare no cenário mão-de-obra intensiva (Tabela 2). A TIR atingiu média de 15,58 % a.a e 15,97 % a.a, respectivamente. O VPL e a TIR mostram desvios padrão que indicam intervalos de confiança de 95% com rentabilidade favorável.

O pior cenário, que resulta em valores de VPL inferiores a aproximadamente R\$ 1.000,00, é de apenas 5%. Mais especificamente, os valores de VPL para todos os percentis são positivos assim como a TIR fica acima da taxa de retorno esperada (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo estatístico do valor presente líquido e a taxa interna de retorno para a simulação dos cenários mecanizado e mão-de-obra intensiva considerando 10.000 iterações.

Table 2. Statistical summary of net present value and internal rate of return for the simulation of mechanized and labor intensive scenarios considering 10.000 iterations.

	Mecanizado	Mão-de-obra intensiva	Mecanizado	Mão-de-obra intensiva
	VPL (R\$/ha)		TIR (%)	
Mínimo	-730,08	-990,97	-8,96	4,35
Máximo	5.392,75	5.595,27	55,67	23,28
Média	2.398,78	2.437,45	15,58	15,97
Desvio padrão	780,42	781,63	2,39	2,22
Moda	2.510,39	2.528,47	16,88	16,14
Percentis				
5%	1.112,75	1.155,20	12,02	12,16
25%	1.869,57	1.909,21	14,43	14,55
50%	2.401,65	2.441,92	15,90	16,06
75%	2.925,89	2.961,76	17,33	17,52
95%	3.676,49	3.732,36	19,23	19,42

Ambos os cenários analisados (mecanizado e mão-de-obra intensiva) apresentaram grande semelhança quanto à viabilidade e risco. Situação semelhante foi observada por Souza et al. (2012) ao avaliarem projetos florestais com eucalipto no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, utilizando atividades silviculturais adotadas por empresas da região e por produtores rurais. Embora viáveis os dois sistemas de produção, a baixa tecnologia usada pelos produtores rurais apresentou retorno econômico inferior.

Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada considerando uma variação de até 30% em torno do preço do metro cúbico da madeira. Para ambos os cenários (mecanizado e mão-de-obra intensiva), a queda no preço em 20% elevou para 5% a probabilidade de rentabilidade negativa. Uma valorização de pelo menos 10% no preço do metro cúbico da madeira faz com que a probabilidade de VPL negativo seja praticamente nula (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Análise de sensibilidade com variação no preço (R\$/m³) do metro cúbico da madeira para o cenário mecanizado.

Table 3. Sensitivity analysis with variation in the cubic meter of wood price (R\$/m³) for the mechanized scenario.

	Preço do metro cúbico (R\$/m ³)					
	33,81	38,64	43,47	53,13	57,96	62,79
VPL (R\$/ha)						
Média	64,72	842,63	1.620,53	3.176,34	3.954,24	4.732,15
Mínimo	-1.800,77	-1.286,50	-722,23	256,31	770,58	1.284,85
Máximo	1.766,65	2.785,67	3.804,69	5.842,73	6.861,75	7.880,77
Moda	131,05	963,38	1.370,05	3.376,06	4.4045,51	4.467,03
Mediana	73,88	851,42	1.633,32	3.187,05	3.963,85	4.746,25
Desvio padrão	544,64	622,34	699,98	855,31	932,99	1.010,70
Percentis						
5%	-823,49	-174,87	473,74	1.770,96	2.421,01	3.073,44
95%	959,21	1866,41	2.775,13	4.591,06	5.499,02	6.406,98
TIR (%)						
Média	8,15	11,01	13,54	17,89	19,79	21,55
Mínimo	-0,08	2,76	17,79	11,41	11,08	2,19
Máximo	14,90	17,79	20,36	24,79	26,73	28,53
Moda	8,58	11,41	13,94	18,33	21,14	21,92
Mediana	8,23	11,08	13,61	17,96	19,86	21,62
Desvio padrão	2,18	2,19	2,20	2,22	2,24	2,25
Percentis						
5 %	4,38	7,23	9,74	14,05	15,92	17,67
95 %	11,59	14,47	17,02	21,42	23,34	25,12

Tabela 4. Análise de sensibilidade para o preço do metro cúbico da madeira (R\$/m³) para o cenário mão-de-obra intensiva.

Table 4. Sensitivity analysis for the cubic meter of wood price (R\$/m³) for the labor intensive scenario.

VPL (R\$/ha)	Preço do metro cúbico (R\$/m ³)					
	33,81	38,64	43,47	53,13	57,96	62,79
Média	103,51	881,43	1.659,36	3.215,20	3.993,13	4.771,05
Mínimo	-1.783,40	-1.273,97	-764,54	254,32	763,75	1.273,18
Máximo	1.957,61	2.989,09	4.020,57	6.083,53	7.115,00	8.146,48
Moda	-252,84	1.062,50	2.007,26	3.145,67	4.164,82	4.479,42
Mediana	107,06	886,52	1.661,27	3.218,32	3.994,59	4.770,86
Desvio padrão	553,96	631,10	708,39	863,27	940,81	1.018,39
Percentis						
5 %	-802,75	-151,39	492,12	1.789,48	2.441,70	3.092,44
95 %	1.008,12	1.909,63	2.815,12	4.612,45	5.516,31	6.433,64
TIR (%)						
Média	8,31	11,16	13,69	18,04	19,93	21,69
Mínimo	0,47	3,30	5,80	10,07	11,93	13,64
Máximo	14,85	17,73	20,29	24,71	26,65	28,44
Moda	9,85	11,22	13,74	16,93	18,82	22,62
Mediana	8,38	11,23	13,76	18,11	20,01	21,76
Desvio padrão	2,19	2,20	2,21	2,24	2,25	2,26
Percentis						
5 %	4,53	7,37	9,88	14,18	16,06	17,80
95 %	11,78	14,66	17,22	21,59	23,51	25,29

A resposta à variação no valor da terra também foi avaliada e considerou duas possibilidades: aumento do custo do arrendamento em 15 e 125%, e redução desse custo em 25%. A geração de resultados com VPL's predominantemente negativos ocorre para o maior aumento do custo da terra (Tabela 3 e 4). Embora as diferenças tenham sido relativamente pequenas, os projetos manuais sofreram um impacto maior na viabilidade financeira que os projetos mecanizados (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5. Análise de sensibilidade para custo da terra (R\$/ha) no cenário mecanizado.

Table 5. Sensitivity analysis for the land cost (R\$/ha) for mechanized scenario.

VPL (R\$/ha)	Valor do arrendamento da terra (R\$/ha)		
	204,75	513,73	1.008,60
Média	3.657,19	2.049,03	-527,30
Mínimo	993,05	-615,11	-3.191,44
Máximo	6.700,69	5.092,53	2.516,20
Moda	3.430,72	1.822,56	-753,77
Mediana	3.653,21	2.045,05	-531,28
Desvio padrão	781,89	781,89	781,89
Percentis			
5%	2.367,28	759,12	-1.817,21
95%	4.926,03	3.317,87	741,54
TIR (%)			
Média	20,25	14,05	5,38
Mínimo	12,88	5,93	-3,86
Máximo	26,37	20,56	12,47
Moda	21,37	15,22	5,58
Mediana	20,32	14,14	5,51
Desvio padrão	2,09	2,26	2,50
Percentis			
5 %	16,65	10,13	0,99
95 %	23,51	17,57	9,23

Tabela 6. Análise de sensibilidade para custo da terra (R\$/ha) no cenário mão-de-obra intensiva.
Table 6. Sensitivity analysis for the land cost (R\$/ha) in the labor intensive scenario.

	Valor do arrendamento da terra (R\$/ha)		
	204,75	513,73	1.008,60
VPL (R\$/ha)			
Média	3.634,06	1.933,31	-791,36
Mínimo	1.160,70	-540,05	-3.264,72
Máximo	6.092,87	4.392,12	1.667,45
Moda	3.461,70	1.760,95	-963,72
Mediana	3.647,76	1.947,01	-777,65
Desvio padrão	783,99	783,99	783,99
Percentis			
5 %	2.322,40	621,65	-2.103,01
95 %	4.916,32	3.215,57	490,91
TIR (%)			
Média	20,42	14,19	5,49
Mínimo	12,78	5,83	-3,96
Máximo	26,73	20,82	12,62
Moda	19,76	15,22	4,77
Mediana	20,51	14,32	5,64
Desvio padrão	2,10	2,26	2,50
Percentis			
5 %	16,60	10,17	1,01
95 %	23,68	17,71	9,36

A consideração de variáveis aleatórias na análise econômica reforça a viabilidade já encontrada por Oliveira et al (2008) em empreendimentos florestais para níveis de produtividade do sítio e custo da terra conhecidos (OLIVEIRA et al., 2008). Esses mesmos autores discutiram o efeito da baixa capacidade produtiva do solo e do elevado custo da terra na rentabilidade econômica.

CONCLUSÕES

O uso do método Monte Carlo para análise de viabilidade econômica não determinística permitiu determinar os efeitos da incorporação da natureza estocástica das atividades silviculturais sobre a rentabilidade de projetos florestais envolvendo o cultivo do eucalipto. A inclusão de variáveis estocásticas permite incorporar o risco na análise econômica do fluxo de caixa resultante de um projeto florestal.

Os empreendimentos florestais apresentam viabilidade financeira, mas são muito sensíveis ao custo da terra. A intensa valorização observada nos últimos anos aumenta o risco de tais empreendimentos, levando à uma menor probabilidade de se obter retornos positivos. Como reflexo, observa-se uma migração da cultura do eucalipto para área de menor valor e conseqüentemente de menor produtividade. A mecanização se mostra como uma interessante alternativa para aumentar a segurança de um projeto florestal.

Certos elementos do fluxo de caixa carecem de melhores informações para se ter, de fato, um fluxo de caixa completamente não determinístico. Por exemplo, a variação nos custos dos insumos e combustíveis, o intervalo de variação da produção florestal no momento da colheita, o variável desempenho operacional das máquinas empregadas nas operações de preparo de solo, plantio e colheita etc.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos dois anônimos revisores pelas valiosas sugestões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO FILHO, A. J. B. V. *Análise econômica de projetos: "software" para situações determinísticas e de risco envolvendo simulação*. 1988. 127 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

BACHA, C. J. C. ; RODRIGUEZ, L. C. E. Viabilidade econômica do Projeto Tapajós. In: PEREIRA JUNIOR, R. (Org.). **Floresta Nacional de Tapajós: Experiências e Lições para a Implementação de Manejo Florestal em Unidade de Conservação**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006, p. 115-152.

BACHA, C. J. C.; RODRIGUEZ, L. C. E. Profitability and social impacts of reduced impact logging in the Tapajós National Forest, Brazil. A case study. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 63, n.1, p. 70-77, 2007.

BOLLEN, K. A.; LONG, J. S. **Testing structural equation models**. Newbury Park: Sage, 1993.

BOLOGNA, I. A.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; SILVA, E. A. A.; LINGNAU, C.; HIGA, A. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 373-385, 2008.

COELHO JUNIOR, 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.

EDWARDS, W. **Estimating farm machinery costs**. 2009. Disponível em: < <http://www.extension.iastate.edu/agdm/crops/html/a3-29.html> (text/html) >. Acesso em: 05 jun 2013

FARO, C. **Elementos de engenharia econômica**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1979. 328 p.

GONZÁLEZ, L. R. **Análise econômica de sistemas agroflorestais como alternativa para ovinocultores no sudoeste paulista**. 2014. 146 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

HESS, G.; MARQUES, J. L. M.; PAES, L. C. M. R.; PUCCINI, A. L. **Engenharia econômica**. São Paulo: DIFEL, 1985. 265 p.

HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000, 31 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 54).

IEA - INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Banco de dados**. 2013. Disponível em: < <http://www.iea.sp.gov.br/out/bancomedados.html> >. Acesso em: 10 mar. 2013.

LIMA JÚNIOR, V. B. **Determinação da taxa de desconto para uso na avaliação de projetos de investimentos florestais**. 1995. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

OLIVEIRA, A. D.; FERREIRA, T. C.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M., REZENDE, J. L. P. Avaliação econômica de plantios de *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 82-91, 2008.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: Editora UFV, 2001. 389 p.

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

SOARES, N. S.; SILVA, F. L.; SILVA, M. L.; SILVA JÚNIOR, A. G.; LÍRIO, V. S. Viabilidade da implantação de um contrato de comercialização futura da madeira de reflorestamento no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 307-314, 2007.

SOUZA, A. P.; SANTANA, R. C.; NOGUEIRA, G. S.; OLIVEIRA, M. R. L.; SOUZA, A. N. Avaliações econômicas de plantações de eucalipto no Alto Jequitinhonha, MG. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 5, n. 1, p. 19-25, 2012.

Recebido em 03/09/2015

Aceito para publicação em 01/07/2016