



JULIANA CARNEIRO GONÇALVES

**ANÁLISE DE RISCO APLICADA À
DETERMINAÇÃO DA ROTAÇÃO ECONÔMICA**

LAVRAS – MG

2014

JULIANA CARNEIRO GONÇALVES

**ANÁLISE DE RISCO APLICADA À DETERMINAÇÃO DA ROTAÇÃO
ECONÔMICA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Florestal, área de concentração em
Manejo Florestal, para a obtenção do
título de Mestre.

Orientador

Dr. Antônio Donizette de Oliveira

LAVRAS – MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Gonçalves, Juliana Carneiro.

Análise de risco aplicada à determinação da rotação econômica /
Juliana Carneiro Gonçalves. – Lavras : UFLA, 2014.
89 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.
Orientador: Antônio Donizette de Oliveira.
Bibliografia.

1. Economia florestal. 2. Biometria florestal. 3. Método de
Monte Carlo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.9

JULIANA CARNEIRO GONÇALVES

**ANÁLISE DE RISCO APLICADA À DETERMINAÇÃO DA ROTAÇÃO
ECONÔMICA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Florestal, área de concentração em
Manejo Florestal, para a obtenção do
título de Mestre.

APROVADA em 17 de fevereiro de 2014.

Dr. Lucas Resende Gomide

UFLA

Dr. Samuel de Pádua Chaves e Carvalho

FIBRIA CELULOSE S.A.

Dr. Antônio Donizette de Oliveira
Orientador

LAVRAS – MG

2014

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por todas as graças que Ele tem me concedido, pela minha vida, família e amigos. Obrigada, meu Deus!

Obrigada aos meus pais, pelo apoio e amor incondicional! Obrigada por estarem ao meu lado em todos os momentos, compartilhando comigo os momentos de alegria e dificuldade. Sem vocês tudo seria mais difícil.

Ao meu orientador, Professor Dr. Antônio Donizette de Oliveira, por me dar oportunidade de trabalhar com ele, pela paciência, pelo apoio e por fornecer todo o amparo necessário para realização dessa dissertação, o meu muito obrigado.

Gostaria de agradecer também ao meu irmão Junior, pelas conversas intermináveis, ao meu namorado Rafael, pelo apoio e carinho e aos meus grandes amigos Jayne, Aninha, Heitor e Cris, pelo companheirismo e cumplicidade. Obrigada por estarem presentes em todos os momentos cruciais dessa jornada.

Toda a minha gratidão ao meu querido amigo Samuel. Obrigada Sammy por me escutar, aconselhar, pela ajuda e disposição. Você foi fundamental nestes dois anos! Devo a você grande parte do meu trabalho!

A minha gratidão à empresa Fibria Celulose S.A., por conceder os dados utilizados neste trabalho.

O meu muito obrigado a todos os meus amigos e familiares e aos professores do LEMAF e DCF. O apoio e a presença de vocês fez toda a diferença.

RESUMO GERAL

Conduziu-se este trabalho, com o objetivo de determinar a rotação econômica de plantios monoclonais de eucalipto localizados em três diferentes sítios de produção, em condições de risco. O estudo foi realizado a partir dos dados de plantios monoclonais de eucalipto pertencentes à empresa Fibria Celulose S.A. Inicialmente, comparou-se o desempenho de dois modelos não lineares com o modelo linear de Clutter, para projeção do crescimento e da produção do volume de madeira. Os resultados demonstraram que o modelo Logístico (não linear) com a adição das covariáveis sítio e área basal apresentou maior acurácia que os outros modelos avaliados. Utilizando-se esse modelo, estimou-se o volume de madeira para as diferentes idades de corte da floresta que, juntamente com os custos de produção e o preço de venda da madeira, serviram para elaborar os fluxos de caixa a serem utilizados na determinação da rotação econômica. Para a análise de risco, utilizou-se o método de Monte Carlo, tendo como variável de saída (output) o Valor Presente Líquido Infinito (VPL_{∞}) e, como variáveis de entrada (fontes de incertezas), as distribuições de probabilidade referentes ao preço da terra e da madeira, o custo de colheita e transporte, a taxa de juros e a produção de madeira. Concluiu-se que a idade ótima de corte (rotação econômica) é de 6, 8 e 11 anos nos sítios I, II e III, respectivamente, ou seja, nos sítios mais produtivos (I e II) o corte deve ser feito em idades menores do que no sítio menos produtivo (III). O plantio de eucalipto nos sítios mais produtivos apresenta maior lucratividade e menor risco de obter resultados desfavoráveis do que o plantio no sítio menos produtivo.

Palavras –chave: Economia florestal. Biometria Florestal. Método de Monte Carlo.

GENREAL ABSTRACT

The objective of this work was to determine the economic rotations of monoclonal eucalyptus plantations located in three different production sites, under risk conditions. The study was conducted using the data from monoclonal eucalyptus plantations belonging to the Fibria Celulose S.A. company. Initially, we compared the performance of two non-linear models with the Clutter linear model for projecting the volume of wood growth and production. The results showed that the Logistic (non-linear) model with the addition of the site and base area covariates presented higher accuracy than the other evaluated models. Using this model, we estimated the volume of wood for the different cut ages of the forest which, along with the production costs and wood sale price, served to elaborate the cash flows to be used in determining the economic rotation. For the risk analysis we used the Monte Carlo method, using the Infinite Net Present Value (∞ NPV) as output variable and, as input variable, the probability distributions referent to land and wood price, cost of harvest and transportation, interest rate and wood production. We concluded that the optimum cut age (economic rotation) is of 6, 8 and 11 years at sites I, II and III, respectively, that is, in the most productive sites (I and II) the cut must be done at lower ages than in the least productive site (III). Eucalyptus plantation in the most productive sites presents higher profits and lower risk of obtaining unfavorable results than the plantation in the least productive site.

Keywords: Forest economy. Forest biometry. Monte Carlo method.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE		
1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Histórico da eucaliptocultura no Brasil	11
2.2	Crescimento e produção florestal	13
2.3	Rotação Florestal	16
2.4	Métodos de análise da viabilidade econômica	22
2.4.1	Critérios determinísticos de avaliação econômica	23
2.4.2	Critérios probabilísticos de avaliação econômica	27
2.4.2.1	Análise de Sensibilidade	32
2.4.1.1	Análise de Risco – Método de Monte Carlo	34
3	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	47
	ARTIGO 1 Comparação de modelos lineares e não lineares na prognose de povoamentos de eucalipto	47
	ARTIGO 2 Análise econômica da rotação florestal de povoamentos de eucalipto, em condições de risco	69

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro tem tido grande destaque na economia nacional, atraindo muitos investimentos em pesquisa e produção (REZENDE; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2005). Entre as espécies florestais utilizadas nesse setor destaca-se o eucalipto, que apresenta rápido crescimento, potencial para grande número de sortimentos e adaptabilidade a várias regiões do país.

O nome eucalipto deriva do grego: eu (bem) + kalipto (cobrir). Esse nome lhe foi dado, pelo formato de seu fruto que se caracteriza por apresentar uma “tampa” que protege suas sementes. O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e é nativo da Austrália, onde forma densos maciços florestais que cobrem cerca de 90% da área do país. Na Austrália, já foram catalogadas cerca de 670 espécies, das quais, somente duas, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus deglupta* têm registro natural em outro país. Além do elevado número de espécies, existe um grande número de variedades e híbridos (MARTINI, 2004). Sendo o gênero florestal com maior área plantada no Brasil, a definição da rotação florestal torna-se de suma importância. Segundo Resende et al. (2004) a rotação florestal corresponde à idade de corte de um povoamento e consiste em uma das fases mais importantes do planejamento e manejo florestal em que o principal objetivo do empreendimento é a maximização do lucro.

Leuschner (1984) cita que o foco principal do manejo de florestas equianas é a definição da rotação. Segundo o autor, a rotação florestal pode ser classificada de duas formas: rotação regulatória ou rotação de corte. A rotação regulatória é o intervalo de tempo necessário para que a floresta esteja regulada, enquanto que a rotação de corte representa a idade em que o povoamento deve ser cortado e / ou a empregada em uma função de produção, sendo que a rotação

de corte pode ser inferior, igual ou superior à rotação regulatória. Já, Rezende, Oliveira e Coelho Junior (2005) citam que os tipos de rotação mais conhecidos são a ecológica ou física, silvicultural, técnica, de máxima produtividade volumétrica e econômica. Esses autores afirmam que a definição da idade ótima é afetada diretamente por fatores técnicos como espaçamento, sítio, produto final desejado, entre outros e por fatores econômicos como preço da madeira, custos de produção, taxa de desconto utilizada, valor da terra e horizonte de planejamento. Além disso, podem ser citados outros fatores como incêndios, presença de pragas e doenças, eventos naturais, entre outros.

Na rotação econômica, o objetivo é maximizar o lucro. Segundo Rezende, Oliveira e Rodrigues (2005), esse tipo de rotação destaca-se dos demais por considerar o ponto de vista econômico-financeiro. Já, Scolforo e Hosokawa (1992) consideram que esse tipo de rotação é mais conveniente por considerar a taxa de juros, os custos e as dimensões das plantas.

Para determinar a rotação econômica de um povoamento florestal, é necessário estimar seu fluxo de caixa (custos e receitas que ocorrem ao longo do tempo). Contudo, esse fluxo de caixa futuro possui diversas incertezas, uma vez que nem todas as estimativas de custos e receitas são confiáveis. Segundo Laponi (2007), a incerteza está relacionada com o desvio do fluxo de caixa esperado do projeto, seja favorável ou desfavorável. Entre as causas mais prováveis dos desvios desfavoráveis do projeto está o erro de estimativa, sendo provocado pela falta de experiência, pela incorreta pesquisa de mercado, pelos custos e receitas menores ou maiores que os estimados, pela escolha inadequada da tecnologia, pela habilidade gerencial, pelo ambiente econômico, etc.

Uma forma de minimizar esse problema é por meio da utilização de métodos de análise que permitem mensurar essas incertezas, fornecendo não apenas um resultado, mas um conjunto de resultados, cada um associado a uma probabilidade de ocorrência. Segundo Mendes e Souza (2007), o grau de

incerteza a respeito de um evento pode ser chamado de risco, e a análise quantitativa do risco, usando a simulação de Monte Carlo, oferece ao usuário um método poderoso e preciso para abordar as várias incertezas associadas às atividades de um empreendimento.

Segundo Coelho Junior et al. (2008), a simulação de Monte Carlo vem sendo cada vez mais utilizada no setor florestal como ferramenta para análise quantitativa do risco, pois a produção florestal tem características de investimentos de médio a longo prazo que envolvem um alto capital imobilizado na implantação do projeto. Um exemplo da aplicação da simulação de Monte Carlo no setor florestal é o estudo de Silva (2011) que utilizou essa técnica para determinar a rotação econômica de plantios de candeia (*Eremanthus erythropappus*) em diversos espaçamentos, em condições de risco. Uma das conclusões foi que o plantio de candeia em espaçamentos maiores é mais lucrativo e tem menor risco de obter resultados desfavoráveis do que o plantio em espaçamentos menores.

Como grande parte das empresas buscam a maximização do retorno econômico e a sustentabilidade, existe a necessidade de um planejamento coerente (MELLO et al., 2005). Assim, o planejamento florestal pode apresentar inúmeros objetivos, no entanto, quando se prioriza o lado econômico, o investimento fundamenta-se em dois pontos: retorno financeiro e risco (VOLPI, 1997).

No cenário econômico mundial atual, onde a incerteza faz-se presente em todos os setores da economia, a possibilidade de avaliação de como o comportamento das variáveis pode afetar o resultado de projetos, torna-se determinante para o sucesso futuro da organização (CARDOSO; AMARAL, 2000).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, faz-se uma revisão literária sobre os principais temas abordados neste trabalho.

2.1 Histórico da eucaliptocultura no Brasil

Segundo Pereira et al. (2000), os primeiros relatos oficiais do gênero *Eucalyptus* no Brasil datam do início do século dezenove. Os primeiros exemplares de *Eucalyptus giganteae* teriam sido plantados em 1825, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro, sendo que até o início do século vinte, o eucalipto era plantado apenas com o objetivo de ornamentação ou como quebra-ventos, em razão de seu rápido crescimento.

Em 1903, Edmundo Navarro de Andrade foi contratado pela antiga Companhia Paulista de Estradas de Ferro, hoje Ferrovia Paulista S.A. (FEPASA), com a função de buscar espécies alternativas para a produção de lenha, utilizada nas locomotivas, e dormentes. Nesse ano, a Companhia Paulista de Estradas de Ferro instalou seu primeiro horto em Jundiaí – São Paulo. Foi nesse Horto que, em 1904, Navarro deu início a seus estudos, utilizando para tanto, todas as espécies florestais nativas e exóticas que ele conseguiu obter, dentre elas, algumas sementes de espécies de eucalipto que ele havia trazido de Coimbra (MARTINI, 2004).

Com menos de cinco anos e em terreno ruim, Navarro observou que existiam exemplares de eucalipto com altura superior a dezoito metros e diâmetro na base do tronco de quarenta centímetros, desenvolvimento muito superior às demais espécies. Além disso, ele também observou que as características físicas e químicas do eucalipto também eram muito favoráveis ao seu objetivo (MARTINI, 2004).

Segundo Martini (2004), a diretoria da Companhia Paulista de Estradas de Ferro autorizou a publicação do livro “*A cultura do Eucalyptus*” onde Navarro apresentou as observações de cinco anos de experiências. Esse livro teve como público alvo institutos do país e lavradores interessados no assunto. Assim, os lavradores que não encontravam outras fontes para reflorestarem suas terras, tendo como base os estudos de Navarro, utilizaram o eucalipto.

Martini (2004) chama a atenção para o fato de que a documentação dos hortos florestais da Companhia Paulista de Estradas de Ferro desapareceu. Os testemunhos que restaram do trabalho de Navarro foram o herbário, o Museu do Eucalipto (único do mundo), o patrimônio arquitetônico, o arboreto e as milhares de árvores plantadas em suas experiências.

Até 1966, haviam sido plantados 470 mil hectares de eucalipto no Brasil, dos quais 80% no estado de São Paulo. A partir de 1966, até 1986, com a Lei 5.106 de incentivos fiscais, foram plantados no país aproximadamente 3,2 milhões de hectares (PEREIRA et al., 2000). A atividade florestal foi ainda mais impulsionada na década de 60 pela criação de órgãos como o Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF) e o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), que logo após a sua criação, começaram a trabalhar em programas de reflorestamento com eucaliptos (CARNEIRO, 2004).

Segundo Carneiro (2004), com os incentivos fiscais e o crescimento da indústria florestal brasileira, a partir de 1979 o Brasil tornou autossuficiente em produção de celulose e papel e começou a exportar celulose.

Com o passar dos anos, inúmeros estudos foram surgindo com relação à introdução de novas espécies de eucalipto, à silvicultura, novos usos, rendimentos, características físicas e químicas, melhoramento genético, resistência a pragas e doenças, entre outros.

Embora ,em 1987, o governo tenha acabado com os incentivos fiscais à implantação de florestas em novas áreas e o Brasil enfrentava um aumento da

inflação, a tecnologia desenvolvida nesse período foi extremamente significativa e completamente absorvida pelas indústrias florestais (PEREIRA et al., 2000).

Carneiro (2004) afirma que, por volta de 1990, 24 anos após o início dos plantios florestais em escala comercial, a área florestal atingiu a marca de 6,5 milhões de hectares, ou seja, 16,25 vezes maior que em 1966.

Atualmente, o eucalipto é utilizado para as mais diversas finalidades como lenha, estacas, postes, moirões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel, chapas de fibras e partículas, laminação, madeira sólida, construção civil, produtos não madeireiros, etc. Esses múltiplos usos consolidaram o eucalipto como a espécie de maior área plantada no país.

2.2 Crescimento e produção florestal

Informações confiáveis do crescimento e da produção são de grande importância para um planejamento coerente das atividades a serem realizadas nos povoamentos florestais.

Em todo o ambiente florestal, é comum a estimativa direta de variáveis como diâmetro à altura do peito (DAP) e medidas indiretas como a altura das árvores quando medidas por meio de hipsômetros. No entanto, o interesse principal na maior parte das vezes é conhecer o estoque da floresta, medida esta, que é inviável de ser obtida com exatidão, já que seria necessária a cubagem de todo o povoamento.

Para tanto, quando há a necessidade de informações sobre essas variáveis de difícil mensuração, são utilizados modelos matemáticos, que, por meio de informações amostrais e relações entre variáveis de fácil mensuração, fornecem estimativas confiáveis dessas variáveis para toda a população.

Seguindo esse preceito, para a estimativa do volume, são utilizadas variáveis de fácil mensuração (quando comparadas ao mesmo) e que apresentem

com este alguma relação, assim como a altura (total ou comercial) das árvores e o DAP. O DAP é uma variável de fácil e rápida mensuração, sendo obtido diretamente em todas as árvores da amostra, no entanto, a altura não apresenta essa facilidade, sendo mensurada apenas parte das árvores que tiveram seus DAPs medidos e obtidas as outras alturas por meio de estimativas semelhantes às realizadas para volume, denominadas relações hipsométricas.

No entanto, conhecer o volume no tempo presente, muitas vezes não é o suficiente, sendo necessária a projeção desse volume para o tempo futuro, a fim de fornecer informações base para um correto planejamento. Mendonça (2010) afirma que a estimativa da produção florestal exerce influência direta no planejamento das empresas florestais, ao passo que essas estimativas, na maior parte das vezes, estão relacionadas à projeção do crescimento e da produção ao longo do horizonte de planejamento. Para o autor, a projeção da produção ao longo do tempo é de fundamental importância na correta determinação da rotação florestal, seja esta silvicultural, técnica ou econômica.

Segundo Zonete, Rodriguez e Packalén (2010), para o planejamento florestal são essenciais informações confiáveis do crescimento e da produção dos povoamentos. Em razão da dinamicidade dos ecossistemas florestais, os modelos de crescimento e produção são necessários para projetar as mudanças que incidem sobre esses ecossistemas e fornecer informações relevantes para auxiliar nas tomadas de decisões.

Berger et al. (2010) afirmam que a utilização de curvas de projeção na previsão do crescimento da floresta é indispensável ao planejamento. A projeção do crescimento serve, tanto ao planejamento da produção quanto ao planejamento silvicultural e ao ecológico.

O mesmo é afirmado por Hess e Schneider (2009). Segundo eles, a fim de tornar o manejo da floresta mais coerente, é necessário que haja o conhecimento da forma e da taxa de crescimento dos povoamentos florestais e,

quando possível, que os modelos contemplem variáveis ambientais. Como ferramenta de auxílio ao manejo, são utilizadas classificações de sítio e/ou de capacidade produtiva que são efetuadas com base em variáveis dendrométricas como incremento médio em volume e altura, área basal, volume, altura e mais comumente a altura dominante, em decorrência da sua alta correlação com a produção volumétrica e peso da madeira e também ao fato de sofrer pouca influência de variáveis como densidade e eventos como desbaste quando comparada às demais variáveis dendrométricas.

De acordo com Santana et al. (2009), as primeiras tabelas de produção com informações como volumes médios de povoamentos em idades e sítios variados, foram desenvolvidas no final do século XVIII na Alemanha. No entanto, os autores afirmam que a utilização de modelos matemáticos foi impulsionada por Buckman e Clutter que, em 1962 e 1963 respectivamente, explicitaram o reconhecimento de relações matemáticas envolvendo crescimento e produção de florestas.

Cruz et al. (2008) afirmam que existem inúmeros modelos de projeção do crescimento e produção consagrados na literatura, existindo a possibilidade de aplicação de muitos deles em diferentes espécies florestais. Os mesmos ajustaram e avaliaram dois modelos de crescimento e produção (modelo de Clutter e um modelo alternativo composto por um sistemas de equações) para plantios de teca (*Tectona grandis*), com idades inferiores a seis anos, localizados na região de Tangará da Serra, no estado do Mato Grosso. A qualidade do ajuste dos modelos foi avaliada por meio da análise de gráficos de dispersão, coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de variação (CV%). Os autores verificaram que para as áreas em questão o modelo alternativo se apresentou mais preciso do que o de Clutter.

Santana et al. (2005) desenvolveram em seu trabalho um sistema de equações a partir do modelo de Clutter objetivando a projeção volumétrica de

povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden conduzidos sob o regime de manejo “pulpwood”. Ao final de seu trabalho, os autores construíram uma tabela com informações de produção de área basal, volume total e comercial, para diferentes classes de sítio ao longo de 10 anos. Os mesmos concluíram que o sistema baseado no modelo de Clutter foi eficiente na estimativa da produção.

Vanclay e Skovsgaard (1996) atentam para o fato de que a validação e verificação dos modelos matemáticos de crescimento e produção são fundamentais na construção dos mesmos, sendo que a verificação e validação denotam, respectivamente, testes qualitativos e quantitativos do modelo.

Assim, os modelos matemáticos de crescimento e produção permitem a simulação de alternativas de manejo para diferentes sítios, idades e regimes de manejo. Além disso, fornecem informações importantes a empresas florestais, permitindo à empresa dimensionar áreas de plantio, adquirir ou vender madeira no mercado, programar aquisição de área, entre outros (BERGER et al., 2010).

2.3 Rotação Florestal

Segundo Resende et al. (2004), a rotação florestal nada mais é do que a idade de corte de um povoamento e consiste em uma das fases mais importantes do planejamento e manejo florestal, onde o principal objetivo do empreendimento é a maximização do lucro.

Para Jöbstl (2011), rotação florestal é o período de tempo médio de produção previsto para um empreendimento florestal e é considerado fator importante na sustentabilidade da floresta. A rotação determina, por exemplo, a dimensão da madeira produzida, o estoque de madeira em uma área e o sucesso econômico.

Segundo Leuschner (1984), a rotação florestal pode ser classificada de duas formas: rotação regulatória ou rotação de corte. Sendo a rotação regulatória

o intervalo de tempo necessário para que a floresta esteja regulada enquanto que a rotação de corte representa a idade em que o povoamento deve ser cortado e/ou a idade empregada em uma função de produção.

Segundo Rodriguez, Bueno e Rodrigues (1997) a definição da idade ótima ou rotação pode ser feita para um talhão ou para todo o povoamento. Sendo que, trabalhar com o povoamento, apresenta maior grau de dificuldade e maior volume de informações. Porém, a vantagem da definição da rotação em nível de povoamento, é a possibilidade do desenvolvimento do conceito de regulação florestal. Segundo Rodriguez (1997), a regulação florestal consiste em fazer com que, ao final de um ciclo, a floresta apresente todas as classes de idade, desde um ano à idade de corte, onde a razão é o intervalo entre as colheitas. De acordo com o autor, a regulação florestal promove a maximização do lucro.

Assim, a determinação da rotação florestal pode ser realizada de diversas formas. Para Rodriguez (1991), existem três métodos: maximização da produção anual média, obtido a partir do Incremento Médio Anual (IMA); determinação da maturidade financeira da produção florestal e método da maximização do valor presente líquido para horizonte de planejamento infinito (VPL_{∞}).

Contudo, Rezende, Oliveira e Rodrigues (2005) citam que os tipos de rotação mais conhecidos são: rotação ecológica ou física, silvicultural, técnica, de máxima produtividade volumétrica e econômica. Rezende (1984), citado por Silva (2001), define os três tipos de rotação consagrados na literatura.

- a) Rotação Silvicultural ou de Máximo Incremento Médio: corresponde ao período em que ocorre a maior produção volumétrica por unidade de tempo. É conhecida pelo ponto onde o Incremento Corrente Anual (ICA) se iguala ao Incremento Médio Anual;

- b) Rotação Econômica: corresponde ao ponto onde há maximização do lucro;
- c) Rotação Técnica: o corte da floresta ocorre quando a mesma atinge as características desejáveis, por exemplo: diâmetro, densidade, entre outros, atingindo certas restrições da indústria.

A rotação florestal deve então, ser determinada de acordo com os objetivos do investidor. Por exemplo, se o objetivo for a obtenção de maior produtividade, deve-se adotar a rotação de máximo incremento médio; se o objetivo é maximizar o lucro, opta-se pela rotação econômica (CAMPOS; ROSAS; LEITE, 1996).

Para Rezende, Oliveira e Rodrigues (2005), a rotação econômica se destaca das demais, pois considera o fator econômico-financeiro na sua determinação indicando como idade ótima a que maximiza o retorno do capital investido. Sendo o objetivo principal das empresas a maximização dos lucros, a rotação econômica é a mais indicada.

Rodriguez, Bueno e Rodrigues (1997) chamam a atenção para a não generalização da ideia de que rotações econômicas são sempre inferiores à rotações de máxima produtividade volumétrica.

Rezende e Oliveira (1994) chamam a atenção para o fato de que, para determinação da rotação florestal, cada projeto deva ser analisado individualmente, ou seja, os componentes dos custos e receitas envolvidos na produção de madeira são particulares a um projeto em questão, não existindo, assim, uma idade ótima comum para todos os povoamentos de dada espécie.

Rezende, Oliveira e Coelho Junior (2005) afirmam que a definição da idade ótima é afetada diretamente por fatores técnicos como espaçamento, sítio, produto final desejado, entre outros e por fatores econômicos como preço da madeira, custos de produção, taxa de desconto utilizada, valor da terra e

horizonte de planejamento. Além disso, podem-se citar outros fatores como incêndios, presença de pragas e doenças, eventos naturais, entre outros.

Rezende e Oliveira (1994) estudaram as interações entre as rotações de alto fuste e talhadia em povoamentos de eucalipto para vários horizontes de planejamento. Os resultados obtidos evidenciaram que quanto menor o horizonte de planejamento, mais longa tende a ser a rotação, ou seja, o horizonte de planejamento afeta diretamente a idade ótima de corte. Além disso, observaram que a idade ótima de corte do povoamento atual, independente do regime de manejo, influencia as idades ótimas de corte dos povoamentos anteriores e não dos povoamentos futuros, logo, o planejamento do ciclo produtivo tem que ser feito de forma precisa. Os autores também chamam a atenção para que a rotação fixa não seja adotada, pois a mesma apresenta incoerências teóricas e gera prejuízos econômicos.

Rezende e Oliveira (1994) analisaram a influência do custo da terra na definição da rotação florestal. Eles comparam a rotação ótima de um plantio de *Eucalyptus* spp. implantado no cerrado de Minas Gerais, considerando um horizonte de planejamento de um, três e infinitos cortes e uma taxa real de desconto de 8% a.a.. Os autores observaram que os incrementos nos custos da terra anteciparam a rotação nos três horizontes. Eles ainda afirmam que podem ocorrer duas situações distintas: em regiões de menos custo da terra, o efeito dessa variável é pequeno, o oposto é observado em regiões que apresentam elevado custo da terra.

Timofeiczky Júnior et al. (2008) em seus estudos, analisaram o efeito do custo da terra na viabilidade do manejo de baixo impacto nas florestas tropicais. Segundo os autores, o custo da terra apresenta grande influência na rentabilidade do manejo, sendo que o Valor Presente Líquido (VPL) mostrou-se muito sensível ao valor da terra, variando de -R\$ 10.993,50 a -R\$ 43.139,24, quando contabilizado o valor da terra. Quando retirado o valor da terra do investimento,

houve uma melhora significativa do VPL, que apresentou variação de R\$ 210,24 a R\$ 4.274,46.

Em seus estudos, Rezende, Oliveira e Coelho Junior (2005) observaram que os tributos cobrados desde a implantação à colheita da floresta, influenciam diretamente a rotação econômica. Os autores observaram que a idade ótima de corte do povoamento foi de sete anos, quando os tributos não foram considerados. Porém, quando os tributos foram considerados, a idade de corte foi de oito anos. Logo, a não incorporação dos tributos faz com que a idade de corte seja antecipada indevidamente.

Rezende e Oliveira (1994) determinaram em seu trabalho o efeito das variações no preço da madeira e no custo de exploração na rotação florestal de um plantio de *Eucalyptus* spp. implantado no cerrado de Minas Gerais. Os autores utilizaram o VPL para determinar a idade ótima de corte considerando um horizonte de planejamento de três cortes e taxa real de desconto de 8% a.a.. Foi observado que a taxa de juros e a taxa de crescimento do povoamento inter-relacionam-se diretamente com a rotação econômica, tanto para o preço da madeira quanto para o custo de exploração. Os autores ainda afirmam que variações no custo de exploração do autofuste não afetam a idade ótima de corte de brotações futuras, no entanto, variações no custo de exploração de uma brotação qualquer afeta a idade de corte do alto fuste e das brotações anteriores para um horizonte de planejamento finito. O mesmo não acontece para o horizonte de planejamento infinito. Os autores afirmam que, nesse caso, as variações no custo de exploração de um corte qualquer afetam todas as rotações econômicas, sejam essas posteriores ou anteriores ao corte em questão.

Penttinen (2006) cita que na Finlândia a idade de corte tem sido adiada, em razão das imposições legais que visam a garantir a sustentabilidade ecológica da floresta. Porém, estudos econômicos apontam perda de lucraividade, decorrente da colheita tardia exigida pelas normas. Em oposição, no Brasil,

conforme Ferreira et al. (2004), muitas empresas atualmente estão utilizando uma idade de corte inferior àquela determinada por indicadores econômicos, a fim de suprir sua demanda por madeira e equilibrar os custos. Ambas as opções fazem com que ocorra perda de lucratividade, já que qualquer empreendimento que busque a maximização do lucro deve obedecer à rotação econômica. Contudo, Ferreira et al. (2004) afirmam que os prejuízos são maiores quando a idade de corte é antecipada do que quando ela é realizada tardiamente.

Resende et al. (2004) testaram a utilização de um modelo de crescimento e produção para determinar a rotação em povoamentos de eucalipto que apresentavam diferentes índices de sítio. Eles comparam a rotações técnica e econômica dos plantios, utilizando como indicadores o Incremento Médio Anual (IMA) e o Valor Presente Líquido (VPL) respectivamente, com horizonte infinito, a fim de possibilitar a comparação de diferentes idades. Os autores observaram que as rotações apresentaram idades ótimas distintas entre si e que essas ainda diferiram quando houve variação do sítio, indicando que a adoção de uma rotação média por projeto pode levar a perdas significativas na receita.

Ferreira et al. (2004) utilizaram a rotação econômica para determinar a idade ótima de corte de plantios de eucalipto. Os autores utilizaram o Valor Presente Líquido (VPL) como indicador nas análises econômicas para verificar o prejuízo gerado quando o corte da floresta é realizado fora da idade ótima, para taxas de desconto iguais a 3%, 6%, 9% e 12% ao ano. Observou-se que o aumento da taxa de desconto provocou redução na idade ótima de corte dos plantios de eucalipto.

A rotação econômica juntamente com a rotação silvicultural, são as mais adotadas atualmente. Contudo, para que realmente haja maximização do lucro, tornam-se obrigatoriamente necessárias pesquisas que visem ao aumento de produtividade e à redução dos custos. Segundo Souza, Oliveira e Rezende (2002), a tendência do Setor Florestal Brasileiro é trabalhar na redução dos

custos, visto que o país já apresenta altos índices de produtividade e que qualquer ganho neste campo seria pequeno (principalmente em áreas de baixa produtividade).

Para a tomada de decisão do número de rotações por ciclo e a idade de corte em cada rotação, deve-se levar em consideração a produtividade da brotação, os custos da reforma e manutenções, os preços dos produtos obtidos em cada rotação e a taxa de juros utilizada. A adoção da reforma ou condução da brotação é influenciada diretamente pela demanda de produtos, disponibilidade de terra para novos plantios, avanços tecnológicos, entre outros (NOBRE; RODRIGUEZ, 2001).

Sendo assim, conhecer o comportamento dos custos em um empreendimento florestal é fundamental para a escolha entre a condução do povoamento ou a reforma do mesmo, onde os custos do povoamento vêm se modificando com o passar dos anos, em razão do processo tecnológico do setor (SOUZA; OLIVEIRA; REZENDE, 2002). Para tanto, é necessário que se conduza uma análise de viabilidade econômica para que se encontre a melhor alternativa de investimento para o capital.

2.4 Métodos de análise da viabilidade econômica

Os empreendimentos florestais caracterizam-se por apresentar um longo horizonte de planejamento, logo o retorno do capital investido dar-se-á em longo prazo. A viabilidade econômica do empreendimento está diretamente relacionada ao manejo adequado da floresta.

Um dos elementos que mais influenciam a tomada de decisão dos investidores florestais é, sem dúvida, o custo o que torna indispensável à análise econômica da influência desse fator no custo de produção, na rotação e na reforma de eucaliptais (REZENDE; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2005).

A avaliação econômica de projetos pode ser realizada utilizando métodos determinísticos e probabilísticos, onde métodos determinísticos têm como base de sua avaliação, o histórico da operação e a experiência de planejadores e operadores (AMARAL; BORGES; REI, 2009).

Assim, para as análises econômicas de projetos florestais, são consideradas as séries de custos e receitas presentes ao longo do horizonte de planejamento do projeto.

2.4.1 Critérios determinísticos de avaliação econômica

De acordo com Rezende e Oliveira (2008) métodos de avaliação de projetos podem ser divididos em métodos que não consideram a variação do valor do capital no tempo e métodos que consideram a variação do valor do capital no tempo. No primeiro caso, têm-se os indicadores: tempo de retorno do capital investido ou Pay-Back period (T) e Razão Receita/Custo (R). No segundo caso, os principais indicadores são: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Custo (ou Benefício) Periódico Equivalente (CPE ou BPE) e Custo Médio de Produção (CMPr). Esses autores afirmam que para análise econômica deve-se utilizar mais de um indicador, já que os indicadores fornecem informações específicas que devem ser levadas em consideração.

Rezende e Oliveira (2008) apresentaram as seguintes definições e indicações para esses indicadores:

Tempo de retorno do capital investido ou Pay-Back period (T): representa o tempo necessário para que o investimento seja recuperado. Para a comparação de projetos, o projeto que retornar primeiro o investimento é considerado como a melhor escolha. Contudo, esse indicador é mais indicado para avaliação de risco, não sendo muito utilizado para avaliação econômica,

pois não considera a variação do capital no tempo podendo apresentar resultados inconsistentes. Quanto mais próximo o T do final do horizonte de planejamento, maior é o risco.

Razão Receita/Custo (R): é a razão entre o valor presente das receitas e o valor presente dos custos. Representa qual é o ganho por unidade de capital investido. Esse indicador funciona da seguinte forma. Valores superiores a um, projeto viável economicamente. Caso contrário, o projeto será inviável. Não é indicado na comparação de projetos, pois não considera a variação do capital no tempo podendo apresentar resultados inconsistentes.

Valor Presente Líquido (VPL): representa o fluxo de caixa do projeto descontado para o ano zero. Para VPL positivo, projeto viável; para VPL negativo, projeto inviável economicamente. VPL igual a zero indica que a taxa de desconto é igual à taxa mínima de atratividade (TMA), logo não há criação nem destruição de valor para o investidor.

Taxa Interna de Retorno: é a taxa que iguala o VPL a zero. Um projeto é interessante economicamente se a sua TIR for superior à taxa mínima de atratividade. Contudo, a TIR só pode ser considerada como a rentabilidade do capital investido, se, após o término do projeto, os recursos por ele liberados forem aplicados a uma taxa igual à TIR. A TIR pode ser utilizada na comparação de projetos, porém, quando os projetos apresentam custos de investimentos diferentes, e o projeto de menor investimento apresentar maior TIR, deve-se realizar o cálculo do investimento incremental. Assim, o projeto que apresentar maior TIR é o projeto mais viável economicamente. Assim como o Pay-Back (T), esse indicador é mais utilizado na avaliação de risco do que na avaliação de projetos. Quanto mais próximos os valores da TIR e da TMA, maior é o risco do projeto.

Benefício (Custo) Periódico Equivalente (B(C)PE) ou Valor Anual Equivalente (VAE): é uma série de parcelas constantes pagas, em um período de

tempo similar ao do projeto, que totalizam um valor igual ao VPL. Esse indicador é amplamente utilizado na comparação de projetos por ser um indicador não tendencioso. Para $B(C)PE$ maior que zero, projeto viável, caso contrário, inviável.

Custo Médio de produção (CMPr): nada mais é do que o custo por unidade produzida, sendo o resultado da razão entre o Custo Total no momento zero e a Produção Equivalente também no ano zero. Esse indicador não é utilizado na comparação de projetos quando os mesmos apresentam produtos finais diferentes.

Valor Esperado da Terra (VET): não é considerado como critério de avaliação de projetos. Apesar disso, é muito utilizado no setor florestal na determinação da rotação e para a comparação de projetos. Um investimento será considerado viável economicamente se o VET for superior ao valor da terra que será usada para a implementação do projeto.

Silva e Fontes (2005) ,em seu trabalho, propuseram-se a discutir três métodos de avaliação econômica: VET (Valor Esperado da Terra), VPL_{∞} (Valor Presente Líquido infinito - série perpetua) e VAE (Valor Anual Equivalente). Segundo os autores, os indicadores VAE e VPL_{∞} conduzem ao mesmo resultado, são não tendenciosos, sendo indicados para comparar projetos de diferentes durações. O VET também pode ser utilizado na comparação de projetos, porém para que um projeto seja viável de acordo com esse indicador, o seu valor deve ser superior ao valor da terra e não maior que zero. Os autores ainda chamam a atenção para comparações equivocadas entre VPL_{∞} e VET. Segundo eles, quando na análise econômica considera-se o custo da terra, o resultado obtido é VPL e não o VET.

Rezende, Oliveira e Rodrigues (2005) discutiram em seus estudos o Método de Faustmann e ou VET. Os autores comparam os resultados obtidos pelo VET com os resultados obtidos pelo VPL em um horizonte de

planejamento infinito (VPL_{∞}). Em ambos os casos foi considerado apenas um corte da floresta. Eles observaram que para qualquer taxa de desconto, o VET foi sempre superior ao VPL_{∞} . Isso se deve ao fato de o VPL_{∞} considerar em seu fluxo de caixa o valor da terra. No entanto, os autores chamam a atenção que a suposição de que a terra tem valor apenas para a produção de madeira, implícita na metodologia de Faustmann, não tem consistência teórica nem prática. Em outras palavras, não há razão para se determinar o valor da terra se não há outro uso alternativo, logo seu custo de oportunidade é zero e o valor produtivo da terra não é o único valor na formação de seu preço. Os autores ainda afirmam que a metodologia de Faustmann não contempla os outros fatores que afetam o preço da terra, como, por exemplo, os efeitos especulativos, a terra como valor de proteção, a proteção contra inflação e a conferência de status, entre outros. Ao final, os autores concluem que o VET indica quanto pode ser gasto em qualquer fator de custo deixado fora do cálculo do VPL.

Malinovski et al. (2006) utilizaram como critério de avaliação econômica o Valor Presente Líquido (VPL) para comparar 4 alternativas de investimentos: plantio de bracatinga, erva-mate, eucalipto e pinus para um horizonte de planejamento comum de 21 anos. Os autores concluíram que a erva-mate é a melhor opção sendo a cultura de maior VPL.

Embora os métodos determinísticos apresentem vantagens como implementação direta e fácil interpretação de resultados, esses métodos não consideram a natureza estocástica da operação do sistema, o que pode levar a resultados muito conservativos ou de baixa significância (AMARAL; BORGES; REI, 2009).

Cardoso e Amaral (2000) afirmam que uma forma de contornar essa deficiência é a avaliação por métodos que permitam a mensuração da incerteza, proporcionando aos gestores não um único valor, o qual, na maior parte das

vezes, não é preciso, mas sim um conjunto de valores, cada um associado a uma probabilidade de ocorrência.

Minardi (2000) cita como exemplos de métodos probabilísticos a análise de cenários, a árvore de decisão e a simulação de Monte Carlo. Os métodos probabilísticos, que se baseiam na teoria de probabilidades e estatística, consideram em sua avaliação o comportamento aleatório do sistema e possibilitam o cálculo de índices de confiabilidade, ou seja, estimativas do risco associado ao sistema (AMARAL; BORGES; REI, 2009). A seguir, uma breve revisão sobre essas técnicas.

2.4.2 Critérios probabilísticos de avaliação econômica

O atual crescimento do setor florestal brasileiro na economia nacional tem merecido destaque. Além disso, é evidente em todo o mundo o crescente interesse nas atividades florestais por parte de inúmeras organizações e investidores (NOCE et al., 2005).

Segundo Coelho Junior et al. (2008), a globalização da economia é responsável pela maior preocupação com os riscos e as incertezas dos empreendimentos, pois há maior dinamismo entre as estratégias e as atividades de produção, envolvendo também questões políticas, econômicas e sociais.

Para Holec e Hanewinkel (2006), incerteza é quando não se sabe qual a probabilidade de um evento ocorrer e risco está ligado a uma probabilidade de ocorrência conhecida, é um perigo expresso quantitativamente em termos de probabilidade.

De acordo com Volpi (1997), uma situação de risco ocorre quando o tomador de decisões pode estimar as probabilidades relativas a várias características e resultados. A observação de dados históricos, muitas vezes definem distribuições de probabilidade exatas para algumas variáveis. Incerteza

corresponde à situação onde o tomador de decisão não possui informações históricas sobre as variáveis e precisa fazer estimativas aceitáveis.

Segundo Noce et al. (2005), a correta determinação do risco/retorno dos produtos florestais favorece a alocação futura de investimentos no setor, tornando o setor competitivo para a captação de recursos.

Quando na ausência de risco de eventos destrutivos, a idade de corte da floresta é a determinada pela rotação econômica calculada por meio dos indicadores tradicionais. Contudo, Coates e Kuhl (2003) afirmam que problemas de engenharia econômica, onde todas as variáveis são determinísticas, são na verdade, a exceção. Informações como o custo de novas máquinas ou o valor atual de impostos são de fácil obtenção, porém informações como fluxos de caixa reais, valor residual de equipamentos, taxa de juros e a duração de um projeto, não são informações conhecidas com exatidão.

Assim, por menor que o risco seja, ele está presente em qualquer situação e deve ser levado em consideração (LOISEL, 2011). Entretanto, muitas vezes, durante a elaboração de projetos, inúmeras decisões são tomadas na presença de incertezas (ODA; GRAÇA; LEME, 2001).

Nos empreendimentos florestais, o risco e a incerteza derivam de diversos fatores, dos quais, grande parte não é cabível de controle por parte da administração da empresa. Embora todos os fatores de variação sejam eliminados, ainda permanece a variação aleatória causada pelos fatores inerentes ao processo. Parte desses fatores é referente à empresa, sendo passível de controle, o que provoca a redução do risco. Pode-se citar como exemplo desses fatores a modificação da tecnologia empregada, que pode provocar alteração dos custos; a taxa de desconto utilizada no planejamento; erros de estimativas de produtividade, sítios, etc.; a possibilidade de mudança da estratégia utilizada, como adoção de outra idade de corte; a alteração da política da empresa, como expansão da planta industrial e a alteração da demanda de produtos, em

decorrência da presença de novos concorrentes ou produtos complementares. No entanto, fatores como o comportamento do mercado nacional e internacional; alteração de política governamental e diminuição da produção decorrentes, por exemplo, das variações climáticas, aparecimento de pragas, incêndios, entre outros, são fatores inerentes ao sistema, os quais, não são passíveis de controle, sendo os principais responsáveis pela geração de risco (VOLPI, 1997).

Além disso, a produção de madeira não é um evento determinístico, mas sim probabilístico e os projetos florestais se caracterizam como investimentos de médio e longo prazo e envolvem grande imobilização de capital na sua implantação (COELHO JUNIOR et al., 2008).

Guedes et al. (2011) afirmam que essas incertezas obstruem, de certa forma, o processo de tomada de decisão, influenciando, diretamente, o planejamento florestal que necessita que essas incertezas sejam minimizadas. A fim de diminuir a incerteza e o risco, deve-se utilizar análises que contemplem todos os possíveis cenários das variáveis na produção florestal (COELHO JUNIOR et al., 2008).

Segundo Oda, Graça e Leme (2001) a análise de risco apresenta diversas finalidades que servem bem a esse propósito. Primeiro, a análise de risco identifica o valor médio esperado para a implementação do plano. Segundo, realiza uma análise de variância, ou seja, fornece a probabilidade de que o retorno do investimento seja superior ou inferior ao valor médio identificado no primeiro passo. Terceiro, identificam quais as variáveis que apresentam maior influência no resultado encontrado, tornando possível o controle da variância dessas variáveis. E, finalmente, evidencia quais os riscos intrínsecos ao investimento, ou seja, aquelas variáveis que não se tem controle.

Coelho Junior et al. (2008) citam que as variáveis taxa de juros, preço da terra, preço da madeira, custo de colheita, custo de transporte e custo de implantação são as variáveis que possivelmente mais influenciam na viabilidade

de empreendimentos florestais. Kallio (2010) ressalta que, além da incerteza nos dados, ao longo do horizonte de planejamento o ambiente operacional sofrerá mudanças que devem ser levadas em consideração no momento inicial de avaliação do projeto.

Segundo Kallio (2010), os preços dos produtos da indústria florestal apresentam alta imprevisibilidade no mercado mundial, sendo uma importante fonte de variação nos modelos. Knoke e Wurm (2006) afirmam que o preço da madeira pode variar drasticamente com o tempo. Assim, qualquer projeção deve considerar possíveis mudanças nos mercados mundiais. Contudo, essas incertezas geralmente não são abordadas em análises econômicas.

Além disso, Kumbhakar (2002) destaca que outro fator que deveria ser levado em consideração na quantificação dos riscos é o comportamento do investidor. Porém, esse fator é complexo de ser mensurado já que existem apenas algumas poucas funções matemáticas que descrevem analiticamente a atitude dos investidores em relação ao risco.

Sniedovich (2007) enfatiza a importância dos trabalhos que utilizam a modelagem matemática. Segundo o autor, a tomada de decisão na presença de incerteza é grave e a utilização de modelos matemáticos reduz essas incertezas.

Contudo, os modelos utilizados para análises econômicas no setor florestal tendem a apresentar milhares de parâmetros, sendo que grande parte desses, não apresentam valores exatos ou não são conhecidos. Logo, nessas situações, devem-se utilizar estimativas de peritos ou valores obtidos por meio de intervalos de confiança (KALLIO, 2010).

Em relação à escolha da taxa de juros a ser utilizada na análise de risco, Hacura, Jamadus-Hacura e Kotot (2001) citam que existem basicamente duas escolas de pensamento. Uma escola afirma que a taxa de desconto mais apropriada à avaliação de projetos por meio da simulação de Monte Carlo é a taxa de juros livre, a mesma utilizada em análises determinísticas. Para os

seguidores desta linha de pensamento, a utilização de qualquer outra taxa de juros estaria pré-julgando os riscos do projeto. Em contrapartida, a outra escola defende que a taxa de desconto deve conter um prêmio para o risco sistemático, ou seja, para o risco do mercado, e não para o risco não sistemático, risco do projeto. Na opinião dos autores, a taxa de desconto mais apropriada é a utilizada na avaliação determinística. Assim, o valor esperado da distribuição de probabilidade do VPL de um projeto, deve ser similar ao seu valor de VPL obtido com a avaliação determinística.

O mesmo é defendido por Price (2011). O autor cita que os governos do Reino Unido e da França estão começando a autorizar o declínio das taxas de desconto para o setor florestal, em razão do longo horizonte de planejamento. Porém, se a alteração da taxa de desconto ocorre em decorrência das mudanças esperadas das circunstâncias, a sequência ideal de rotações permanecerá como foi inicialmente determinado. No entanto, se a alteração ocorre em razão apenas da perspectiva de tempo especial da geração atual, as rotações deverão ser revistas no futuro. Isso conduzirá a uma sequência de rotações semelhantes a que for considerada ótima à taxa de desconto corrente de curto-prazo, o que tornaria desnecessário o declínio da taxa de desconto.

Buscando minimizar a incerteza e o risco, as análises de sensibilidade de forma geral, analisam o efeito da variação de uma variável de cada vez, ou a combinação simples entre as variáveis, determinando a influência das mesmas na viabilidade econômica (COELHO JUNIOR et al., 2008). Essa análise possibilita ao investidor maior segurança na tomada de decisão.

Entretanto, deve-se atentar ao fato de que a administração dos riscos não garante o controle dos eventos determinísticos (ODA; GRAÇA; LEME, 2001). A aplicação da razão na incerteza contribui para a melhoria da capacidade de avaliação de investimentos. A compreensão da incerteza e do risco é

fundamental para o aproveitamento de boas oportunidades (PÉRISSE; PEPE, 2006).

2.4.2.1 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade não é, na verdade, uma análise de risco, mas sim, de incerteza. Guedes et al. (2011) afirmam que no setor florestal a análise de sensibilidade é muito utilizada por possibilitar a obtenção de informações sobre variáveis pouco conhecidas.

Segundo Oda, Graça e Leme (2001); Coelho Junior et al. (2008) essa análise possibilita a observação da influência que uma variável exerce nos resultados do projeto, sendo esta a forma mais simples de análise de risco, devendo ser feita apenas para as variáveis às quais o projeto apresenta maior sensibilidade, a fim de reduzir o volume de cálculos.

Coates e Kuhl (2003) citam que dentre as formas de abordagem do risco econômico, uma delas é a análise de sensibilidade utilizando cenários. A utilização de cenários permite a análise do efeito conjunto das variáveis, pois realiza a combinação das variáveis nos diferentes cenários, fazendo com que essa análise, apresente valores mais próximos do real (ODA; GRAÇA; LEME, 2001).

Geralmente, são testados três cenários: o cenário otimista, o mais provável e o pessimista. Contudo, pelo número reduzido de cenários, essa análise também é indicada para projetos mais simples e/ou com poucos fatores de risco relacionados.

Oliveira, Scolforo e Silveira (2009) avaliaram a viabilidade econômica de um sistema agrosilvipastoril com eucalipto visando à produção de madeira para serraria e energia. Para tanto, foi utilizado como critério de viabilidade econômica o Valor Presente Líquido (VPL). Foram simulados cenários para as

variáveis taxa de desconto; valor da terra; preços da madeira, do boi gordo, do arroz e da soja; produtividades da madeira, do arroz e da soja; proporção da tora que é aproveitável para serraria e para energia e para os custos de produção que influenciam a viabilidade econômica do sistema. Os autores observaram que quando o sistema apresenta taxas de desconto superiores a 11,45% ano, preço da terra acima de US\$ 200.90 por hectare, produtividade do eucalipto inferior a 20,86 st/ha.ano; preço da arroba de boi menor que US\$ 16.75; preço da madeira para serraria abaixo de US\$ 5.24/st; preços do saco de soja menor que US\$ 6,34 e de arroz inferior a US\$ 5,96 e aumento de mais de 5,38%, simultaneamente, em todos os custos de produção, o VPL fica negativo, logo, nesse cenário, o sistema não é viável economicamente.

Assim, a análise de sensibilidade possibilita ao tomador de decisão maior segurança quanto a sua escolha por fornecer uma análise mais realista do projeto, ao passo que define intervalos de confiança para as variáveis analisadas e sua importância relativa. Entretanto, a análise de sensibilidade não fornece a probabilidade de ocorrência de cada valor dentro do intervalo e analisa o efeito das variáveis isoladamente, o que dificulta a visualização de relações de interdependência entre as variáveis, sendo indicada para avaliação do risco de projetos simples e/ou com poucos fatores de risco relacionados (ODA; GRAÇA; LEME, 2001).

Buscando contornar essa deficiência nas avaliações, utiliza-se o método de Monte Carlo. Há alguns anos, a utilização do método de Monte Carlo era limitada, em decorrência do grande tempo computacional requerido no processamento dos dados, o que não ocorre atualmente. Périssé e Pepe (2006) destacam que o uso do método de Monte Carlo vem sendo amplamente utilizado na atualidade graças à diminuição do tempo computacional requerido para processar as informações.

2.4.1.1 Análise de Risco – Método de Monte Carlo

Buscando a diminuição do risco na tomada de decisões, o uso do método de Monte Carlo se destaca na literatura. Esse método é aplicado em situações em que há uma distribuição de probabilidades das variáveis escolhidas capaz de ser captada por uma representação probabilística (COELHO JUNIOR et al., 2008).

Hildebrandt e Knoke (2009) afirmam que reconhecer a presença de incertezas é um requisito fundamental para a gestão de projetos. A maximização dos piores resultados de um indicador financeiro, que tem como base os parâmetros média e variância, possibilita a diminuição da incerteza na tomada de decisão. Esse princípio é utilizado pelo método de Monte Carlo.

O método de Monte Carlo é superior à análise de sensibilidade, pois incorpora todas as possíveis combinações entre as variáveis, considerando as probabilidades de ocorrência de cada valor e a associação entre as variáveis. Logo, para a correta avaliação do risco, é necessário grande conhecimento sobre as incertezas e interdependências das variáveis envolvidas no projeto (ODA; GRAÇA; LEME, 2001).

Conforme Oda, Graça e Leme (2001), a avaliação de riscos pelo método de Monte Carlo proporciona uma redução na margem de segurança que é usualmente embutida nas taxas de juros, o que possibilita ao investidor que ele se concentre apenas na administração de risco de seus negócios, já que ele pode recorrer aos instrumentos de proteção disponíveis no mercado, a fim de minimizar o risco financeiro do projeto.

Coates e Kuhl (2003) afirmam que a simulação de Monte Carlo consiste em um método prático de obtenção da distribuição do VPL a partir de inúmeras variáveis de entrada aleatórias e determinísticas. Sendo o resultado do método de Monte Carlo a incorporação nos modelos financeiros aproximações das distribuições de probabilidade dos parâmetros avaliados (PÉRISSE; PEPE, 2006).

Périsse e Pepe (2006) afirmam que o método realiza simulações, onde em cada simulação, são gerados valores aleatórios para as variáveis de entrada e para os parâmetros do modelo que estão sujeitos a incertezas.

O termo simulação denomina qualquer método analítico que tem por objetivo imitar um sistema real, principalmente quando outras formas de análise são de difícil aplicação. Em uma análise onde não é feita simulação o resultado corresponde ao valor mais provável, ou a um cenário médio, acarretando divergências entre os valores orçados e os valores reais (CARDOSO; AMARAL, 2000).

Assim, Monte Carlo é um método de simulação de amostragem artificial com a capacidade de resolução de problemas complexos de natureza probabilística. O método é frequentemente citado como um processo *hit-or-miss*, onde um gerador de números aleatórios gera simulações individuais. É um método muito aplicado em casos onde existe um grande número de fatores que tornam a solução analítica impraticável (PULIDO; JACOBS; LIMA, 1992), sendo indicado para a avaliação de risco de grandes projetos e de projetos que envolvem um grande número de variáveis inter-relacionadas.

A análise de Monte Carlo, segundo Hacura, Jamadus-Hacura e Kotot (2001), consta de sete passos. O primeiro passo é a construção do modelo conceitual para o problema, que se caracteriza por ser um modelo de previsão que define as relações matemáticas entre as variáveis numéricas relacionadas com a previsão do futuro. Em um fluxo de caixa simples, por exemplo, o modelo de simulação seria basicamente: $Fluxo\ de\ caixa = (receitas - custos) * (1 - taxa\ de\ juros) + depreciação$. No segundo passo, há a seleção de variáveis-chave do projeto para as quais são determinadas as distribuições de probabilidade. O terceiro passo consiste na verificação e validação do modelo. A verificação identifica se o modelo é livre de erros lógicos e o processo de validação verifica se os dados e as distribuições de probabilidade realmente representam o sistema

modelado. No quarto passo, são aleatoriamente elaborados os cenários com base no conjunto de suposição. O quinto passo é a análise dos resultados. O resultado obtido com a análise de risco é apresentado em uma distribuição de probabilidade de todos os possíveis retornos do projeto. A decisão de investir ou não no projeto é em função do VPL ser positivo ou negativo, respectivamente. O sexto passo é o cálculo do coeficiente de variação, obtido pela razão entre o desvio padrão dos possíveis valores de VPL e o valor esperado. Assim, para valores de VPL positivos, quanto menor o coeficiente de variação, menor é o risco do projeto. Finalmente, a sétima etapa é a avaliação da probabilidade de um resultado de VPL negativo. Geralmente, o projeto é considerado de baixo risco quando a probabilidade de VPL negativos é inferior a 20%. Os autores ainda comentam que dificilmente uma distribuição de VPLs será tão clara quanto à fornecida pelo Método de Monte Carlo.

Os resultados obtidos nas simulações são fundamentais para maior segurança na tomada de decisão. Na gestão de empreendimentos não existem dúvidas de que o conhecimento da probabilidade de ocorrência de todos os possíveis retornos garante que a informação disponível seja usada com eficácia (PÉRISSE; PEPE, 2006).

O método de Monte Carlo apresenta ainda duas outras formas de saída. O Diagrama de Tornado (Figura 1-a) e a Curva S ou Curva de Distribuição Acumulada de Probabilidades (Figura 1-b). O Diagrama de Tornado é apresentado em forma de um gráfico que possibilita clara visualização dos fatores que mais influenciam na viabilidade do projeto, permitindo a identificação das variáveis sobre as quais se deve concentrar o esforço de análise a fim de reduzir custos e prazos do projeto. A Curva S apresenta tanto as probabilidades de valores negativos quanto aos possíveis ganhos com o projeto (ODA; GRAÇA; LEME, 2001).

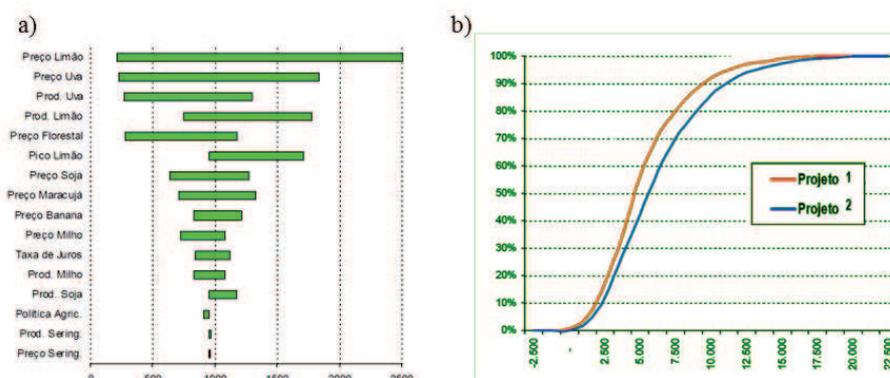


Figura 1 Exemplos de saída fornecidas pela análise de Monte Carlo. a) Diagrama de Tornado; b) Curva S

Fonte: (Adaptado de ODA; GRAÇA; LEME, 2001).

O método de Monte Carlo está presente em inúmeros trabalhos na literatura, sendo aplicado nas mais diversas áreas. Guedes et al. (2011) analisaram a viabilidade econômica da reforma e da condução da brotação de povoamentos de eucalipto em condições determinísticas e de risco. O critério utilizado para análise foi o Valor Presente Líquido (VPL) e o risco foi avaliado pelo método de Monte Carlo. Por meio da análise de Monte Carlo, os autores observaram que a reforma e a talhadia foram viáveis economicamente em todas as situações analisadas, caracterizando o investimento como de baixo risco e possibilitando maior segurança na tomada de decisão.

Podem-se citar outros como exemplo, os trabalhos de Palmer et al. (1998), McKenney et al. (2004), Castro et al. (2007), Mercer et al. (2007), Yates et al. (2007), L'Ecuyer (2009), Beinhofer (2010), Kallio (2010), Higo e Dowaki (2010) e Yen, Waters e Hamilton (2010).

Cardoso e Amaral (2000) afirmam que embora a inclusão da relação entre as variáveis no modelo do projeto seja considerada como uma tarefa relativamente simples a especificação dos limites inferiores e superiores das

probabilidades e a definição do tipo de distribuição daquela variável específica apresenta certo grau de dificuldade. A dificuldade do método consiste, então, em estimar as relações existentes entre as variáveis, definir as distribuições de probabilidades que melhor representem cada variável e em interpretar a saída dos dados.

No cenário mundial atual, onde a incerteza faz-se presente em todos os setores da economia, a possibilidade de avaliar como o comportamento das variáveis pode afetar o resultado de projetos torna-se determinante para o sucesso futuro da organização. O método de Monte Carlo possibilita a melhoria da tomada de decisão frente às incertezas (CARDOSO; AMARAL, 2000).

3 CONCLUSÃO

No artigo 1, concluiu-se que a inclusão das covariáveis sítio e área basal no modelo Logístico foi eficaz, tendo melhorado significativamente a qualidade de sua previsão volumétrica, que foi superior a do modelo de Clutter e do modelo logístico na sua forma original de ajuste. Concluiu-se, também que, com base nas informações do incremento médio anual, a rotação silvicultural do povoamento está compatível com a realidade do crescimento das florestas de eucalipto, indicando que a inclusão das covariáveis sítio e área basal no modelo Logístico propiciaram estimativas volumétricas precisas e confiáveis. Assim, considera-se que esse modelo tem grande potencial de aplicação sendo recomendada sua utilização em outros trabalhos.

Já, no artigo 2, as conclusões foram que a idade ótima de corte (rotação econômica) é de 6, 8 e 11 anos nos sítios I, II e III, respectivamente, ou seja, nos sítios mais produtivos (I e II) o corte deve ser feito em idades menores do que no sítios menos produtivo (III); os plantios nos sítios mais produtivos são mais lucrativos e apresentam menos risco de inviabilidade econômica que os plantios no sítio menos produtivo.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, T. S.; BORGES, C. L. T.; REI, A. M. Avaliação da confiabilidade composta sob o enfoque do bem estar utilizando simulação Monte Carlo não-sequencial. **Sba: controle & automação sociedade brasileira de automática**. Natal, v. 20, n. 2, p. 164-176, abr./jun. 2009.
- BARROS, A. D.; MOCCELIN, J. Análise da flutuação do gargalo em flow shop permutacional com tempos de setup assimétricos e dependentes da sequência. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 101-108, jan./abr. 2004.
- BEINHOFER, B. Comparing the financial performance of traditionally managed beech and oak stands with roomy established and pruned stands. **European Journal of Forest Research**, New York, v. 129, n. 2, p. 175-187, Mar. 2010.
- BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2010.
- CAMPOS, J. C. C.; ROSAS, M. P.; LEITE, H. G. Comparação de alternativas de determinação da idade técnica de corte em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 37-49, 1996.
- CARDOSO, D.; AMARAL, H. F. O uso da simulação de Monte Carlo na elaboração do fluxo de caixa empresarial: Uma proposta para quantificação das incertezas ambientais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 20., 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ENEGEP, 2000. 1 CD-ROM.
- CARNEIRO, E. J. A evolução histórica dos usos das condições naturais em Minas Gerais. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA, 2., 2004, Indaiatuba. **Anais...** Indaiatuba: ANPPAS, 2004. p. 1-21. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT16/gt16_eder_jurandir.pdf>. Acesso em: 25 set. 2012.
- CARVALHO, S. D. P. C. et al. Modelos não lineares generalizados aplicados na predição da área basal e volume de *Eucalyptus* clonal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 541-548, out./dez. 2011.
- CASTRO, R. R. et al. Rentabilidade econômica e risco na produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 353-359, out./dez. 2007.

COATES, E. R.; KUHL, M. E. Using simulation software to solve engineering economy problems. **Computers & Industrial Engineering**, New York, v. 45, n. 2, p. 285-294, Apr. 2003.

COELHO JÚNIOR, L. et al. Análise de investimento de um sistema agroflorestal sob situação de risco. **Revista Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 368-378, out./dez. 2008.

CRUZ, J. D. et al. Modelos de crescimento e produção para plantios comerciais jovens de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 821-828, set./out. 2008.

FERREIRA, T. C. et al. Rotação econômica de plantios de *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose. **Revista Cerne**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 222-241, jul./dez. 2004.

GUEDES, I. C. L. et al. Economic analysis of replacement regeneration and coppice regeneration in eucalyptus stands under risk conditions. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 393-401, jul./set. 2011.

HACURA, A.; JADAMUS-HACURA, M.; KOCOT, A. Risk analysis in investment appraisal based on the Monte Carlo simulation technique. **European Physical Journal B**, New York, v. 20, n. 4, p. 551-553, Apr. 2001.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três locais do Rio Grande do Sul. **Revista Ambiência**, Guarapuava, v. 5, n. 2, p. 213-232, maio/ago. 2009.

HIGO, M.; DOWAKI, K. A Life Cycle Analysis on a Bio-DME production system considering the species of biomass feedstock in Japan and Papua New Guinea. **Applied Energy**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 58-67, Jan. 2010.

HILDEBRANDT, P.; KNOKE, T. Optimizing the shares of native tree species in forest plantations with biased financial parameters. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 68, n. 11, p. 2825-2833, Sept. 2009.

HOLECY, J.; HANEWINKEL, M. A forest management risk insurance model and its application to coniferous stands in southwest Germany. **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 161-174, Mar. 2006.

JOEBSTL, H. A. Do altered prices and logging costs for logs of small diameters affect the optimum rotation of Norway spruce in mountainous regions? **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 13, n. 4, p. 266-272, Apr. 2011.

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, Jan. 2010.

KNOKE, T.; WURM, J. Mixed forests and a flexible harvest policy: a problem for conventional risk analysis? **European Journal of Forest Research**, New York, v. 125, n. 3, p. 303-315, June 2006.

KUMBHAKAR, S. C. Specification and estimation of production risk, risk preferences and technical efficiency. **American Journal of Agricultural Economics**, New York, v. 84, n. 1, p. 8-22, Feb. 2002.

LAPPONI, J. C. **Projetos de investimentos na empresa**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

L'ECUYER, P. Quasi-Monte Carlo methods with applications in finance. **Finance and Stochastics**, New York, v. 13, n. 3, p. 307-349, Sept. 2009.

LEUSCHNER, W. A. **Introduction to forest resources management**. New York: John Wiley & Sons, 1984.

LOISEL, P. Faustmann rotation and population dynamics in the presence of a risk of destructive events. **Journal of Forest Economics**, Amsterdam, v. 17, n. 3, p. 235-247, Aug. 2011.

MALINOVSKI, R. A. et al. Viabilidade econômica de reflorestamentos em áreas limítrofes de pequenas propriedades rurais no município de São José dos Pinhais-PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, p. 261-274, maio/ago. 2006.

MARTINI, A. J. **O plantador de eucaliptos: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade**. 2004. 332 p. Dissertação (Mestrado em História Social) -Departamento de História, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MCKENNEY, D. W. et al. Cost estimates for carbon sequestration from fast growing poplar plantations in Canada. **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 6, n. 3, p. 345-358, June 2004.

MELLO, A. A. et al. Planejamento florestal visando à maximização dos lucros e a manutenção do estoque de carbono. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 205-217, jul./set. 2005.

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

MENDONÇA, A. R. **Modelagem não linear do crescimento e da produção de plantações florestais**. 2010. 96 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

MERCER, D. E. et al. Evaluating alternative prescribed burning policies to reduce net economic damages from wildfire. **American Journal of Agricultural Economics**, New York, v. 89, n. 1, p. 63-77, Feb. 2007.

MINARDI, A. M. A. F. Teoria de opções aplicada a projetos de investimento. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 74-79, Apr./June 2000.

NOBRE, S. R.; RODRIGUEZ, L. C. E. Um método para composição e avaliação econômica de regimes de talhadia simples. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 60, p. 29-44, dez. 2001.

NOCE, R. et al. Análise de risco e retorno do setor florestal: produtos da madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 77-84, jan./fev. 2005.

ODA, A. L.; GRAÇA, C. T.; LEME, M. Análise de riscos de projetos agropecuários: um exemplo de como fundamentar a escolha entre projetos alternativos e excludentes. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ECONOMIA E GESTÃO DE REDES AGROALIMENTARES, 4., 2001, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: FEA, 2001. Disponível em: <http://150.164.18.2/pub/lupercio/management/sem_0716.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2012.

OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S.; SILVEIRA, V. P. Análise econômica de um sistema agro-silvo-pastorial com eucalipto implantado em região de cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 1-19, 2009.

PALMER, H. et al. An economic evaluation of alternative genetic improvement strategies for farm woodland trees. **Forestry**, Oxford, v. 71, n. 4, p. 333-347, Dec. 1998.

PENTTINEN, M. J. Impact of stochastic price and growth processes on optimal rotation age. **European Journal of Forest Research**, New York, v. 125, n. 4, p. 335-343, Oct. 2006.

PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. (Embrapa Florestas, Documentos 38).

PÉRISSE, M. C.; PEPE, M. L. Una aplicación del método de Monte Carlo en el análisis de riesgo de proyectos: su automatización a través de una planilla de cálculo. **Revista Técnica Administrativa**, Buenos Aires, v. 5, n. 4, Oct/Dic. 2006. Disponível em: <<http://www.cyta.com.ar/ta0504/v5n4a5.htm>>. Acesso em: 25 set. 2012.

PULIDO, J.; JACOBS, T.; LIMA, E. Structural reliability using Monte-Carlo simulation with variance reduction techniques on elastic-plastic structures. **Computers & structures**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 419-430, May 1992.

PRICE, C. Optimal rotation with declining discount rate. **Journal of Forest Economics**, Amsterdam, v. 17, n. 3, p. 307-318, Aug. 2011.

RANGEL, C. L. **Análise de risco com a simulação de Monte Carlo**. 2002. 63 p. Monografia (Trabalho em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2002.

RESENDE, R. R. et al. Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 219-225, mar./abr. 2004.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: Editora da UFV, 2008.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. Relações entre a idade de corte e o horizonte de planejamento, em povoamentos de eucalipto. **Revista Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 95-107, 1994.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D.; COELHO JUNIOR, L. M. Infinite planning horizon, land opportunity cost and Faustmann methodology. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 101-112, abr./jun. 2005.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D.; RODRIGUES, C. Efeito dos tributos no custo de produção, na rotação e na reforma de *Eucalyptus* spp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 70-83, jan./mar. 2005.

RODRIGUEZ, L. C. E. Um critério de decisão para reforma ou condução de eucaliptais que considera a distância de transporte. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 11, n. 30, p. 47-50, May 1997.

RODRIGUEZ, L. C. E.; BUENO, A. R. S.; RODRIGUES, F. Rotações de eucaliptos mais longas: análise volumétrica e econômica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 1, n. 51, p. 15-28, June 1997.

RODRIGUEZ, L. C. E. Gerenciamento da produção florestal. **Documentos Florestais**, Piracicaba, v. 13, n. 1, p. 1-41, May 1991.

SANTANA, C. et al. Sistema de equações para simulação do crescimento e da produção em povoamentos de *Eucalyptus grandis* hill ex maiden. sem desbaste baseado no modelo de Clutter. **Revista Ambiência**, Guarapuava, v. 1, n. 2, p. 239-256, jul./dez. 2009.

SCOLFORO, J. R. S.; HOSOKAWA, R. T. Avaliação da rotação econômica para *Pinus caribaea hondurensis* sujeito a desbastes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 43-58, jan./fev. 1992.

SILVA, C. S. J. **Análise econômica da produção de madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) em plantios**. 2011. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SILVA, G. F. **Problemas no uso de programação matemática e simulação em regulação florestal**. 2001. 100 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra (VET). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 931-936, nov./dez. 2005.

SNIEDOVICH, M. The art and science of modeling decision-making under severe uncertainty. **Decision Making in Manufacturing and Services**, Krakow, v. 1, n. 1-2, p. 111-136, May 2007.

SOUZA, Á. N.; OLIVEIRA, A. D.; REZENDE, J. L. P. Estudo do momento ótimo de reforma para povoamentos de *Eucalyptus* spp - o caso da redução dos custos. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 123-133, jun. 2002.

SOUZA, J. L. M. **Modelo para a análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro**. 2001. 253 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

TIMOFEICZYK JÚNIOR, R. et al. Rentabilidade econômica do manejo de baixo impacto em florestas tropicais: um estudo de caso. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 711-725, out./dez. 2008.

VANCLAY, J. K.; SKOVSGAARD, J. P. Evaluating forest growth models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 98, n. 1, p. 1-12, May 1997.

VOLPI, N. M. P. **O impacto de perturbações estocásticas em um modelo de planejamento florestal**. 1997. 250 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

YATES, C. et al. The economic viability and potential of a novel poultry agroforestry system. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 69, n. 1, p. 13-28, Jan. 2007.

YEN, J. D. L.; WATERS, E. K.; HAMILTON, A. J. Cocoa pod borer (*Conopomorpha cramerella* Snellen) in Papua New Guinea: biosecurity models for New Ireland and the autonomous region of Bougainville. **Risk Analysis**, Gemma Alvarez, v. 30, n. 2, p. 293-309, Feb. 2010.

ZONETE, F.; RODRIGUEZ, L. C. E.; PACKALÉN, P. Estimación de parâmetros biométricos de plantios clonais de eucalipto no sul da Bahia: uma aplicação da tecnologia laser aerotransportada. **Scientia forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 225-235, June 2010.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS**ARTIGO 1 Comparação de modelos lineares e não lineares na prognose de povoamentos de eucalipto**

Juliana Carneiro Gonçalves¹, Antônio Donizette de Oliveira², Samuel de Pádua Chaves e Carvalho³; Lucas Rezende Gomide⁴

(Preparado de acordo com as diretrizes da Revista Floresta e Ambiente)

¹ Engenheira Florestal, Mestranda em Engenharia Florestal – Departamento de Ciências Florestais – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx.P.3037 - 37.200-000 – Lavras, MG – jujacarneiro@gmail.com

² Engenheiro Florestal, Professor Dr. em Engenharia Florestal – Departamento de Ciências Florestais – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx.P.3037 - 37.200-000 – Lavras, MG – donizete@dcf.ufla.br

³ Engenheiro Florestal, Dr. em Recursos Florestais — samuel.carvalho@fibria.com.br

⁴ Engenheiro Florestal, Professor Dr. em Engenharia Florestal – Departamento de Ciências Florestais – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx.P.3037 - 37.200-000 – Lavras, MG – lucasgomide@dcf.ufla.br

Comparação de modelos lineares e não lineares na prognose de povoamentos de eucalipto

RESUMO: Neste trabalho, objetivou-se, comparar o desempenho de dois modelos não lineares com o modelo linear de Clutter para a projeção do crescimento e da produção do volume de madeira em povoamentos monoclonais de eucalipto no Espírito Santo, Brasil. Para avaliar a qualidade dos ajustes e comparar os modelos foi utilizado o Erro padrão da média em porcentagem, os Critérios de Informação de Akaike e de Informação Bayesiano, complementados pela análise gráfica dos resíduos padronizados. Concluiu-se que a inclusão das covariáveis sítio e área basal no modelo Logístico foi eficaz, tendo melhorado significativamente a qualidade de sua previsão volumétrica, que foi superior a do modelo de Clutter e do modelo logístico na sua forma original de ajuste. Com base nas informações do incremento médio anual, a rotação silvicultural do povoamento está compatível com a realidade do crescimento das florestas de eucalipto, indicando que a inclusão das covariáveis sítio e área basal no modelo Logístico propiciaram estimativas volumétricas precisas e confiáveis. Assim, considera-se que esse modelo tem grande potencial de aplicação sendo recomendada sua utilização em outros trabalhos.

Palavras Chave: Sítio; Manejo Florestal; Biometria Florestal.

Comparison of linear and nonlinear models in the prognosis of eucalyptus plantations

ABSTRACT: This study aimed to compare the performance of two non-linear models with the linear model Clutter projection of growth and production of wood volume in monoclonal eucalyptus plantations in Espírito Santo, Brazil. To assess the quality of the settings and compare models mean standard error in percentage, the Akaike Information Criterion and Bayesian information, complemented by graphical analysis of standardized residuals was used. It was concluded that the inclusion of covariates website and basal area in the logistic model was effective, and significantly improved the quality of its volume forecast, which was higher than the Clutter and logistic model in its original form-fitting style. Based on information from the mean annual increment, the silvicultural rotation of the stand is compatible with the reality of growing eucalyptus forests, indicating that the inclusion of covariates website and basal area in the logistic model have provided accurate and reliable volumetric estimates. Thus, it is considered that this model has great potential for application being recommended its use in other works.

Keywords: Site; Forest Management; Forest Biometrics.

1 INTRODUÇÃO

Para o planejamento florestal, são essenciais informações realistas do crescimento e da produção dos povoamentos. Em razão da dinamicidade dos ecossistemas florestais, os modelos de crescimento e produção são necessários para projetar as mudanças que incidem sobre esses ecossistemas e fornecer informações relevantes para auxiliar nas tomadas de decisões (ZONETE et al.; 2010). Berger et al. (2010) afirmam que a utilização de curvas de projeção na previsão do crescimento da floresta serve simultaneamente ao planejamento da produção, ao silvicultural e ao ecológico.

Hess & Schneider (2009) afirmam que, a fim de tornar o manejo da floresta mais coerente, é necessário que haja o conhecimento da forma e da taxa de crescimento dos povoamentos florestais e, quando possível, que os modelos matemáticos utilizados com esse objetivo contemplem variáveis ambientais. Como ferramenta de auxílio ao manejo são utilizadas classificações de sítio e/ou de capacidade produtiva que são efetuadas com base em variáveis dendrométricas como incremento médio em volume e altura, área basal, volume, altura e mais comumente a altura dominante, pela sua alta correlação com a produção volumétrica e peso da madeira e também pelo fato de sofrer pouca influência de variáveis como densidade e eventos como desbaste.

Assim, os modelos matemáticos de crescimento e produção permitem a simulação de alternativas de manejo para diferentes sítios, idades e regimes de manejo. Além disso, fornecem informações importantes às empresas florestais, permitindo às mesmas dimensionar áreas de plantio, adquirir ou vender madeira no mercado, programar aquisição de área, entre outros (BERGER et al.; 2010). Segundo Carvalho et al. (2011), o objetivo da modelagem é a descrição o mais precisa possível da realidade.

Nesse contexto, são inúmeros os modelos de crescimento e produção empregados no meio florestal. Ferrari et al.(2005) citam o sucesso da utilização

do método de regressões sucessivas na prognose da produção de povoamentos de eucalipto e enfatizam as vantagens de se adotar modelos não lineares de prognose como o modelo de Chapman Richards. Segundo os autores, esse modelo tem aplicação nas mais diversas áreas onde se tem o objetivo de representar processos sigmoidais. Dentro do grupo de modelos de forma sigmoidal, outro modelo de destaque é o modelo Logístico.

Entretanto, mesmo que os modelos de forma sigmoidal apresentem maior potencial de aplicação, Dias et al. (2005) afirmam que ainda hoje, o modelo de prognose da produção em nível de povoamento utilizado com maior frequência na literatura e no ambiente empresarial é o modelo de Clutter (1963). Segundo Oliveira et al (2009) , o modelo de Clutter (1963), um dos modelos mais difundidos no país, foi originalmente ajustado para uma floresta de pinus nos Estados Unidos, entretanto, é utilizado no Brasil com algumas alterações na forma original, realizadas para uma determinada condição. O próprio autor do modelo já afirmava que o modelo definido naquele momento, não seria adequado a todas as espécies e/ou alternativas de manejo.

Sendo assim, neste trabalho, objetivou -se: comparar o ajuste de três modelos de crescimento e produção (modelo de Clutter, modelo Logístico e uma variação do modelo Logístico); determinar qual dos três modelos se ajustou melhor ao comportamento dos dados e proporcionou melhores resultados e estimativas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização e análise dos dados

Para desenvolvimento do presente estudo, foram obtidos dados provenientes do Inventário Florestal junto à empresa Fibria Celulose S.A., regional Aracruz, com sede no município de Aracruz, Espírito Santo, Brasil. A temperatura média da região é de 28°C e precipitação anual média de 1.200mm. Os tipos de solo predominantes na região são o Latossolo Vermelho Amarelo

Distrófico e Podzólico Vermelho Amarelo (PREFEITURA MUNICIPAL DE ARACRUZ, 2013).

Foram utilizados dados de plantios de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* históricos e ativos que se encontravam a partir do segundo ciclo, com referência em dezembro de 2012, contabilizando um total de 6.391 parcelas distribuídas em 198 projetos e/ou fazendas, considerando apenas áreas de alto fuste e implantação sob gestão da empresa.

2.2 Preparação da base de dados

Optou-se por trabalhar com base de ativos e históricos em nível de parcela para fins de garantir a robustez dos modelos ajustados. No entanto, a fim de melhorar a qualidade do ajuste, foi feita uma preparação prévia da base de dados, em que foram retiradas da base parcelas que não apresentavam remedições; parcelas de plantios efetuados antes de 2002; parcelas com idade inferior a 2 anos e/ou superior a 8 anos; parcelas que apresentavam altura dominante, volume e/ou área basal na idade 2 menores que na idade 1; parcelas com número de fustes menores que 900 e maiores que 1500; parcelas com número de árvores na segunda medição inferiores a 30% e/ou superiores a 20% e por fim, parcelas com espaçamentos diferentes de 3,0 x 3,0. Após a aplicação dos filtros, a base de dados resultantes ficou composta de 2.680 parcelas.

2.3 Classificação de sítio

Para construção das curvas índice de sítio foi utilizado o métodos de ajustes de curvas polimórficas com idade de referência de 5 anos. Assim, a classificação de sítio foi realizada em três etapas, descritas a seguir

- 1) Ajuste de um modelo geral: Primeiramente, foi ajustado o modelo de Schumacher linearizado (1) para toda a base de dados consistida, com os dados distribuídos em parcela, idade e altura dominante. Este modelo serviu

como base de comparação da qualidade dos ajustes posteriores, ou seja, os parâmetros dos ajustes sequentes deveriam estar próximos aos estimados neste primeiro ajuste.

$$\text{Ln}(Hd_i) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{I_i} \right) \pm \varepsilon_i \quad (1)$$

Em que: Hd_i = altura dominante da i -ésima parcela;

I_i = idade da medição da i -ésima parcela;

β_i = parâmetros do modelo

ε_i = erro aleatório da i -ésima parcela.

2) Projeção da altura dominante: Nesta etapa, foi ajustado o modelo de projeção da altura dominante onde foi necessário o rearranjo da base de dados, ou seja, as remedições das parcelas foram pareadas de forma a fornecer os dados necessários para o ajuste do modelo de projeção do crescimento em altura dominante (4). Para tanto o rearranjo foi feito conforme passos descritos a seguir:

Primeiramente isolou-se o β_1 no modelo 1:

$$\beta_1 = (\text{Ln}(Hd_1) - \beta_0) I_1 \pm \varepsilon_i \quad (2)$$

Considerando o modelo de estimativa de altura dominante na idade 2 dado por:

$$\text{Ln}(Hd_{2_i}) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{I_{2_i}} \right) \quad (3)$$

Substituindo 2 em 3:

$$\text{Ln}(Hd_{2_i}) = \beta_0 + \text{Ln}(\text{Ln}(Hd_{1_i}) - \beta_0) \frac{I_{1_i}}{I_{2_i}} \pm \varepsilon_i \quad (4)$$

Em que: Hd_2 = altura dominante na idade 2 da i -ésima parcela;

Hd_1 = altura dominante na idade 1 da i-ésima parcela;

I_1 = idade da primeira medição da i-ésima parcela;

I_2 = idade da remedição da i-ésima parcela.

Assim, considerou-se o parâmetro β_0 constante e o parâmetro β_1 como parâmetro específico do sítio, ou seja, optou-se pela construção de curvas polimórficas. Segundo Scolforo (2006) as curvas polimórficas não apresentam proporcionalidade entre as classes, podendo não se cruzar, o que faz com que a taxa de crescimento relativa em altura seja dependente dos fatores do sítio.

3) Classificação de sítio

Nesta etapa foram selecionadas apenas as últimas medições realizadas com idade superior a 4 e inferior a 6 anos e feita a projeção da altura dominante das mesmas para a idade de referência. Para tanto foi utilizado o ajuste obtido na equação 4 e substituiu-se na equação 4 a idade 2 pela idade de referência de 5 anos como pode ser observado a seguir:

$$\text{Ln}(Hd_{2_i}) = \beta_0 + \text{Ln}\left(\text{Ln}(Hd_{1_i}) - \beta_0\right) \frac{I_1}{5} \quad (5)$$

Posteriormente foi verificada a amplitude de variação das projeções na idade de referência, criando-se 3 classes de sítio (I = boa, II = média e III = ruim) e definidos os limites superiores e inferiores de cada classe. A partir da definição dos limites de cada classe, foi definida a classificação de sítio das últimas medições de cada parcela e esta foi extrapolada para as outras medições da parcela. Para todas as análises foi utilizado o software R versão 2.15.1.

2.4 Modelos prognósticos em área basal

Com o objetivo de testar a qualidade do ajuste dos modelos não lineares de prognose de volume, faz-se necessário obter a prognose da área basal para os modelos onde se tem como *input* a área basal na idade 2. Assim, foram testados dois diferentes modelos não lineares de crescimento e produção em área basal,

propostos por Mendonça (2010). Em ambos os modelos de projeção de área basal optou-se por inserir o sítio a fim de contemplar o efeito do potencial produtivo do local. A compatibilidade dos modelos também foi verificada e confirmada pelo autor, sendo os dois modelos desenvolvidos considerados compatíveis. Os Modelos I e II são apresentados a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Modelo I:} \quad G_{2_i} &= G_{1_i} + (\beta_{00} + \beta_{01}S_i) \frac{\left(-e^{-(\beta_{10} + \beta_{11}S_i)I_{2_i}} (\beta_{10} + \beta_{11}S_i) I_{2_i} - e^{-(\beta_{10} + \beta_{11}S_i)I_{2_i}} \right)}{(\beta_{10} + \beta_{11}S_i)^2} \\ &+ \frac{\left(e^{-(\beta_{10} + \beta_{11}S_i)I_{1_i}} (\beta_{10} + \beta_{11}S_i) I_{1_i} + e^{-(\beta_{10} + \beta_{11}S_i)I_{1_i}} \right)}{(\beta_{10} + \beta_{11}S_i)^2} + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{Modelo II:} \quad G_2 &= G_1 + \frac{\left[-(\beta_{00} + \beta_{01}S_i)I_{2_i}e^{-(\beta_{00} + \beta_{01}S_i)I_{2_i}} - e^{-(\beta_{00} + \beta_{01}S_i)I_{2_i}} + e^{-(\beta_{00} + \beta_{01}S_i)I_{2_i}} (\beta_{10} + \beta_{11}S_i) \right]}{(\beta_{00} + \beta_{01}S_i)} \\ &+ \frac{\left[(\beta_{00} + \beta_{01}S_i)I_{1_i}e^{-(\beta_{00} + \beta_{01}S_i)I_{1_i}} + e^{-(\beta_{00} + \beta_{01}S_i)I_{1_i}} - e^{-(\beta_{00} + \beta_{01}S_i)I_{1_i}} (\beta_{10} + \beta_{11}S_i) \right]}{(\beta_{00} + \beta_{01}S_i)} + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (7)$$

Em que: G_1 = área basal na idade 1 da i -ésima parcela;

G_2 = área basal na idade 2 da i -ésima parcela;

S = índice de sítio da i -ésima parcela;

β_{ii} = parâmetros do modelo.

Os ajustes dos modelos foram realizados no software estatístico R versão 2.15.1. A qualidade de ajuste dos modelos foi avaliada por meio do Erro padrão da média em porcentagem (S_{xy} %), Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano (BIC), além de análise gráfica dos resíduos padronizados.

2.5 Modelos de crescimento e produção volumétricos

Visando obter a estimativa do volume, foram testados três diferentes modelos. O Modelo A é conhecido como modelo Logístico (8).

$$V_{2_i} = \frac{\beta_0}{1 + e^{\left\{ \frac{(\beta_1 - I_{2_i})}{\beta_2} \right\}}} + \varepsilon_i \quad (8)$$

Em que: V_2 = volume na idade de prognose da i -ésima parcela.

Segundo Carvalho et al. (2011) o modelo Logístico além de descrever o comportamento biológico dos dados de crescimento em função da idade, diferentemente de modelos lineares, permite a obtenção dos parâmetros iniciais do modelo por meio da interpretação biológica dos mesmos, onde, o β_0 representa a assíntota horizontal superior, ou seja, o máximo valor de (V_2 no tempo I_2); β_1 representa o ponto de inflexão da curva (volume x idade), ou seja, $\beta_0/2$; e β_2 é a escala, ou seja, é a diferença entre as idades onde a produção atingir aproximadamente 73% (73% de β_0) e a idade no ponto de inflexão (idade em β_1 ou $\beta_0/2$).

O segundo modelo ajustado foi descrito por Mendonça (2010). Assim, o Modelo B é uma variação do Modelo A, onde o autor incorporou ao modelo Logístico as variáveis índice de sítio (S) e área basal do povoamento (G) a fim de explicar a variabilidade nos dados e consequentemente melhorar a qualidade do ajuste, resultando na Equação 9.

$$V_{2_i} = \frac{\beta_{00} + \beta_{01}S_i}{1 + e^{\left\{ \frac{[(\beta_{10} + \beta_{11}G_{2_i}) - I_{2_i}]}{\beta_2} \right\}}} + \varepsilon_i \quad (9)$$

O Modelo C é o modelo de Clutter (10). A utilização do modelo de Clutter para prognose do crescimento e produção é consagrada na literatura, e o mesmo utiliza os valores estimados de crescimento e produção em área basal, dado por:

$$\ln(V_{2_i}) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{S_i} \right) + \beta_2 \left(\frac{1}{I_{2_i}} \right) + \beta_3 \left(\frac{I_{1_i}}{I_{2_i}} \right) \ln(G_{1_i}) + \beta_4 \left(1 - \frac{I_{1_i}}{I_{2_i}} \right) + \beta_5 \left(1 - \frac{I_{1_i}}{I_{2_i}} \right) S_i + \varepsilon_i \quad (10)$$

Em que: Ln = logaritmo neperiano.

Os ajustes dos modelos foram realizados no software R versão 2.15.1. A qualidade de ajuste dos modelos foi avaliada por meio das seguintes medidas de precisão: Erro padrão da média em porcentagem ($S_{xy}\%$), Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano (BIC), além de análise gráfica dos resíduos padronizados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Classificação de sitio

A Tabela 1 apresenta os resultados provenientes dos ajustes das Equações 1 e 4. Analisando os resultados observa-se que o parâmetro β_0 proveniente do ajuste da Equação 4 não apresentou grande variação quando comparado ao mesmo parâmetro resultante do ajuste da Equação 1, como era desejado e o erro padrão em porcentagem apresentado foi de 9,26%. Além disso, observa-se que todos os parâmetros foram significativos ao nível de 5% de significância.

Tabela 1. Resultados provenientes do ajuste das Equações 1 e 4 para estimativa da altura dominante.

Table 1. Results from the fit of Equations 1 and 4 to estimate dominant height.

Parâmetros	Estimativas	P – valor
Equação 1		
β_0	3,60	<2e-16
β_1	-1,86	<2e-16
Equação 4		
β_0	3,63	<2e-16

A amplitude de variação da altura dominante na idade de cinco anos possibilitou a geração de três classes de sítio conforme Tabela 2.

Tabela 2. Limites das classes de sítio.

Table 2. Boundaries of the site classes.

Classes	Limite Inferior	Limite Superior	Centro de classe/Índice de sítio
I	27,0	31,5	29,25
II	22,5	27,0	24,75
III	18,0	22,5	20,25

Segundo Soares et al. (2004) a utilização do índice de sítio é uma variável importante ao manejador, ao passo que o permite avaliar diferentes alternativas de manejo quando associadas a um modelo de crescimento e produção.

A Figura 1 apresenta as curvas de índice de sítio e a distribuição das parcelas ao longo das curvas. Nota-se que as alturas dominantes observadas encontram-se em sua maioria no sítio II.

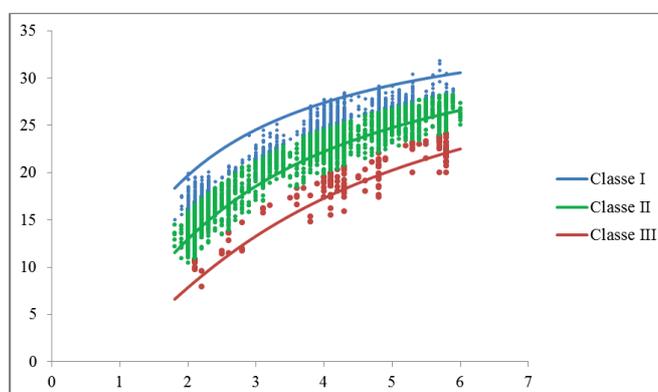


Figura 1. Curvas de índice de sítio para plantios monoclonais de eucalipto em Aracruz, Espírito Santo.

Figure 1. Site index curves for monoclonal eucalyptus plantations in Aracruz, Espírito Santo.

3.2 Análise dos modelos ajustados para estimativa do crescimento e da produção em área basal

Observa-se que todos os parâmetros resultantes do ajuste dos dois modelos foram significativos ao nível de 5% de significância (Tabela 3). Segundo Mendonça (2010), se for considerado apenas esse critério, os modelos podem ser considerados adequados para prognose da área basal dos povoamentos monoclonais de eucalipto analisados, em outras palavras, os parâmetros de ambos os modelos analisados explicam o comportamento dos dados de forma significativa, o que não garante a qualidade da previsão.

Tabela 3. Parâmetros encontrados após o ajuste dos modelos de projeção da área basal.

Table 3. Parameters found after adjustment of the projection models of basal area002E

Parâmetros	Estimativas	Erro Padrão	P – valor
Modelo I			
β_{00}	0,9956	0,0022	< 2E-16
$\beta_{01}(S)^*$	0,0001	0,0001	0,0462
β_{10}	0,2491	0,0263	< 2E-16
$\beta_{11}(S)^*$	-0,0070	0,0009	6,10E-14
Modelo II			
β_{00}	-0,2275	0,0400	1,33E-08
$\beta_{01}(S)^*$	0,0223	0,0014	< 2E-16
β_{10}	17,1363	1,1864	< 2E-16
$\beta_{11}(S)^*$	-1,0475	0,0460	< 2E-16

*Covariante associada.

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises estatísticas dos modelos de prognose da área basal. Observa-se que quando comparados os Modelos I e II, o Modelo II apresentou melhor desempenho em todas as estatísticas. As

estatísticas AIC e BIC demonstram que ajuste do Modelo II proporcionou redução significativa das mesmas, indicando maior parcimônia.

Assim como em Mendonça (2010) o Modelo II apresentou melhores resultados de erro padrão do que Modelo I. No trabalho do autor, o ajuste do Modelo II proporcionou um erro padrão de 5,60% enquanto que no presente trabalho o erro padrão foi de 4,86%, sendo considerado como baixo.

Tabela 4. Estatísticas apresentadas pelos modelos de crescimento e produção em área basal.

Table 4. Statistics presented by the models of growth and yield in basal area.

Modelos	S_{xy} (%)	AIC	BIC
Modelo I	8,67	26.602,75	26.637,26
Modelo II	4,86	18.105,42	18.139,93

A Figura 2 apresenta a distribuição dos resíduos padronizados dos modelos para projeção da área basal. Observa-se que em ambos os Modelos a maior parte dos resíduos encontram-se concentrados na faixa de ± 5 desvios.

Quando observada a distribuição residual padrão, é notável a superioridade do Modelo II. Observa-se que a distribuição residual proporcionada pelo ajuste do Modelo I apresenta indícios de presença de tendência e heterocedasticidade, em outras palavras, os resíduos apresentam autocorrelação, enquanto que a distribuição do Modelo II encontra-se mais homogênea, tendo maior presença de erros no intervalo de 13 a 24m²ha⁻¹ com uma pequena tendência de subestimação. Segundo Calegario et al. (2005) a presença de heteroscedasticidade e de autocorrelação violam as pressuposições básicas da teoria dos modelos lineares e não lineares ordinários.

Comparando a variação dos valores estimados com os observados, nota-se que ambos os modelos analisados conseguiram representar a variação real dos valores de área basal, sendo esta de aproximadamente 1,59 a 32,2 m²ha⁻¹.

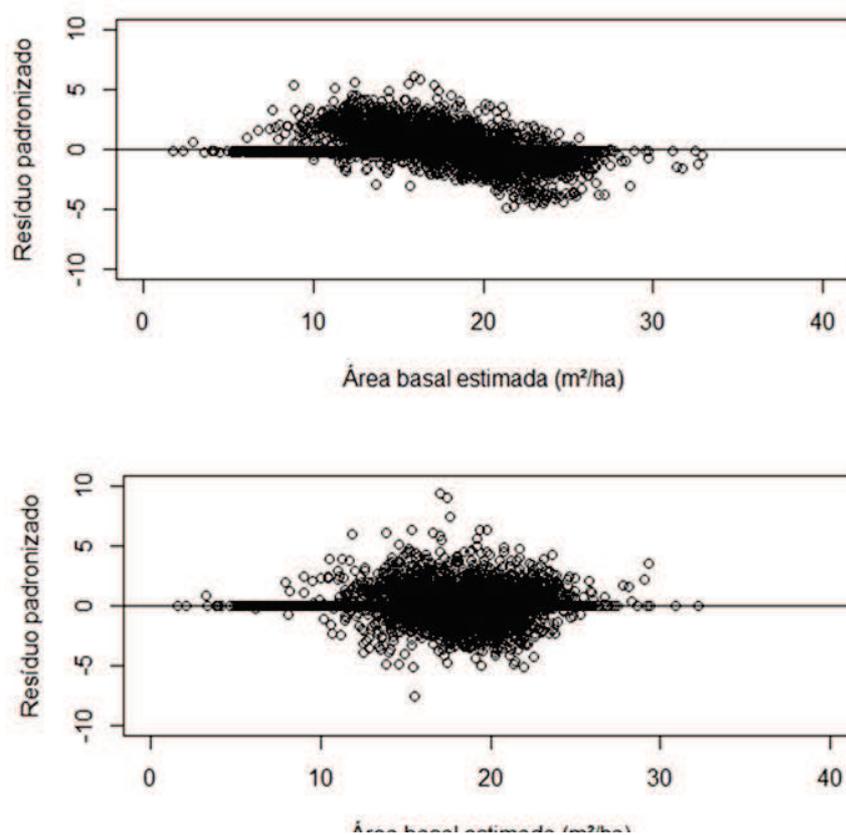


Figura 2. Distribuição dos resíduos padronizados em função da área basal estimada, para os Modelos I e II.

Figure 2. Distribution of standardized based on the estimated basal area, for Models I and II waste.

3.3 Análise dos modelos ajustados para estimativa do crescimento e da produção em volume

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos após os ajustes dos modelos de projeção do crescimento e produção em volume dos povoamentos.

Observa-se que em todos os modelos os parâmetros foram significativos ao nível de 5% de significância.

Tabela 5. Parâmetros encontrados após o ajuste dos modelos.

Table 5. Parameters found after adjustment models.

Parâmetros	Estimativas	Erro padrão	P – valor
Modelo A			
β_0	215,7069	1,5105	<2E-16
β_1	2,9473	0,0190	<2E-16
β_2	0,9002	0,0167	<2E-16
Modelo B			
β_{00}	138,6777	3,4360	<2E-16
$\beta_{01}(S)^*$	6,7357	0,1252	<2E-16
β_{10}	21,1768	0,2673	<2E-16
$\beta_{11}(G_2)^*$	-0,9399	0,0150	<2E-16
β_2	6,3140	0,0820	<2E-16
Modelo C			
β_0	1,9380	0,0328	<2E-16
β_1	-10,7709	0,4225	<2E-16
β_2	-1,1685	0,0191	<2E-16
β_3	1,3212	0,0066	<2E-16
β_4	3,2514	0,0714	<2E-16
β_5	0,0491	0,0025	<2E-16

*Covariante associada.

Tabela 6 apresenta os resultados das análises estatísticas dos modelos para comparação e seleção do modelo de prognose do crescimento e produção mais adequado. Segundo Ferreira & Trevisan (2001) erros de até 10% são considerados admissíveis para modelos de prognose da produção. Neste contexto, pode-se considerar então os modelos B e C como adequados, pois a predição de ambos encontram-se neste intervalo, apresentado 5,54% e 7,73% de

erro padrão respectivamente. O mesmo não acontece com o modelo A que apresenta erro padrão de 21,11%.

Quando analisadas as estatísticas AIC e BIC, o Modelo B proporcionou redução significativa das mesmas, indicando-o como o modelo mais parcimonioso.

Portanto, observa-se que o Modelo B foi o melhor modelo segundo todas as estatísticas analisadas. Mendonça (2010) e Carvalho et al. (2011) atentaram para o fato de que o acréscimo de covariantes no modelo logístico contribuiu significativamente para a melhoria do mesmo, ou seja, a inclusão das variáveis sítio e área basal no modelo contribuiu significativamente para o aumento da precisão do modelo.

Tabela 6. Estatísticas apresentadas pelos três modelos de crescimento e produção em volume.

Table 6. Statistics provided by the three models of growth and volume production.

Modelos	S_{xy} (%)	AIC	BIC
Modelo A	21,11	50.987,01	51.007,72
Modelo B	5,54	31.335,19	31.369,7
Modelo C	7,73	36.222,95	36.364,36

Analisando o gráfico de distribuição dos resíduos padronizados (Figura 3), tem-se que o Modelo A não representa a real amplitude de variação dos dados, apresentando volumes mínimo e máximo estimados (47,13 e 208,68 m³ha⁻¹), muito diferentes dos observados (4,23 e 366,30 m³ha⁻¹). Quando comparados os gráficos resultantes dos ajustes dos Modelos B e C (Logístico com adição de covariáveis e de Clutter, respectivamente), observa-se ligeira vantagem na distribuição residual resultante do ajuste do Modelo C. O Modelo B apresenta tendência de superestimação para volumes inferiores a

aproximadamente $50 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ e a partir de aproximadamente $250 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ tendência de subestimação, confirmada quando avaliada a amplitude de variação dos valores estimados ($16,25$ e $306,35 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$). Por outro lado o Modelo C não apresenta esta tendência inicial de superestimava de pequenos volumes, entretanto, apresenta tendência de superestimação para volumes superiores a aproximadamente $280 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, confirmada quando comparados os volumes estimados com os observados ($4,45$ e $384,92 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$).

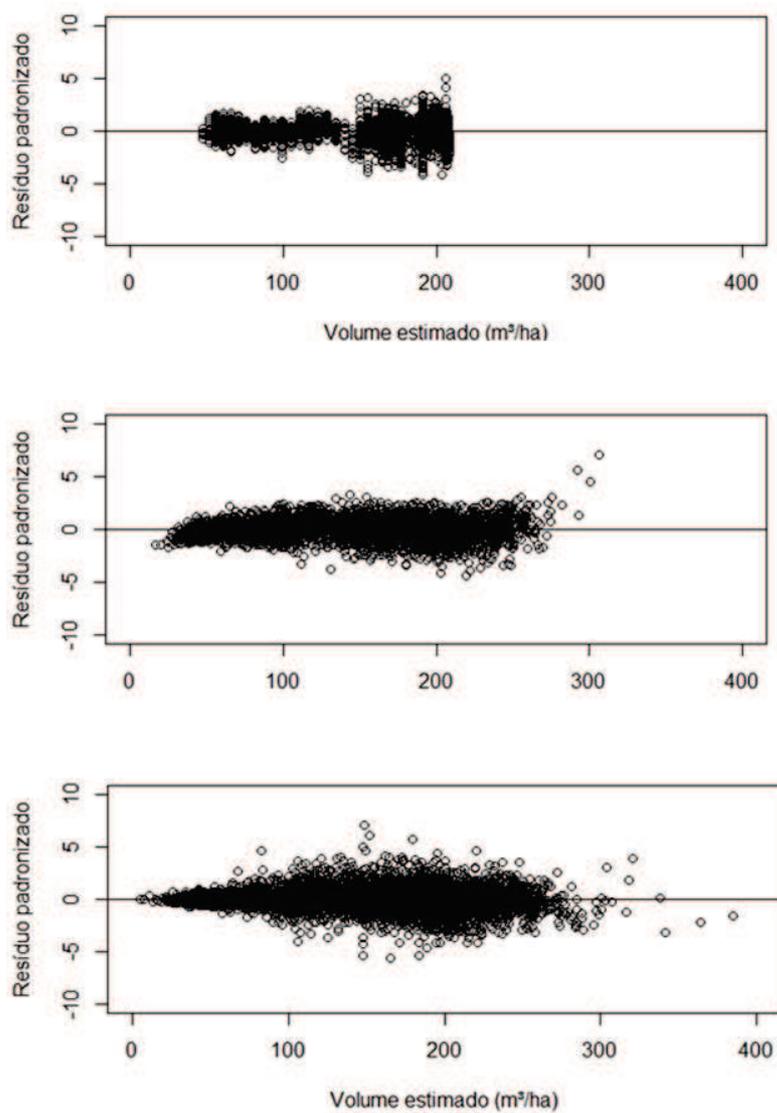


Figura 3. Distribuição de resíduos padronizados dos três modelos ajustados para projeção do crescimento e produção volumétrica.

Figure 3. Distribution of the three standard models adjusted for projected growth and volume production waste.

Entretanto, como o gráfico de distribuição residual padrão dos Modelos B e C não apresentaram diferenças muito significativas e/ou comportamento inadequado, e devido a superioridade estatística do Modelo B, corroborando com o trabalho de Mendonça (2010), este modelo foi selecionado como modelo mais adequado para prognose do crescimento e produção volumétrica e construção das curvas. Assim, foram construídas as curvas de crescimento e produção, tendo como base um horizonte de 15 anos, para as três classes de sítio (Figura 4).

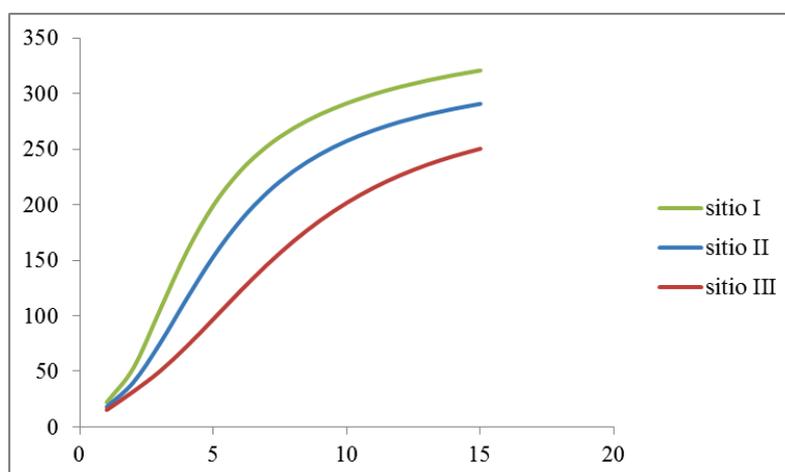


Figura 4. Curvas de projeção de crescimento e produção volumétricos para as diferentes classes de sítio.

Figure 4. Projected growth curves and volumetric production for different site classes.

Observa-se que as classes de sítio superiores apresentam tendência de maior produtividade conforme esperado. A análise do Incremento Médio Anual (IMA) obtido por meio do ajuste do Modelo B, indicou como rotação silvicultural as idades aproximadas de 5 anos para o sítio I com produção esperada de 207,58m³, 6 para o sítio II com produção de 195,41m³e 8 anos para

o sítio III produzindo 169,13m³. Dias et al. (2005) afirmam que a idade de máximo IMA corresponde a idade técnica de corte (ITC) e esta tende a ser atingida mais cedo em sítios mais produtivos pois nesses locais o crescimento das árvores estagna precocemente. Segundo Carvalho et al. (2011), essa tendência indica que o modelo proposto é adequado, ou seja, antecipa a idade de corte para sítios mais produtivos.

4 CONCLUSÕES

A inclusão das covariáveis sítio e área basal no modelo Logístico foi eficaz, tendo melhorado significativamente a qualidade de sua previsão volumétrica, que foi superior a do modelo de Clutter e do modelo logístico na sua forma original de ajuste.

Com base nas informações do incremento médio anual, a rotação silvicultural do povoamento está compatível com a realidade do crescimento das florestas de eucalipto, indicando que a inclusão das covariáveis sítio e área basal no modelo Logístico propiciaram estimativas volumétricas precisas e confiáveis. Assim, considera-se que esse modelo tem grande potencial de aplicação sendo recomendada sua utilização em outros trabalhos.

REFERÊNCIAS

- BERGER R, SCHNEIDER P R, FINGER CAG, HASELEIN CR. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. *Ciência Florestal* 2010; 12 (2): 75 – 87.
- CALEGARIO N, CALEGARIO CLL, MAESTRI R, DANIELS R. Melhoria da qualidade de ajuste de modelos biométricos florestais pelo emprego da teoria dos modelos não lineares generalizados. *Scientia forestalis* 2005; 1 (69): 38-50.
- CARVALHO SPC, CALEGARIO N, SILVA FF, BORGES LAC, MENDONÇA AR, LIMA MP. Modelos não lineares generalizados aplicados na predição da área basal e volume de *Eucalyptus* clonal. *Revista Cerne* 2011; 17 (4): 541-548.

CLUTTER, J.L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. *Forest Science* 1963; 9 (3): 354-371.

DIAS NA, LEITE HG, CAMPOS JCC, COUTO L, CARVALHO AF. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. *Revista Árvore* 2005; 29 (5): 731-739.

FERRARI MP, FERREIRA CA, SILVA HD, TREVISAN R. Prognose do crescimento volumétrico individual de árvores de *Eucalyptus*, em povoamentos na Região Centro Sul. *Boletim Pesquisa Florestal* 2005; 1 (51): 05-16.

FERREIRA AC, TREVISAN R. Prognose do crescimento volumétrico de espécies de *Eucalyptus* para a Região Centro Sul do Brasil. *Boletim de Pesquisa Florestal* 2001; 1(42): 81 - 94.

HESS AF, SCHNEIDER PR. Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três locais do Rio Grande do Sul. *Revista Ambiência* 2009; 5 (2): 213-232.

MENDONÇA AR. *Modelagem não linear do crescimento e da produção de plantações florestais*. [tese]. Lavras, MG: Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras; 2010.

OLIVEIRA MLR, LEITE HG, NOGUEIRA GS, CAMPOS JCC. Modelagem e prognose em povoamentos não desbastados de clones de eucalipto. *Revista Árvore* 2009; 33 (1): 841-852.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARACRUZ (2013). Disponível em: <<http://www.pma.es.gov.br/>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2012). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

SCOLFORO JRS. *Biometria florestal: Modelos de crescimento e produção florestal*. 3rd ed. Lavras: Texto acadêmico; 2006.

SOARES CPB, LEITE HG, OLIVEIRA MD, CARVALHO A. Especificação de um modelo de crescimento e produção florestal. *Revista Árvore* 2004; 28 (6): 831-837.

ZONETE F, RODRIGUEZ LCE, PACKALÉN P. Estimación de parâmetros biométricos de plantios clonais de eucalipto no sul da Bahia: uma aplicação da tecnologia laser aerotransportada. *Scientia forestalis* 2010; 38 (1): 225-235.

(VERSÃO PRELIMINAR DO ARTIGO)

ARTIGO 2 Análise econômica da rotação florestal de povoamentos de eucalipto, em condições de risco

Juliana Carneiro Gonçalves¹, Antônio Donizette de Oliveira², Samuel de Pádua Chaves e Carvalho³; Lucas Rezende Gomide⁴

(Preparado de acordo com as diretrizes da Revista Ciência Florestal)

¹ Engenheira Florestal, Mestranda em Engenharia Florestal – Departamento de Ciências Florestais – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx.P.3037 - 37.200-000 – Lavras, MG – jujacarneiro@gmail.com

² Engenheiro Florestal, Professor Dr. em Engenharia Florestal – Departamento de Ciências Florestais – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx.P.3037 - 37.200-000 – Lavras, MG – donizete@dcf.ufla.br

³ Engenheiro Florestal, Dr. em Recursos Florestais — samuel.carvalho@fibria.com.br

⁴ Engenheiro Florestal, Professor Dr. em Engenharia Florestal – Departamento de Ciências Florestais – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx.P.3037 - 37.200-000 – Lavras, MG – lucasingomide@dcf.ufla.br

Análise econômica da rotação florestal de povoamentos de eucalipto, em condições de risco

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi determinar a rotação econômica de plantios monoclonais de eucalipto localizados em três diferentes sítios de produção, em condições de risco. O estudo foi realizado a partir dos dados de plantios monoclonais de eucalipto pertencentes à empresa Fibria Celulose S.A., com seus respectivos fluxos de caixa. Para a análise de risco utilizou-se o método de Monte Carlo, tendo como variável de saída (output) o Valor presente Líquido Infinito (VPL_{∞}) e, como variáveis de entrada (fontes de incertezas), as distribuições de probabilidade referentes ao preço da terra e da madeira, o custo de colheita e transporte, a taxa de juros e a produção de madeira. A simulação constituiu na realização 10.000 de iterações, de onde foram extraídas as informações necessárias às análises. Concluiu-se que a idade ótima de corte (rotação econômica) é de 6, 8 e 11 anos nos sítios I, II e III, respectivamente, ou seja, nos sítios mais produtivos (I e II) o corte deve ser feito em idades menores do que no sítio menos produtivo (III). O plantio de eucalipto nos sítios mais produtivos apresenta maior lucratividade e menor risco de obter resultados desfavoráveis do que o plantio no sítio menos produtivo.

Palavras Chave: Economia Florestal, Simulação de Monte Carlo, Eucalipto.

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro tem tido grande destaque na economia nacional, atraindo muitos investimentos em pesquisa e produção (REZENDE; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2005). Entre as espécies florestais utilizadas nesse setor destaca-se o eucalipto, que apresenta rápido crescimento, potencial para grande número de sortimentos e adaptabilidade a várias regiões do país. Sendo o gênero florestal com maior área plantada no Brasil e devido ao seu rápido crescimento, a definição da rotação florestal torna-se de suma importância. Segundo Resende et al. (2004) a rotação florestal nada mais é do que a idade de corte de um povoamento e consiste em uma das fases mais importantes do planejamento e manejo florestal onde o principal objetivo do empreendimento é a maximização do lucro.

Rezende, Oliveira e Coelho Junior (2005) citam que os tipos de rotação mais conhecidos são a ecológica ou física, silvicultural, técnica, de máxima produtividade volumétrica e econômica. Esses autores afirmam que a definição da idade ótima é afetada diretamente por fatores técnicos como espaçamento, sítio, produto final desejado, entre outros e por fatores econômicos como preço da madeira, custos de produção, taxa de desconto utilizada, valor da terra e horizonte de planejamento. Além disso, podem ser citados outros fatores como incêndios, presença de pragas e doenças, eventos naturais, entre outros.

Para determinar a rotação econômica de um povoamento florestal é necessário estimar seu fluxo de caixa (custos e receitas que ocorrem ao longo do tempo). Contudo, esse fluxo de caixa futuro possui diversas incertezas, uma vez que nem todas as estimativas de custos e receitas são confiáveis. Segundo Laponi (2007) a incerteza está relacionada com o desvio do fluxo de caixa esperado do projeto, seja favorável ou desfavorável. Entre as causas mais prováveis dos desvios desfavoráveis do projeto está o erro de estimativa provocado pela falta de experiência, pela incorreta pesquisa de mercado, pelos custos e receitas menores ou maiores que os estimados, pela escolha inadequada da tecnologia, pela habilidade gerencial, pelo ambiente econômico, etc.

Uma forma de minimizar esse problema é por meio da utilização de métodos de análise que permitem mensurar essas incertezas fornecendo não apenas um resultado, mas um conjunto de resultados, cada um associado a uma probabilidade de ocorrência. Segundo Mendes e Souza (2007), o grau de incerteza a respeito de um evento pode ser chamado de risco, e a análise quantitativa do risco, usando a simulação de Monte Carlo, oferece ao usuário um método poderoso e preciso para abordar as várias incertezas associadas às atividades de um empreendimento.

No cenário econômico mundial atual, onde a incerteza faz-se presente em todos os setores da economia, a possibilidade de avaliação de como o

comportamento das variáveis pode afetar o resultado de projetos, torna-se determinante para o sucesso futuro da organização (CARDOSO; AMARAL, 2000). O objetivo deste trabalho foi determinar a rotação econômica de plantios monoclonais de eucalipto localizados em três diferentes sítios de produção, em condições de risco.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo é constituída de plantios monoclonais de eucalipto situados em três sítios diferentes, que pertencem à empresa Fibria Celulose S.A., cuja sede é no município de Aracruz, Espírito Santo, Brasil. A temperatura média da região é de 28°C e a precipitação anual média é de 1.200mm. Os tipos de solo predominantes na região são o Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico e Podzólico Vermelho Amarelo (PREFEITURA MUNICIPAL DE ARACRUZ, 2013). Foram utilizados dados de plantios de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* históricos e ativos que se encontravam a partir do segundo ciclo, com referência em dezembro de 2012.

Para determinar a rotação econômica dos plantios de eucalipto foi necessário obter informações sobre o crescimento e a produção volumétrica de madeira dos plantios monoclonais, assim como informações sobre as receitas e os custos de produção de madeira desses plantios. A metodologia para obtenção dessas informações está especificada a seguir.

2.2. Estimativa da produção volumétrica de madeira

Essa parte do estudo foi desenvolvida no artigo 1 dessa dissertação. A seguir apresenta-se apenas um resumo da metodologia utilizada naquele artigo em relação a estimativa da produção volumétrica de madeira, informação necessária para a determinação da rotação econômica.

Os volumes de madeira para os diferentes sítios e para as diferentes idades dos povoamentos de eucalipto foram obtidos a partir do ajuste da Equação 1. Este modelo foi proposto por Mendonça (2010) e foi construído a partir da adição das covariáveis sítio e área basal ao modelo Logístico, a fim de aumentar a acurácia.

$$V_{2_i} = \frac{\beta_{00} + \beta_{01}S_i}{1 + e^{\left\{ \frac{[(\beta_{10} + \beta_{11}G_{2_i}) - I_{2_i}]}{\beta_2} \right\}}} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Em que: V_2 = volume na idade de prognose da i -ésima parcela;

G_2 = área basal na idade 2 da i -ésima parcela;

I_2 = idade da remedição da i -ésima parcela

S = índice de sítio da i -ésima parcela;

β_{ii} = parâmetros do modelo.

A Tabela 1 apresenta as produtividades ($m^3 ha^{-1}$) obtidas após o ajuste da Equação 1 e posterior prognose da produção para os três sítios da idade 1 à idade de 15 anos.

TABELA 1. Produtividade ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) para os diferentes sítios e idades.

Idade	Produtividade (m^3ha^{-1})		
	Sítio I	Sítio II	Sítio III
1	21,17	19,10	15,31
2	56,36	43,43	30,82
3	112,42	82,11	49,49
4	166,30	125,16	72,51
5	207,58	164,15	97,98
6	236,69	195,42	123,68
7	257,08	219,10	147,76
8	271,77	236,74	169,13
9	282,75	249,97	187,39
10	291,28	260,05	202,62
11	298,09	267,88	215,16
12	303,68	274,08	225,41
13	308,34	279,07	233,78
14	312,27	283,16	240,63
15	315,61	286,54	246,24

2.3 Custos e receitas relacionadas aos plantios de eucalipto da empresa Fibria Celulose S.A.

Para determinar a rotação econômica dos povoamentos de eucalipto foram disponibilizados pela empresa os custos aproximados relacionados às atividades de implantação (preparo do solo, plantio, mudas, adubação, etc.) e manutenção (combate a formigas, capina, etc.) (Tabela 2).

TABELA 2. Custos aproximados relacionados a Implantação, Manutenção, Colheita e Transporte de madeira de povoamentos de eucalipto.

Discriminação	Unidade	Ano	Valor
Custo de Implantação	R\$/ha	0	3.000,00
Custo de Manutenção	R\$/ha	1	1.200,00
Custo de Manutenção	R\$/ha	2	200,00
Custo de Manutenção	R\$/ha	3	90,00
Custo de Manutenção	R\$/ha	4	35,00
Custo de Manutenção	R\$/ha	5 a 15	30,00
Custo de Manutenção	R\$/ha	Ano de corte*	80,00
Custo de Colheita	R\$/m ³	Anos de corte	19,00
Custo de transporte	R\$/m ³	Anos de corte	31,00

*Nos anos de corte, foi adotado este valor como custo de manutenção do ano.

Como custo anual da terra considerou-se juros sobre o seu valor, sendo que o valor adotado foi de R\$ 8.000,00 por hectare. A taxa real de juros utilizada na análise econômica foi de 3% ao ano.

A receita foi obtida multiplicando-se o volume de madeira colhido pelo preço de venda. Como a empresa não vende esse produto, mas o utiliza para a produção de celulose, considerou-se o preço médio de R\$ 80,00 por metro cúbico colocado no pátio de estocagem.

2.4 Determinação da rotação econômica em condições de risco

Para determinar a rotação econômica em condições de risco foi utilizada a simulação de Monte Carlo, que se inicia pela construção do modelo base necessário para determinar o indicador a ser utilizado na análise econômica. Esse modelo base foi o fluxo de caixa construído usando as estimativas dos custos e receitas que ocorreram durante o horizonte de planejamento estabelecido para a análise. Para isso fez-se necessário determinar as variáveis de entrada e saída do modelo apresentadas a seguir.

2.4.1. Variáveis de saída (output)

A variável de saída do modelo (output) é o resultado da simulação a partir da qual é feita a tomada de decisões em relação à viabilidade econômica do plantio de eucalipto nos três diferentes sítios e à determinação de sua rotação econômica, em condições de risco. Assim, o Valor Presente Líquido para o horizonte de planejamento infinito (VPL_{∞}) (Equação 2) foi o indicador econômico utilizado. Segundo Rezende e Oliveira (2008) ele é calculado pela seguinte fórmula,

$$VPL_{\infty} = \frac{VPL(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

em que:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - C_j(1+i)^{-j} \quad (3)$$

C_j = custo no final do ano j ;

R_j = receita no final do ano j ;

n = idade de corte do povoamento florestal;

i = taxa real de juros;

2.4.2. Variáveis de entrada (input)

O passo seguinte foi a definição das variáveis de entrada, ou variáveis de risco, ou variáveis incertas do modelo base. Nesse caso a suposição é de que o fluxo de caixa é incerto, ou seja, as estimativas dos custos e receitas relacionados ao plantio de eucalipto são consideradas uma fonte de riscos, pois

existem incertezas em relação a esses valores. Assim, sendo o VPL_{∞} uma estimativa que depende desses valores, quanto maior for a incerteza dos mesmos, tanto maior será a incerteza do VPL_{∞} .

Como variáveis de risco, foram utilizadas a taxa de juros, o custo da terra, o custo de colheita e transporte (custo caixa da madeira), o preço de venda da madeira e a produção volumétrica de madeira. Para representar o comportamento incerto dessas variáveis foi utilizada a distribuição de probabilidade triangular que consiste em definir valores mínimos, mais prováveis e máximos para cada uma delas (Tabela 3). Segundo Cardoso e Amaral (2000), uma das desvantagens da aplicação da simulação de Monte Carlo é a dificuldade em se definir os formatos das distribuições de probabilidades das variáveis que melhor representem a realidade. Souza (2001) considera que as distribuições triangular e uniforme, geralmente, são muito utilizadas nas ciências agrárias e na economia, por apresentarem simplicidade e a vantagem de não necessitarem de muitos dados de um determinado evento. Rangel (2002) sugere basear-se na opinião de especialistas para especificar a natureza de uma variável aleatória pertinente ao modelo, se não existirem informações disponíveis sobre a mesma.

TABELA 3. Valores mais prováveis, mínimos e máximos das variáveis de risco.

Variável	Mínimo	Mais provável	Máximo
Custo Colheita	17,10	19,00	20,90
Custo Tr. Madeira	27,90	31,00	34,10
Valor terra	6.400,00	8.000,00	9.600,00
Preço mad.	72,00	80,00	88,00
Produtividade	x-10%	x	x+10%
Taxa de Juros	2%	3%	4%

2.4.3. Simulação e análise de dados

A simulação foi realizada com o auxílio do software @RISK (PALISADE CORPORATION, 2009). Primeiramente foi realizada uma simulação automática pelo software, visando monitorar a convergência. Em seguida, realizou-se uma segunda simulação com 10.000 iterações, número este acima daquele em que houve convergência. A partir das iterações realizadas, foram gerados os resultados relacionados ao VPL_{∞} , como distribuições de probabilidade, frequências acumulada e relativa, estatísticas descritivas, etc.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise de risco

De acordo com os dados apresentados na Tabela 5, para sítio I, o maior valor de VPL_{∞} esperado, ocorre aos 6 anos (R\$11.253,62/ha), indicando essa idade como sendo a ótima de corte ou rotação econômica. Quando analisados os percentis observa-se que 5% dos valores de VPL_{∞} são superiores a R\$23.218,00/ha e 5% são inferiores a R\$1.374,54/ha, havendo assim, apenas 2,6% de probabilidade de ocorrência de valores negativos para esse indicador econômico.

No sítio II, o maior valor de VPL_{∞} ocorreu aos 8 anos (R\$3.999,87/ha), sendo essa a idade ótima de corte para este sítio. Quando analisados os percentis observa-se que 5% dos valores de VPL_{∞} são superiores a R\$12.638,59/ha e 5% são inferiores a R\$-3.168,96 /ha, havendo assim, 3,4% de probabilidade de ocorrência de valores negativos para o VPL_{∞} .

O sítio III apresentou VPL_{∞} negativo em todas as idades, portanto a rotação econômica é a idade de menor VPL_{∞} negativo, ou seja, 11 anos (R\$-2.160,28/ha). A princípio, esse resultado indica que plantar eucalipto em sítios com essa qualidade é inviável economicamente. Porém, a avaliação sob condições de risco é relativa e em determinadas condições pode-se obter

viabilidade econômica para esse sítio. Por exemplo, na idade de 11 anos há 72,7% de probabilidade de que os valores de VPL_{∞} sejam negativos. Assim, dependendo da combinação das variáveis de entrada, existem 27,3% de chance de que os VPL_{∞} restantes sejam positivos, ou seja, há chances de se obter lucro plantando eucalipto nesse sítio.

Assim, como já era esperada, a rotação econômica tende a ser inversamente proporcional a produtividade dos sítios, ou seja, quanto maior a produtividade do sítio, menor a rotação econômica. Segundo Gomes et al. (2002) isso ocorre pois nos melhores sítios a idade de máximo IMA (Incremento Médio Anual) ocorre mais cedo do que nos sítios menos produtivos, o que faz com que a idade ótima de corte dos sítios mais produtivos seja inferior quando comparada à idade ótima dos sítios menos produtivos, ao passo que nestes sítios, a floresta demanda um período de tempo superior para alcançar o máximo IMA.

Observa-se, que nem sempre a idade ótima de corte é a idade de menor risco. A menor probabilidade de apresentar valores negativos foi apresentado pelo sítio I aos 7 anos de idade (2,4%). Já no sítio II isso ocorreu aos 7 anos (2,5%) e no sítio III aos 10 e 11 anos (72,7%). Segundo Hacura, Jamadus-Hacura e Kotot (2001) o projeto é considerado de baixo risco quando a probabilidade de ocorrência de VPLs negativos é inferior a 20%. Nessas condições, o plantio de eucalipto só pode ser considerado como sendo de baixo risco nos sítios I e II. Entretanto, segundo Silva (2011), o risco é uma variável subjetiva, onde cada gestor tem uma medida de aversão sobre este.

Assim, a análise de risco fornece um número maior de informações ao tomador de decisão, possibilitando ao mesmo vislumbrar o impacto no VPL ao se tomar uma decisão mais ou menos conservadora. Por exemplo, no sítio II, a diferença de risco entre a idade de maior VPL (8 anos) e a de menor risco (7 anos) é de 1% e a redução do VPL é de apenas R\$20,96 ha^{-1} cabendo ao tomador de decisão escolher o que é mais interessante. Já no sítio III, observa-se que o

risco é o mesmo quando o corte da floresta é realizado aos 10 ou 11 anos, optando-se então pelo corte na idade de menor prejuízo. Segundo Silva et al. (2011) a análise de risco propicia a obtenção de informações adicionais às obtidas pela análise determinística, facilitando a compreensão e aumentando a segurança para a tomada de decisão em relação à viabilidade econômica de investimentos.

Na idade em que ocorre a rotação econômica do sítio II (8 anos) o VPL_{∞} esperado é de 3.999,87e o desvio padrão é de 4.860,37. Assim, uma diminuição equivalente a menos de um desvio padrão no VPL_{∞} é suficiente para que nesse sítio os plantios de eucalipto se inviabilizem economicamente, já que nessas condições esse indicador econômico seria negativo. Por outro lado, no sítio I é preciso haver variação de mais 1,5 desvios padrão no VPL_{∞} para que o mesmo seja negativo, mostrando que nesse sítio os plantios estão sujeitos a menos risco que no sítio II.

Silva (2011) analisou a viabilidade econômica e a rotação econômica de plantios de candeia em diversos espaçamentos, sob condições determinísticas e de risco. Para tanto, o autor utilizou o método do valor anual equivalente (VAE) tanto na análise determinística quanto na análise de risco, sendo que para esta última análise foi utilizada a simulação de Monte Carlo. O autor observou que o plantio de candeia em espaçamentos maiores é mais lucrativo e está sujeito a menos risco que o plantio em espaçamentos menores.

TABELA 5. Estatísticas descritivas do VPL_{∞} para as diferentes idades de corte nos sítios I, II e III.

Sítio I								
Idade	VPL_{∞} esperado (R\$.ha ⁻¹)	Mínimo (R\$.ha ⁻¹)	Máximo (R\$.ha ⁻¹)	Desvio padrão (R\$.ha ⁻¹)	$VPL_{\infty} < 0$	5% (R\$.ha ⁻¹)	50% (R\$.ha ⁻¹)	95% (R\$.ha ⁻¹)
3	-13.660,80	-32.731,11	9.090,59	5.445,28	99,3%	-22.466,63	-13.736,06	-4.513,78
4	2.925,92	-14.352,33	35.141,20	6.482,39	34,2%	-6.963,06	2.478,26	14.348,92
5	9.595,85	-8.148,20	40.270,43	6.835,42	6,4%	-577,06	8.984,60	21.763,19
6	11.253,62	-6.733,70	47.338,54	6.708,61	2,6%	1.374,54	10.660,90	23.218,00
7	10.729,45	-5.252,60	43.469,65	6.308,16	2,4%	1.470,28	10.073,81	22.083,88
8	9.383,65	-6.816,73	38.176,65	5.903,65	3,4%	672,55	8.829,72	20.086,31
9	7.770,97	-6.104,49	32.059,86	5.433,63	5,4%	-152,43	7.219,52	17.513,65
10	6.159,51	-6.502,85	35.368,09	5.043,55	9,5%	-1.143,78	5.641,77	15.320,89
11	4.630,04	-8.042,36	27.127,56	4.665,34	15,5%	-2.201,50	4.153,72	13.149,34
12	3.222,89	-7.457,28	27.347,79	4.350,65	24,3%	-3.145,55	2.777,70	11.115,57
13	1.936,93	-8.487,50	22.596,37	4.045,33	34,7%	-3.935,58	1.490,75	9.270,98
14	771,86	-8.198,02	19.707,88	3.805,49	46,2%	-4.675,80	371,10	7.719,02
15	-293,11	-9.987,97	17.803,42	3.547,48	57,4%	-5.411,56	-698,12	6.231,06

Continua...

TABELA 5. Continuação.

Idade	Sítio II							
	VPL _∞ esperado	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	VPL _∞ <0	5%	50%	95%
	(R\$.ha ⁻¹)	(R\$.ha ⁻¹)	(R\$.ha ⁻¹)	(R\$.ha ⁻¹)		(R\$.ha ⁻¹)	(R\$.ha ⁻¹)	(R\$.ha ⁻¹)
3	-27.013,33	-44.979,30	-13.346,28	4.467,51	99,6%	-34.819,12	-26.771,97	-20.041,37
4	-10.465,95	-24.942,54	8.204,52	4.485,06	35,6%	-17.638,14	-10.572,02	-2.900,76
5	-1.549,59	-15.404,64	24.153,76	4.951,21	6,7%	-9.130,43	-1.886,35	7.106,21
6	2.559,41	-11.982,14	28.437,83	5.174,73	2,9%	-5.207,53	2.151,81	11.702,26
7	3.978,92	-9.506,48	27.556,52	5.122,96	2,4%	-3.636,09	3.542,32	13.101,86
8	3.999,88	-8.813,56	27.125,58	4.860,37	3,4%	-3.168,96	3.582,91	12.638,59
9	3.367,46	-8.005,55	23.813,98	4.621,01	5,6%	-3.433,66	2.956,29	11.733,64
10	2.444,29	-9.126,33	21.884,15	4.380,88	9,7%	-3.916,21	1.975,30	10.481,00
11	1.409,34	-9.099,00	21.372,91	4.072,09	15,7%	-4.593,40	1.031,49	8.701,75
12	373,66	-9.243,64	20.208,72	3.824,57	23,7%	-5.200,36	9,39	7.288,68
13	-626,36	-10.133,86	18.367,76	3.568,27	34,7%	-5.845,07	-1.001,45	5.882,83
14	-1.561,37	-10.700,52	14.739,67	3.365,61	45,9%	-6.456,96	-1.937,21	4.483,70
15	-2.431,07	-10.705,21	11.363,51	3.174,18	57,3%	-7.082,86	-2.759,32	3.384,69

Continua...

TABELA 5. Conclusão.

Idade	Sítio III							
	VPL _∞ esperado	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	VPL _∞ <0	5%	50%	95%
	(R\$.ha ⁻¹)	(R\$.ha ⁻¹)	(R\$.ha ⁻¹)	(R\$.ha ⁻¹)		(R\$.ha ⁻¹)	(R\$.ha ⁻¹)	(R\$.ha ⁻¹)
3	-39.397,86	-60.534,08	-25.125,43	5.144,50	100,0%	-48.700,04	-38.923,01	-31.785,57
4	-25.491,12	-39.650,81	-12.831,42	4.087,45	100,0%	-32.308,64	-25.400,44	-18.871,07
5	-16.292,36	-30.471,99	-2.250,38	3.926,61	100,0%	-22.426,77	-16.553,16	-9.578,16
6	-10.256,37	-22.366,50	5.692,47	4.051,99	98,9%	-16.212,01	-10.626,08	-3.145,19
7	-6.405,88	-17.372,63	10.771,16	4.168,31	92,4%	-12.595,00	-6.858,31	1.004,61
8	-4.077,61	-14.816,29	17.025,73	4.267,32	82,6%	-10.297,91	-4.529,06	3.596,02
9	-2.812,16	-13.046,39	14.965,01	4.229,96	75,9%	-8.886,83	-3.316,47	4.912,54
10	-2.251,63	-12.650,18	15.307,02	4.158,67	72,7%	-8.221,85	-2.704,70	5.382,62
11	-2.160,28	-11.985,19	14.063,40	3.990,11	72,7%	-7.918,30	-2.615,57	5.056,13
12	-2.353,78	-11.612,28	15.149,68	3.831,39	74,5%	-7.873,05	-2.801,55	4.705,13
13	-2.720,54	-11.670,52	13.272,32	3.668,26	78,2%	-7.977,72	-3.180,60	3.997,75
14	-3.187,62	-11.678,55	11.144,13	3.492,11	81,9%	-8.227,70	-3.590,66	3.137,90
15	-3.704,58	-11.904,93	10.829,95	3.320,92	86,0%	-8.440,31	-4.090,75	2.304,39

A grande vantagem do uso da simulação de Monte Carlo reside na possibilidade de vislumbrar qual será a rotação econômica frente a variações nas variáveis de risco. Ao invés de traçar a estratégia de cortar a floresta em determinada idade confiando cegamente em um valor fechado, único, o tomador de decisão passa a ter melhores subsídios para escolher a melhor estratégia de corte.

Na Figura 1, observa-se a distribuição de probabilidades, a curva de frequência acumulada (eixo da direita), a probabilidade de ocorrerem valores positivos e negativos de VPL_{∞} nas idades correspondentes à rotação econômica de cada sítio e a posição em que se situam os valores de VPL_{∞} médio, moda e mediana. Observa-se, que os valores de VPL_{∞} estão distribuídos simetricamente ao redor da média, com valores médios iguais ou muito próximos à mediana, indicando que não há inclinação acentuada da distribuição dos valores para nenhum dos lados em nenhum dos sítios, características essas, semelhantes à distribuição normal.

Segundo Lapponi (2007), quanto maior a distância entre o valor esperado e a mediana, mais acentuada será a inclinação da distribuição de frequências do VPL de forma que, se o valor esperado for maior que a mediana, a distribuição terá inclinação à direita e vice-versa.

O círculo na curva de frequência acumulada em cada figura indica a interseção entre o VPL_{∞} igual a zero e sua probabilidade de ocorrência na curva de frequência acumulada. A informação fornecida por esta interseção é a de que, no sítio I, por exemplo, na idade ótima de corte, existem 97,4% de chances de o VPL_{∞} ser maior que zero (frequência acumulada ao lado direito do círculo) e, conseqüentemente, 2,6% de chances de o VPL_{∞} ser menor que zero (frequência acumulada ao lado esquerdo do círculo).

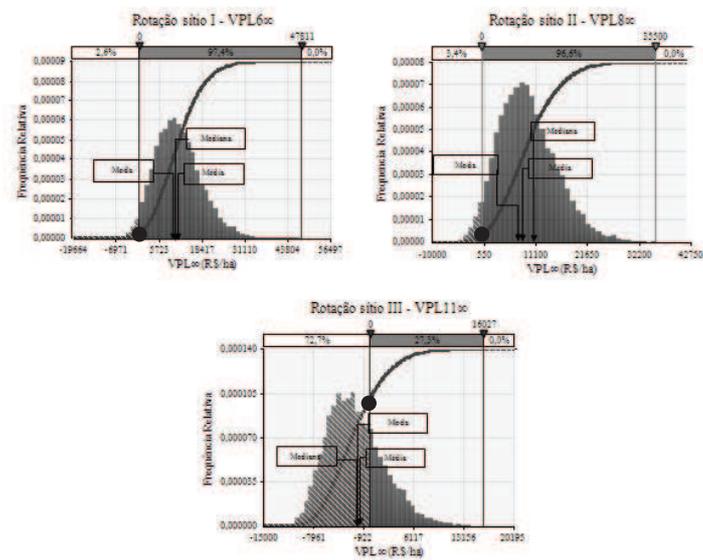


FIGURA 1. Distribuição de frequência relativa e acumulada, probabilidade de ocorrência de VPL_∞ positivos e negativos na rotação econômica de cada sítio, posição da média, mediana e moda dos VPL_∞.

Castro et al. (2007) avaliaram a viabilidade econômica da produção de carvão vegetal a partir de florestas plantadas de eucalipto em condições determinísticas e de risco utilizando o método de Monte Carlo. A análise determinística indicou o projeto como viável economicamente, apresentado VPL positivo, entretanto, a análise de risco, mostrou que o empreendimento apresentava 12% de chance de se obter valores negativos, ou seja, 12% de chance de o projeto ser inviável economicamente, proporcionando maior segurança na inferência sobre os indicadores econômicos.

Guedes et al. (2011) analisaram a viabilidade econômica da reforma e da condução da brotação de povoamentos de eucalipto, em condições determinísticas e de risco. Por meio da análise probabilística, realizada pelo método de Monte Carlo, os autores observaram que nas diversas opções de reforma e talhadia estudadas, ocorreu sempre viabilidade econômica, diminuindo as incertezas e, conseqüentemente, aumentando a segurança para a tomada de decisões.

Portanto, a precisão da tomada de decisão é em função do grau de domínio e conhecimento sobre as condições do mercado apresentado pelo gestor, o que torna de suma importância a disponibilidade de informações confiáveis. Se, com base no método de Monte Carlo, as decisões tomadas apresentarem probabilidade maior que 50%, essas decisões já serão superiores àquelas tomadas com base nos métodos tradicionais de avaliação econômica (COELHO JUNIOR et al.; 2008).

CONCLUSÕES

A idade ótima de corte (rotação econômica) é de 6, 8 e 11 anos nos sítios I, II e III, respectivamente, ou seja, nos sítios mais produtivos (I e II) o corte deve ser feito em idades menores do que no sítio menos produtivo (III).

O plantio de eucalipto nos sítios mais produtivos apresenta maior lucratividade e menor risco de obter resultados desfavoráveis do que o plantio no sítio menos produtivo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARDOSO, D.; AMARAL, H. F. O uso da simulação de Monte Carlo na elaboração do fluxo de caixa empresarial: Uma proposta para quantificação das incertezas ambientais. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção– ENEGEP**, 2000.
- CASTRO, R. R.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA, M. L. R. Rentabilidade econômica e risco na produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 353-359, 2007.
- 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. **Revista Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 368-378, 2008.
- GUEDES, I. C. L.; COELHO JÚNIOR, L. M.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; REZENDE, J. L. P.; SILVA, C. P. C. Economic analysis of replacement regeneration and coppice regeneration in eucalyptus stands under risk conditions. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 393-401, 2011.
- GOMES, F. S.; SANQUETTA, C. R.; SCOLFORO, J. R. S.; GRAÇA, L. R.; MAESTRI, R. Efeitos do sítio e de cenários de custos e preços na análise de regimes de manejo com e sem desbaste em pinus taeda L. **Revista Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 13-31, 2002.
- HACURA, A.; JADAMUS-HACURA, M.; KOCOT, A. Risk analysis in investment appraisal based on the Monte Carlo simulation technique. **European Physical Journal B**, v. 20, n. 4, p. 551-553, 2001.
- LAPPONI, J. C. **Projetos de investimentos na empresa**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 332 p.
- MENDES, M. H.; SOUZA, R. C. Análise quantitativa de risco: um guia para modelagem pela simulação de Monte Carlo. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 35 p. 2007.

MENDONÇA, A. R. **Modelagem não linear do crescimento e da produção de plantações florestais**. 2010. 96p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

PALISADE CORPORATION. **@Risk**: risk analysis add-in for Excel. Version 5.5. New York, 2009. Software.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARACRUZ (2013). Disponível em: <<http://www.pma.es.gov.br/>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2013.

RANGEL, C. L. Análise de risco com a simulação de Monte Carlo. Monografia (**Graduação em Engenharia Elétrica**) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro. 63 p. 2002.

RESENDE, R. R.; VALE, A. B.; SOARES, T. S.; SILVA, M. L.; COUTO, L.; VALE, R. S. D. Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 219-225, 2004.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa - MG: UFV, 386 p. 2008.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D.; COELHO JUNIOR, L. M. Infinite planning horizon, land opportunity cost and Faustmann methodology. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 002, p. 101-112, 2005.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D.; RODRIGUES, C. Efeito dos tributos no custo de produção, na rotação e na reforma de *Eucalyptus* spp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 70-83, 2005.

SILVA, C. S. J. **Análise econômica da produção de madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) em plantios**. 2011. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SILVA, S. C.; OLIVEIRA, A. D.; COELHO JUNIOR, L. M. C.; REZENDE, J. L. P. Economic viability of cerrado vegetation management under conditions of risk. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 141-149, 2011.

SOUZA, J. L. M. **Modelo para a análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro**. 2001. 253 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

(VERSÃO PRELIMINAR DO ARTIGO)